

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Матеріали XLVIII науково-технічної конференції
підрозділів Вінницького національного
технічного університету (НТКП ВНТУ–2019)

13-15 березня 2019 року

Збірник доповідей

Електронне мережне наукове видання

Вінниця
ВНТУ
2019

Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Головний редактор: В. В. Грабко
Відповідальний за випуск: С. В. Павлов

Робоча група з підготовки конференції:
Голова робочої групи: проректор з наукової роботи ВНТУ Павлов С. В.;
Заступник голови робочої групи: начальник НДЧ ВНТУ Богачук В. В.;
Члени робочої групи:
заступники деканів факультетів з наукової роботи;
заступник директора ІнЕБМД з наукової роботи;
директор ІРВЦ Власюк А. І.;
начальник відділу з питань інтелектуальної власності Кондратьєва Л. М.;
провідний інженер відділу з питань інтелектуальної власності Петросюк Т. А.

М34 Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019) : збірник доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2019.

ISBN 987-966-641-766-7

Збірник містить тексти доповідей XLVIII регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників підприємств м. Вінниці та Вінницької області з загально-інженерних, технічних, гуманітарних та фундаментальних наук.

НТКП ВНТУ проводиться у вигляді конференцій навчальних інститутів, факультетів, конференції Головного центру виховної роботи та конференції гуманітарних підрозділів. Кожна конференція має власну тематику, оргкомітет, строки проведення пленарних та секційних засідань, та складається з однієї або кількох секцій.

УДК 001

ISBN 978-966-641-766-7

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2019

Зміст

НТК ВНТУ. Факультет електроенергетики та електромеханіки	2762
Секція електричних станцій і систем	
<i>Сергій Васильович Кравчук, Максим Олегович Богатюк</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ПОТУЖНІСТЮ БІЛЬШЕ 1МВт НА РЕЖИМИ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	2763
<i>Сергій Васильович Кравчук, Петро Демянович Лежнюк, Анна Сергіївна Кульматицька</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ДОБУ НАПЕРЕД	2766
<i>Сергій Васильович Кравчук, Володимир Васильович Нетребський, Андрій Валентинович Карпенко</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОСИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	2769
<i>Сергій Васильович Кравчук, Петро Демянович Лежнюк, Ігор Олександрович Прокопенко</i> ОПТИМАЛЬНЕ ІНТЕГРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ЕНЕРГОСИСТЕМ	2772
<i>Сергій Васильович Кравчук, Петро Демянович Лежнюк, Віктор Олександрович Плотиця</i> МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ	2774
<i>Євгеній Андрійович Волкотруб</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТІКАНЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	2779
<i>Владислав Олександрович Лесько, Анастасія Богданівна Урода</i> УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ.....	2782
<i>Анатолій Вікторович Салецький</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГРУПОВОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ.....	2786

<i>Сергій Володимирович Пугач</i> АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕС КОНДЕНСАЦІЙНОГО ТИПУ	2789
<i>Олександр Сергійович Урсул, Юлія Володимирівна Малогулко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ УКРАЇНИ	2793
<i>Людмила Русланівна Крот</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОТОГАЛЬВАНІЧНИХ СТАНЦІЙ НА ПАРАМЕТРИ РЕЖИМУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	2796
<i>Анна Валеріївна Писклярова, Володимир Анатолійович Добровольський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	2798
<i>Наталія Вікторівна Остра, Едуард Вікторович Поліщук</i> ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	2801
<i>Владислав Олександрович Лесько, Богдан Володимирович Палій</i> ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	2803
<i>Віра Володимирівна Тептя, Володимир Вікторович Мусінкевич</i> АНАЛІЗ РОЗВИТКУ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ ТА ЇХ УЧАСТЬ У ПОКРИТТІ ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ	2805
<i>Вячеслав Юрійович Пустовіт, Віра Володимирівна Тептя</i> ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ЇХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	2808
<i>Юрій Павлович Сивак, Юлія Володимирівна Малогулко</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ СУШІННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРІВ	2811
<i>Андрій Олександрович Король, Ірина Олександрівна Гунько</i> АНАЛІЗ ВИЩИХ ГАРМОНІК В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	2815
<i>Владислав Михайлович Лисий, Владислав Олександрович Лесько, Данило Вікторович Щербатий</i> ВПЛИВ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ НА ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	2817
<i>Юрій Васильович Семенюк, Юлія Володимирівна Малогулко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОЇ СХЕМИ ТАРИФООУТВОРЕННЯ В УКРАЇНІ – «РАВ-ТАРИФИ»	2819
<i>Дмитро Олексійович Аніпченко, Володимир Васильович Нетребський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІНИ ЗАСТАРІЛОГО КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ВАКУУМНИМИ ВИМИКАЧАМИ	2822
<i>Вячеслав Олександрович Комар, Андрій Олександрович Богатир</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОКРЕМИХ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ТА ЇХ СУКУПНОСТЕЙ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ФЕС	2825
<i>Владислав Олександрович Лесько, Георгій Ігорович Денисов</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ЗБОРУ ДАНИХ МЕТЕОПОСТУ НА БАЗІ ВНТУ	2829
<i>Владислав Олександрович Лесько, Владислав Володимирович Гасич</i> АНАЛІЗ СЕРВІСІВ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	2832
<i>Наталія Валеріївна Собчук, Володимир Петрович Гончарук</i> ТЕХНОЛОГІЇ ГАСІННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ В ЕЛЕГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ	2835
<i>Володимир Васильович Нетребський, Костянтин Андрійович Коваль</i> ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПОГОДИННОГО ПРОГНОЗУ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІЙ СТАНЦІЇ	2837
<i>Сергій Васильович Кравчук, Андрій Андрійович Огороднік</i> ОЦІНЮВАННЯ ІМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ РІЗНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ	2840
<i>Вячеслав Олександрович Комар, Владислав Ігорович Врона</i> ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ФЕС	2843
<i>Володимир Васильович Нетребський, Павло Сергійович Затолочний</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ЗБОРУ ДАНИХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ НА БАЗІ ВНТУ	2846
<i>Владислав Анатолійович Гриник, Юлія Володимирівна Малогулко</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗВСТОСУВАННЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ	2849
<i>Владислав Іванович Мостовий</i> АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ	2853
<i>Олександр Євгенійович Рубаненко, Вадим Сергійович Мельник</i> ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ РЕТОМ В ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ»	2856
<i>Олександр Євгенійович Рубаненко, Вячеслав Леонідович Брацлавський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ОЛИВИ	2860
<i>Ірина Олександрівна Гунько, Максим Вікторович Затхей</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	2863
<i>Катерина Олександрівна Повстянко, Олександр Борисович Бурикін</i> ОЦІНКА СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА НЕДОСТАТНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕВИМІРЮВАНЬ	2865
<i>Максим Олександрович Гришук, Олександр Євгенійович Рубаненко</i> ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ АДЕКВАТНОЇ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ОТРИМАНИХ АМПЛІТУДО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	2869
<i>Павло Олександрович Романов, Олександр Євгенійович Рубаненко</i> ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ФЕС	2871
<i>Євгеній Анатолійович Піскунічев, Людмила Олександрівна Проценко, Володимир Васильович Нетребський</i> ПЕРСПЕКТИВНА СИСТЕМА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	2874
<i>Євгеній Олександрович Смажний, Володимир Васильович Нетребський</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ	2877
<i>Юлія Володимирівна Малогулко, Віталій Васильович Хавтирко</i> ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	2880

Юрій Юрійович Півнюк ЗАЛУЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	2883
Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту	
Яна Анатоліївна Ясько, Юлія Андріївна Шулле РІВНІ ТА БАЗОВІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	2885
Ліна Віталіївна Попсуй, Михайло Йосипович Бурбело СТИМУЛЮВАННЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	2887
Олександр Степанович Березовський, Олександр Дмитрович Демов ВПЛИВ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА КОМПЕНСАЦІЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ	2890
Надія Олександрівна Манжак, Юлія Андріївна Шулле ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	2892
Вадим Дмитрович Григоренко, Михайло Йосипович Бурбело ПРИСТРОЇ ДИНАМІЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА БАЗІ СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ	2894
Андрій Іванович Боберський, Юрій Васильович Лобода ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ АСПЕКТІВ ПОБУДОВИ МАЛИХ СЕС	2898
Олександр Олександрович Тереп, Олексій Вікторович Бабенко КОНЦЕПЦІЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА БАЗІ СИСТЕМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ	2900
Володимир Сергійович Бажура, Олексій Вікторович Бабенко ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ	2902
Владислав Сергійович Нечуя, Олександр Миколайович Кравець ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ	2904
Микола Борисович Гилун, Юлія Андріївна Шулле ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ Й ОБЛІКУ ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	2906
Олександр Русланович Леценко, Олексій Вікторович Бабенко МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	2908
Олексій Вікторович Бабенко, Олександр Володимирович Іванішин ФАКТОРИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	2910
Деніс Юрійович Лебедь, Микола Ігорович Сиволяс, Олександр Дмитрович Демов ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	2912
Сергій Костянтинович Завадецький, Сергій Михайлович Левицький МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	2914
Владислав Васильович Слівінський, Юрій Петрович Войтюк РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ «РОЗУМНИЙ ДІМ»	2916
Олексій Вікторович Бабенко, Андрій Васильович Падун ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИВАННЯ ПОВЕРХОНЬ	2918
Олексій Вікторович Бабенко, Михайло Сергійович Омелянчук АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОНОМІКИ ДЕРЖАВИ	2920
Олексій Вікторович Бабенко, Владислав Дмитрович Акопов ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ	2922
Олексій Вікторович Бабенко, Олександр Сергійович Матат ВПЛИВ ТЕПЕРІШНЬОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ	2924
Віктор Олександрович Букиштейн, Леонід Борисович Терешкевич ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	2927
Олексій Вікторович Бабенко, Вадим Сергійович Ткачук ОСОБЛИВОСТІ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ АСКОВЕ НА ПІДПРИЄМСТВАХ	2929
Юрій Анатолійович Лобатюк, Яна Юріївна Ваценко СИСТЕМА 5S KAIZEN ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	2931
Віталій Михайлович Сас, Леонід Борисович Терешкевич ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДОЦІЛЬНОСТІ ВРАХУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ КОНДЕНСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВІД НАПРУГИ	2933
Андрій Миколайович Ілик, Андрій Олегович Богач, Олександр Дмитрович Демов РОЗДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В НИХ	2934
Роман Володимирович Поліщук, Олександр Миколайович Кравець ОЦІНКА ЗАТРАТ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ НАСОСІВ ТА ВЕНТИЛЯТОРІВ В ЗАСТОСУВАННЯХ ОВК (ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, КОНДИЦІОНУВАННЯ)	2938
Максим Вікторович Панасюк, Леонід Васильович Строкатюк, Юлія Андріївна Шулле ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ІНКО-ФУД БЕРДИЧІВ»	2940
Євгеній Борисович Кутик, Юлія Андріївна Шулле ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СЕП ДІЛЬНИЦІ РЕМОНТІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЇ ВІННИЦЯ-750 КВ	2943
Богдан Вікторович Зінковський, Юлія Андріївна Шулле ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	2945
Юрій Анатолійович Лобатюк, Андрій Миколайович Гриб КОНТРОЛЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	2947
Юрій Анатолійович Лобатюк, Владислав Олегович Буженко ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	2950
Юрій Анатолійович Лобатюк, Андрій Миколайович Пержар ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ SMART GRID	2952
Юрій Анатолійович Лобатюк, Олександр Леонідович Бондар ВИБІР КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДУ ДЛЯ ФОТОВОЛЬТАІЧНИХ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	2954
Андрій Павлович Кравчук, Леонід Борисович Терешкевич РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ	2956

Вадим Дмитрович Григоренко, Михайло Йосипович Бурбело СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	2958
Роман Олександрович Сандул, Сергій Михайлович Левицький СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ ДО 10 КВТ	2960
Богдан Володимирович Чумак, Сергій Михайлович Левицький ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ ВІД ПЕРЕНАПРУГ	2962
Юрій Петрович Добровольський, Юрій Васильович Лобода ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	2966
Олексій Вікторович Бабенко, Ілля Володимирович Черніков ВИКОРИСТАННЯ НАД'ЯСКРАВИХ СВІТЛОДІОДІВ В ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ	2968
Олександр Олександрович Шпильовий, Юрій Петрович Войтюк ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНТАЖУ ОБЛАДНАННЯ 0,4 КВ	2971
Артур Олександрович Рядно, Юлія Андріївна Шулле ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	2973
Владислав Петрович Рембач, Юлія Андріївна Шулле ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА	2975
Олексій Ярославович Бондар, Владислав Володимирович Юрчук, Юлія Андріївна Шулле ПРИЙНЯТТЯ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ	2977
Василь Юрійович Самойлов, Олександр Миколайович Кравець ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	2979
Влад Валерійович Гладун, Михайло Йосипович Бурбело АКТИВНІ ФІЛЬТРИ	2981
Владислав Іванович Вдовиченко, Михайло Йосипович Бурбело ВПЛИВ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ	2983
Вячеслав Вікторович Уманець, Олександр Миколайович Кравець ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА	2985
Богдан Володимирович Котик, Юлія Андріївна Шулле АСКОВЕ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	2987
Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань	
Валерій Федорович Граняк, Самоїл Шулімович Качив АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ НЕЙРОПОДІБНОЇ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ ГІДРОАГРЕГАТІВ ВІД НАВАНТАЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ТА НАПОРУ ВОДИ	2990
Самоїл Шулімович Качив, Артем Сергійович Мельник ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ RL-ДІОДНОГО ГЕНЕРАТОРА ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ	2992
Назирій Максимович Орлов, Валерій Федорович Граняк ФАЗОВИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ОСЬОВОГО ЗМІЩЕННЯ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ	2994
Юрій Григорович Ведміцький НАПРУГА ЗМІЩЕННЯ НЕЙТРАЛІ БАГАТОФАЗНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ В КООРДИНАТНОМУ ПРОСТОРИ ВІДНОСНИХ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН. МЕТОД ЗІСТАВЛЕНОЇ НЕСИМЕТРІЇ	2997
Юрій Михайлович Остапюк, Олександр Васильович Ільчій, Вячеслав Губейович Мадьяров ПРЕДСТАВЛЕННЯ СИНУСОЇДНИХ СТРУМІВ В КОМПЛЕКСНІЙ ФОРМІ І ЇХ ОБРАХУНКИ	3008
Андрій Миколайович Коваль ПІДСУМКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ САК ПРИВОДОМ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА	3011
Володимир Сергійович Голодюк, Андрій Миколайович Коваль СИНХРОНІЗАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ ГЕНЕРОВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ ІНВЕРТОРІВ ФЕС ЗА ДОПОМОГОЮ ФАПЧ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПАРКА	3014
Юрій Григорович Ведміцький, Ілля Олександрович Гненний НЕРУЙНІВНИЙ МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ОДНОВИМІРНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	3018
Сергій Павлович Дишкант, Валерій Федорович Граняк ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ ARDUINO	3023
Секція електромеханічних систем автоматизації	
Михайло Петрович Розводюк, Владислав Володимирович Охов СЦЕНАРІЇ МІКРОКЛІМАТУ В СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»	3025
Михайло Петрович Розводюк НЕЧІТКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА	3027
Михайло Петрович Розводюк, Тимофій Володимирович Качай РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМИ «GRAVITY PORTAL»	3039
Сергій Миколайович Бабій, Дмитро Владиславович Косій КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ З ВРІВНОВАЖЕНОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ СХЕМОЮ	3032
Олег Васильович Дідушок ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВИМИКАЧА	3035
Олександр Вячеславович Паланюк МОЖЛИВОСТІ ІОТ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ І ПРОМИСЛОВОСТІ	3037
Вадим Сергійович Бомбик ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ ПОШУКУ ТОЧКИ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ	3040
Ростислав Віталійович Семенюк ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ В ДВОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	3042
Володимир Грабко ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ СТУДЕНТАМИ ДИСЦИПЛІН, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ ЗА ОСВІТНЬОЮ ПРОГРАМОЮ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»	3044

<i>Володимир Віталійович Грабко, Андрій Вікторович Ротар</i> ДІАГНОСТУВАННЯ РОТОРА ПРАЦЮЮЧОГО ГІДРОГЕНЕРАТОРА.....	3046
<i>Володимир Віталійович Грабко, Олександр В'ячеславович Паланюк</i> ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	3048
<i>Валентин Грабко, Сергій Осадчий</i> ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ.....	3050
<i>Сергій Миколайович Бабій, Андрій Анатолійович Бартецький</i> ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИВОДНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	3052
<i>Дмитро Петрович Проценко</i> РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРА КЕРУВАННЯ СЕРВОДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	3054
<i>Микола Омелянович Казак, Олександр Дмитрович Майданський, Микола Миколайович Мошноріз</i> ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД «ХВИЛЯ» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ В СИСТЕМАХ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВОДИ.....	3056
<i>Дмитро Юрійович Федотов, Микола Миколайович Мошноріз</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	3058
<i>Вадим Сергійович Бомбик, Руслан Юрійович Рибанюк</i> ВИКОРИСТАННЯ МРРТ-КОНТРОЛЕРА В МЕЖАХ ФОТОВОЛЬТАІЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	3060
<i>Дмитро Петрович Проценко, Ілля Володимирович Мельник</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СЕС.....	3062
<i>Микола Миколайович Мошноріз</i> КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ.....	3064
<i>Михайло Петрович Розводюк, Андрій Олексійович Льницький, Дмитро Руславнович Чернявський</i> РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ МЕТЕОСТАНЦІЇ.....	3066
Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів	
<i>Олександр Михайлович Кривоніс, Борис Іванович Мокін, Олександр Борисович Мокін</i> ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗА МЕТОДОМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОДНОГО КЛАСУ ЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	3070
<i>Вадим Вікторович Горенюк</i> ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ ПРИСВЯЧЕНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯМ З ТЯГОВИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЗМІННОГО СТРУМУ.....	3072
<i>Головченко Олексій Михайлович, Олена Миколаївна Нанака, Ліна Віталіївна Попсуй</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКІВ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ПАРИ.....	3076
<i>Владислав Васильович Слівінський, Олена Миколаївна Нанака, Олексій Михайлович Головченко</i> РІШЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ ВНТУ.....	3080
<i>Олександр Борисович Мокін, Владислав Олександрович Сухов</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....	3085
<i>Олександр Анатолійович Паянок</i> РОЗПОДІЛ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ.....	3087
<i>Олексій Анатолійович Жуков</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВІТРОВОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН.....	3090
<i>Людмила Михайлівна Мельничук</i> СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	3092

XLVII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки

Оргкомітет

Голова оргкомітету

В. О. Леонтєв, ВНТУ, Україна

Заступник голови оргкомітету

М. П. Розводюк, ВНТУ,

Україна Члени оргкомітету

В. В. Грабко, ВНТУ, Україна В.

В. Кухарчук, ВНТУ, Україна В.

М. Кутін, ВНТУ, Україна

П. Д. Лежнюк, ВНТУ, Україна

Б. І. Мокін, ВНТУ, Україна

М. Й. Бурбело, ВНТУ, Україна

Секції

Пленарне засідання

Секція електричних станцій і систем

Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Секція електромеханічних систем автоматизації

Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ПОТУЖНІСТЮ БІЛЬШЕ 1МВт НА РЕЖИМИ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Аналіз темпів впровадження відновлювальних джерел енергії, зокрема фотоелектричних станцій, показує різке зростання одиничної потужності ФЕС та їх кількості. Виходячи з цього, виникає необхідність врахування нестабільної природи генерування фотоелектричних станцій під час керування режимами роботи електричних мереж (ЕМ). Для цього необхідно попередньо провести оцінювання впливу такого на режимні параметри роботи ЕМ.

Ключові слова: фотоелектричні станції, відновлювальні джерела енергії, Smart Grid, електричні мережі, зелений тариф.

INVESTIGATION OF PHOTOELECTRIC STATIONS WHICH GENERATION CAPACITY MORE THAN 1 MW ON THE DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS MODES

Abstract

The analysis of the pace of implementation of renewable energy sources, in particular photovoltaic stations, shows a sharp increase in the unit power of the PV and their amounts. On this basis, it becomes necessary to take into account the unstable nature of the generation of photovoltaic stations while controlling the operation of electrical networks (EN). To do this, it is necessary to preliminarily conduct an assessment of the effect of such on the regime parameters of the EN.

Keywords: photovoltaic stations, renewable energy sources, Smart Grid, power grids, green fare.

Вступ

Встановлення джерела живлення на основі відновлювальної енергії в РЕМ неподалік від навантаження може змінювати напрямки перетоків потужності. Відповідно виникають проблеми, що пов'язані з появою реверсивних потоків. Однією з таких проблем є збільшення втрат активної потужності в електричних мережах.

Метою роботи дослідити вплив генерування фотоелектричних станцій потужністю більше 1МВт на режими роботи розподільних ЕМ

Результати дослідження

Аналіз втрат потужності в електричних мережах з ВДЕ, здійснювався з урахуванням місця приєднання та відношення значення потужності генерування до потужності навантаження вузлів :

1. У випадку коли встановлена у вузлі схеми потужність ВДЕ менша за навантаження, то таке під'єднання забезпечить зменшення втрат у мережі.
2. В електричній мережі існує хоча б один вузол, де вихідна потужність ВДЕ більша ніж власне навантаження цього вузла, але сумарна потужність відновлювальних джерел енергії, що встановлені в мережі, менша ніж її сумарне навантаження.
3. В електричній мережі існує щонайменше один вузол, де вихідна потужність ВДЕ більша, ніж власне навантаження цього вузла, але сумарна потужність ВДЕ даної мережі в цілому більша ніж її сумарне навантаження.

Раніше вказані випадки розглядалися, коли ставилась задача оптимізації конкретного режиму. Тоді можна було б визначити потужність генерування ВДЕ, оптимальну за критерієм мінімуму втрат активної потужності, як це запропоновано в :

$$P_{BDE} = \frac{|U_i| \cdot |U_i|}{R_{i,i}} \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^n \left((P_j \cos(\delta_i - \delta_j) + jQ_j \sin(\delta_i - \delta_j)) \cdot \frac{R_{i,j}}{|U_i| \cdot |U_j|} \right), \quad (1)$$

де $|U_i|$ – модуль напруги у вузлі, n – кількість вузлів в схемі, $R_{i,j}$ – i та j елемент матриці вузлових опорів схеми, δ_i – кут зсуву фази в i -тому вузлі, P_j, Q_j – активна та реактивна потужність навантаження в j -тому вузлі відповідно.

Проте добовий графік електричних навантажень нерівномірний, і потужність генерування ВДЕ залежить від погодних умов, тривалості світлового дня, тому також змінюється протягом доби. Щоб врахувати вказані зміни, доцільно перейти до оцінювання втрат електроенергії. На рис. 1 та 2, як приклад, наведено залежності втрат активної потужності для тестової 14-ти вузлової схеми IEEE, від потужності генерування ВДЕ, встановлених в різних вузлах.

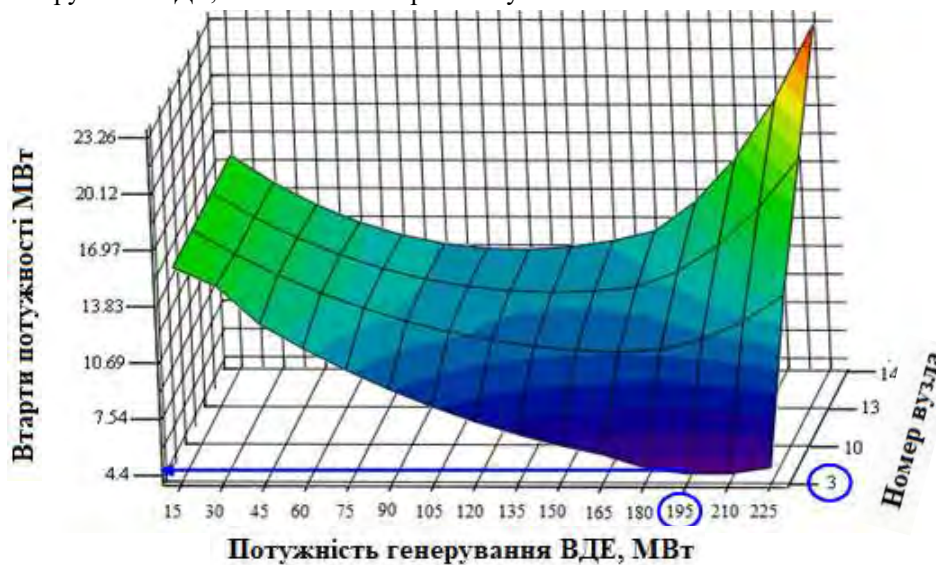


Рисунок 1 – Залежність зміни втрат активної потужності в ЕМ з врахуванням нестабільності генерування ВДЕ

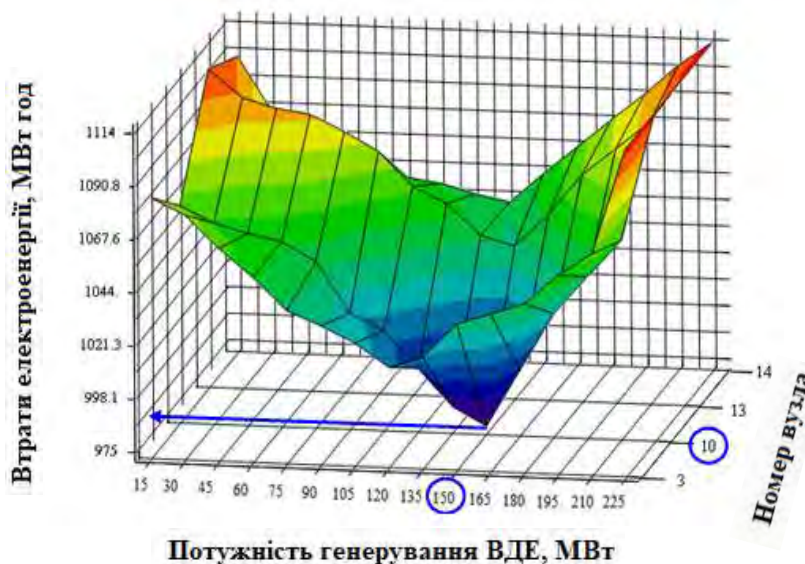


Рисунок 2 – Графічна залежність зміни втрат електроенергії в ЕМ з врахуванням змін добового графіка електричних навантажень

Висновки

Проаналізувавши залежності (рис. 1) та (рис. 2), можна зробити висновок, що вузол під'єднання та встановлена потужність ВДЕ, яка забезпечує мінімум втрат активної потужності для поточного режиму, може змінюватись внаслідок врахування природної нестабільності генерування джерела (рис. 1) та змін добового графіка електричних навантажень (рис. 2). Виходячи з цього, для визначення потужності ВДЕ, оптимальної за критерієм мінімуму втрат електроенергії, потрібно проаналізувати зміну потужності ВДЕ протягом доби та оцінювати нерівномірність добового графіка навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.В. Кириленко, І.В. Трач, "Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації", *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – 2009. – Вип. 24. – С. 3-7. ISSN 1727-9895
2. В. В. Павловський, А. О. Стелюк, О. В. Ленґа, А. М. Захаров, "Моделювання інерційного відгуку в ОЕС України в умовах значної частки електростанцій на відновлюваних джерелах енергії", *Технічна електродинаміка*. - 2015. - № 4. - С. 53-56. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2015_4_11.
3. Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк, "Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні" *Техн. електродинаміка* – 2011. – №5 – С. 52–67. – ISSN 1607-7970

Богатюк М.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bogatyuk1998@gmail.com

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

Bogatyuk Maxim O. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: bogatyuk1998@gmail.com

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ДОБУ НАПЕРЕД

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Актуальність проведених досліджень обумовлена необхідністю вдосконалення існуючих та розроблення нових методів та засобів прогнозування роботи фотоелектричних станцій в умовах стрімкого зростання кількості та встановленої потужності відновлюваних джерел електричної енергії, а особливо ФЕС та ВЕС, для забезпечення балансу між спожитою та генерованою потужністю від таких джерел.

Ключові слова: фотоелектричні станції, прогнозування графіків генерування, програма, метеопараметри.

FORECASTING GENERATION OF PHOTOVOLTAIC STATIONS GRAPHICS ON THE DAY AHEAD

Abstract

The urgency of the conducted research is due to the need to improve the existing and develop new methods and means of forecasting the work of photovoltaic stations in the conditions of rapid growth number and installed capacity of renewable energy sources, and in particular PVs and wind power stations, to ensure a balance between consumption and generated power from such sources.

Keywords: photoelectric stations, forecasting of generating graphs, program, meteoparameters.

Вступ

Відповідно до положень закону [1], для виробників, які виробляють електричну енергію на об'єктах електроенергетики, що використовують енергію вітру і сонячного випромінювання, для яких встановлено «зелений тариф», плата за небаланс (різниця між прогнозованим і фактичним погодинним генеруванням) встановлюється наступним чином: до 31 грудня 2020 року - 0 %; з 1 січня 2021 року - 10 %; з 1 січня 2022 року - 20 %; з 1 січня 2023 року - 30 %; з 1 січня 2024 року - 40 %; з 1 січня 2025 року - 50 %; з 1 січня 2026 року - 60 %; з 1 січня 2027 року - 70 %; з 1 січня 2028 року - 80 %; з 1 січня 2029 року - 90 %; з 1 січня 2030 року - 100 %.

Метою роботи є розроблення методів та засобів прогнозування графіків генерування фотоелектричних станцій, для забезпечення балансу генерування та споживання електроенергії в електричних мережах.

Результати дослідження

Оскільки для генерування ФЕС залежить від зміни метеопараметрів, було визначено які з них в найбільшій мірі впливають на виробіток електроенергії ФЕС. Запропоновані метеорологічні параметри [2] використовуються, як вхідні дані для нейронної мережі. Оскільки нейронні мережі повинні адаптуватися до геолокації і мати можливість повторно навчатися для інших станцій, використовуємо алгоритм зворотного поширення помилки. Основна ідея цього методу полягає в поширенні сигналів помилок з мережевих виходів на його входи, у зворотному напрямку до прямого поширення сигналів в нормальному режимі роботи. Щоб мати можливість застосувати метод зворотного поширення помилки, передатна функція нейронів повинна бути диференційованою. Даний метод є модифікацією класичного методу градієнтного спуску. Нейронна мережа матиме наступний вигляд див. рис.1.

Отже, маємо вектор вхідних величин $\vec{X}$ Емпіричним шляхом встановлено, що оптимальна кількість нейронів для точного прогнозу – 25, $i = 1..25$, що мають гіпертангенсову функцію їх активації:

$$f(e) = th \frac{s}{\alpha} = \frac{e^{\frac{s}{\alpha}} - e^{-\frac{s}{\alpha}}}{e^{\frac{s}{\alpha}} + e^{-\frac{s}{\alpha}}}, \quad (1)$$

де s - вихід суми нейрона, а α - постійна.

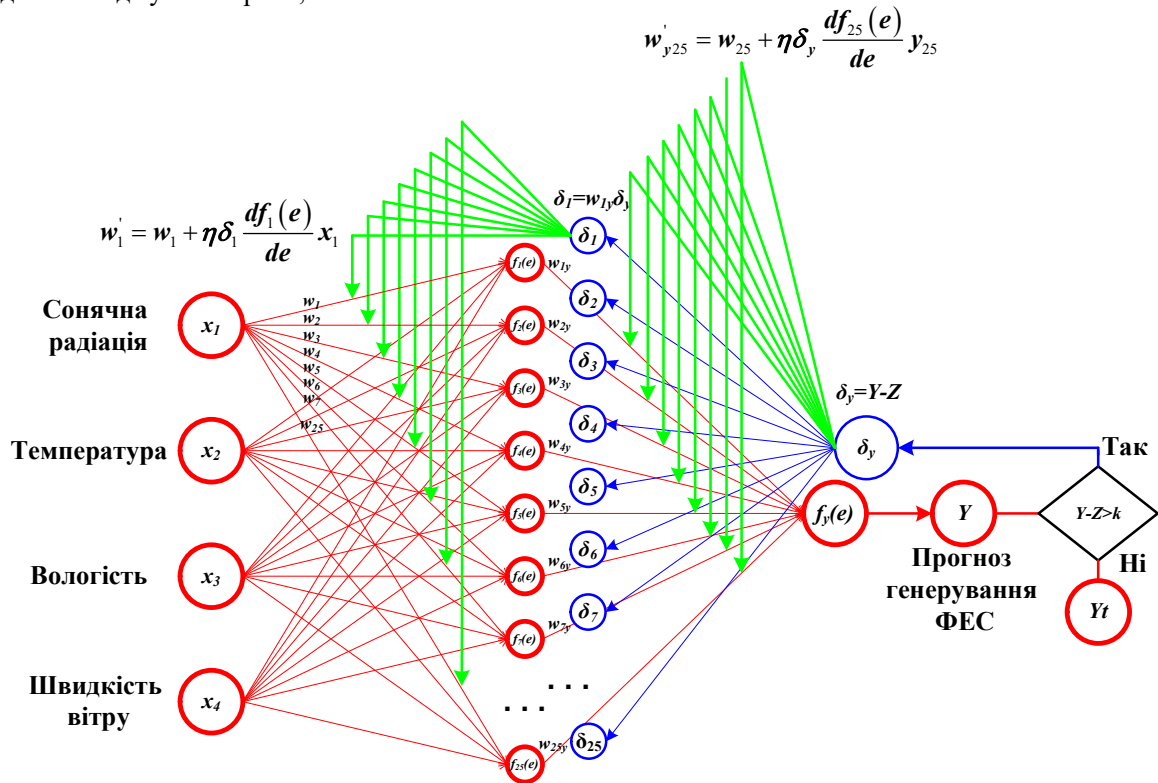


Рисунок 1 – Нейронна мережа для прогнозування генерування ФЕС на наступну добу
Таким чином, результат активації першого нейрона буде мати значення y_1 , що дорівнює:

$$y_1 = f_1(w_{(x_1)} \cdot x_1 + w_{(x_2)} \cdot x_2 + w_{(x_3)} \cdot x_3 + w_{(x_4)} \cdot x_4) \quad (2)$$

Аналогічно, вона може бути записана для інших нейронів. А для з'єднання прихованого шару з початковим значенням (передбачена генеруюча потужність) Y . Використовуємо відповідні вагові коефіцієнти для прикладу першого отриманого нейрона і початкове значення розвитку нейрона:

$$y = f_y(y_1 \cdot w_{1y} + y_2 \cdot w_{2y} + y_3 \cdot w_{3y} + \dots + y_{25} \cdot w_{25y}) \quad (3)$$

Оскільки за першу ітерацію практично неможливо досягнути бажану точність, використовується алгоритм зворотнього поширення похибки. В основу якого покладено метод корекції вагових коефіцієнтів нейронів. Обчислюється похибка і на її основі робимо зворотній хід, який полягає в послідовній зміні ваги нейронів мережі, починаючи з ваг вихідних нейронів.

Значення ваг будуть змінюватися в напрямку, який дасть нам найкращий результат. У розрахунку ми використовуємо метод знаходження дельта $\delta_y = Y - Z$, Z - бажане значення, оскільки це найпростіший і найбільш зрозумілий спосіб. Також використовується стохастичний метод оновлення вагових коефіцієнтів. Вирішуючи зворотній хід, визначимо вагу для першого прихованого нейрона:

$$w'_{1y} = w_{1y} + \eta \delta_y \frac{df_y(e)}{de} y_1 \quad (4)$$

де $\delta_y = Y - Z$ - зміщення виходу, η - константа.

Аналогічним чином визначається зміщення ваги нейронів, які з'єднують вхідні параметри з прихованим шаром:

$$w'_1 = w_1 + \eta \delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_1 \quad (5)$$

де $\delta_1 = w_{1y} \delta_y$ - зміщення виходу, η - константа.

Для кожної ітерації алгоритму зворотнього поширення похибки зважені коефіцієнти нейронної мережі змінюються для зменшення помилки моделі. Таким чином на кожній ітерації вирішується одна критеріальна задача [3].

Висновки

На основі визначених метеопараметрів, запропоновано метод погодинного прогнозу генерування фотоелектричних станцій на добу наперед. Такий метод, забезпечує точність погодинного прогнозу генерування ФЕС на рівні 80%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України про ринок електричної енергії – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
2. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Лесько В.О., Нетребський В.В., Кульматицька А.С. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №83733 Комп'ютерна програма «Розпізнавання даних з типових файлів джерел метеопараметрів». – Державна служба інтелектуальної власності України. 17.12.2018.
3. R. Marquez, H.T.C. Pedro, C.F.M. Coimbra, Hybrid solar forecasting method uses satellite imaging and ground telemetry as inputs to ANNs, Sol. Energy 92 (2013) 176e188.

Кульматицька А.С. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1e.15b.kulmatytska@gmail.com

Кравчук С.В. — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — доктор технічних наук, професор, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lezhpd@gmail.com

Kulmatytska Anna S. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: 1e.15b.kulmatytska@gmail.com

Kravchuk Serhii V. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Supervisor: Lezhniuk Petro D. – Doctor of Technical Sciences (Dr. Sc.), professor, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: lezhpd@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОСИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано темпи збільшення генерування сонячних електростанцій в ОЕС України в розрізі кожного регіону, встановлено, що таке збільшення є нерівномірним. Виходячи з цього сумарна потужність генерування сонячних електростанцій по різному впливає на параметри роботи, зокрема режимні, електричних мереж до яких вони приєднані. Таким чином, в зв'язку з появою розподіленого генерування електричні мережі набувають ознак локальних електричних систем.

Ключові слова: сонячні електростанції, генерування, втрати потужності, коливання напруги.

ENERGY SYSTEMS PARAMETERS OPTIMIZATION USING SOLAR ELECTRICITY

Abstract

The paper analyzes the pace of increase in the generation of solar power plants in the UES of Ukraine in the context of each region, it is established that such an increase is uneven. Therefore, the total power generation of solar power plants in different ways affects the parameters of operation, in particular the regime, electrical networks to which they are connected. Thus, in connection with the emergence of distributed generation, electrical networks acquire signs of local electrical systems.

Keywords: solar power plants, generation, power losses, voltage fluctuations.

Вступ

Поява відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) поряд зі споживачем потенційно повинна призводити до розвантаження електричних мереж, підвищення якості і надійності електропостачання. Однак, нестабільність генерування ВДЕ, зумовлена залежністю від природних умов, часом завищена потужність приєданого джерела призводять до зниження ефективності функціонування електричної мережі і погіршення якості послуг з електропостачання кінцевого споживача. Особливо це стосується сонячних електростанцій (СЕС), одинична та сумарна встановлена потужність яких в електричних мережах зростає з кожним роком (рис.1)[1].



Рисунок 1 – Динаміка введення в експлуатацію нових потужностей відновлювальних джерел в ОЕС України

Наявність в розподільних електричних мережах джерел енергії дозволяє характеризувати їх як локальну електричну систему (ЛЕС), від надійної і економічної роботи якої залежить не лише рівень послуг з електропостачання, а й стабільна робота енергосистеми. Оскільки генерування СЕС

нерівномірно розподілене по різних областях (рис.2) і з цим потрібно рахуватись беручи до уваги технічний стан електричних мереж.

Потужність введена у 2 кварталі 2018, МВт



Загальна встановлена потужність, МВт

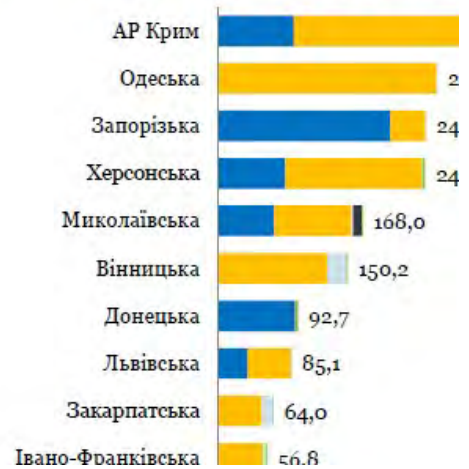


Рисунок 2 – Динаміка введення в експлуатацію нових потужностей відновлювальних джерел в розрізі кожної області

Важливим питанням балансування режиму СЕС та локального споживання, оскільки генерування СЕС – нестабільне. В цьому випадку необхідно мінімізувати відхилення від централізовано заданого графіка сукупного генерування ВДЕ за заданих обмежень на первинні енергоресурси та з врахуванням їх характеристик. При цьому повинна бути забезпечена стійкість ЛЕС як в режимі мінімального навантаження, так і в режимі максимального навантаження.

Метою роботи оцінювання доцільності приєднання відновлювальних джерел енергії з урахуванням їх технічного стану та контролю режимних параметрів.

Результати дослідження

Аналіз технічного стану електричних мереж України з огляду на пошук нових методів та засобів підвищення надійності електропостачання. На сьогодні стан розподільних електричних мереж характеризується наступними показниками: понад 6,6% ліній електропередавання напругою 35-110 (150) кВ та 11,5% ліній електропередавання напругою 0,4- 10(6) кВ прийшли в технічно непрацездатний стан і потребують значних щорічних зростаючих витрат на технічне обслуговування та ремонт. Близько 22,3% трансформаторів напругою 35-110 (150) кВ [5] і 14,9% трансформаторів напругою 10(6) кВ відпрацювали передбачений технічною документацією термін експлуатації, мають значні втрати, недостатню надійність та потребують заміни. Фактичні витрати електричної енергії в електричних мережах в середньому складають 12,1%, а в мережах окремих компаній сягають 18% внаслідок змін в структурі споживання електричної енергії, а саме: зростання навантажень в містах та зменшення їх в сільській місцевості – електричні мережі значних і найзначніших міст вимагають збільшення пропускної здатності та спорудження додаткових ПС 110 (150) кВ. Витрати на ремонт електричних мереж по роках зменшилися і складають близько 60% від необхідних, які визначаються Правилами технічної експлуатації електричних мереж.

Стосовно співвідношення розвиненості мережі 0,4-110(150) кВ енергопостачальних компаній, то довжина ліній 35-110(150) кВ в одноколовому обчисленні становить 11,4% від загальної довжини мереж 0,4 – 110(150) кВ, кількість підстанцій 35-110(150) кВ складає 2,5%, а їх трансформаторна потужність – 64,4% від сумарної потужності трансформаторів 0,4-110(150) кВ. Серед ЛЕП 0,4-10(6) кВ кількість КЛ 0,4-10(6) кВ становить 9,7% [2,3]. Аналіз технічного стану електричних мереж свідчить про значну міру морального та фізичного зношування її елементів, що в свою чергу, зменшує надійність електропостачання споживачів та приносить додаткові збитки енергопостачальним та генерувальним компаніям.

Висновки

Проаналізовані темпи впровадження відновлювальних джерел енергії в електричних мережах України, показують, що найбільш динамічно розвиваються сонячні електростанції. Динаміка розвитку таких станцій в різних областях країни відрізняється, як наслідок утворюються частини електричної мережі де сумарна встановлена потужність ВДЕ становить більше 20%, це дає змогу розглядати розподільну електричну мережу як локальну електричну систему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Звіт про діяльність НЕК «Укренерго» за 2017 рік. Режим доступу: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/05/UKRENERGO_NF_Report_2017.pdf

2. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали : у 2-х т. / Національна академія наук України; Інститут газу НАН України; Інститут загальної енергетики НАН України; редколегія: Б. С. Стогній та ін. – К.: Академперіодика, 2006 – 529 с.

3. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016- 2025 роки [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812

Карпенко А.В. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:carpenko.andrij2012@gmail.com

Кравчук С.В. — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: netrebskiy@ukr.net

Karpenko Andrii V. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: carpenko.andrij2012@gmail.com

Kravchuk Serhii V. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Supervisor: Netrebskiy V. V. – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: netrebskiy@ukr.net

ОПТИМАЛЬНЕ ІНТЕГРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі проаналізовані шляхи оптимального інтегрування фотоелектричних станцій в електричні мережі енергосистем. Однією з основних передумов розкриття потенціалу фотоелектричних станцій є розроблення технічних засобів їх впровадження. Концепція SMART Grid дозволяє створювати і контролювати такі засоби керування. Тому опираючись на засади концепції, проаналізовано технічні аспекти впровадження фотоелектричних.

Ключові слова: фотоелектричні станції, відновлювальні джерела енергії, Smart Grid, електричні мережі, зелений тариф.

PHOTOVOLTAIC OPTIMAL INTEGRATION IN ELECTRICAL NETWORKS OF ENERGY SYSTEMS

Abstract

The paper analyzes the ways of optimal integration of photovoltaic stations in electric networks of power systems. One of the main prerequisites for the disclosure of the potential of photovoltaic stations is the development of technical means for their implementation. The SMART Grid concept allows you to create and control such controls. Therefore, based on the principles of the concept, the technical aspects of the introduction of photovoltaics are analyzed

Keywords: photovoltaic stations, renewable energy sources, Smart Grid, power grids, green fare.

Вступ

Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року N1071, розвиток енергетики на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є важливим напрямком, який підвищує рівень енергетичної безпеки, знижує антропогенний вплив на навколишнє середовище та має великий потенціал з забезпечення значного внеску в процес підвищення енергетичної незалежності України. Виходячи з цього, державою прийнято ряд мотиваційних заходів, зокрема «зелений тариф», для залучення інвестицій у ВДЕ. Найшвидші темпи впровадження серед ВДЕ показують джерела, що базуються на перетворенні енергії сонця. Проте, електричні мережі, в силу їх технічного стану та підходів до керування, не готові до зростання кількості та одиничної потужності фотоелектричних станцій (ФЕС). За кордоном добре зарекомендувала себе концепція SMART Grid, впровадження якої поступово відбувається в енергетичному секторі України. Впровадження даної концепції дозволить підвищити енергоефективність електричних мереж, в тому числі і за рахунок збільшення частоти генерування фотоелектричних станцій, що сприятиме диверсифікації імпорту енергетичних ресурсів України.

Результати дослідження

Концепція Smart Grid передбачає побудову цілком інтегрованої, саморегульованої та само відновлюваної системи, що містить всі джерела генерування електроенергії, магістральні та розподільні мережі, а також всі види споживачів електроенергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв в реальному часі [1, 2]. Впровадження Smart Grid технологій відбувається в рамках сценарію розвитку електроенергетики, коли за рахунок розосередженого генерування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) зменшується централізоване генерування, в результаті чого зменшується навантаження на магістральні електричні мережі, а розподільні мережі повинні адаптуватися до нових умов експлуатації. Оскільки розподільні електричні мережі зі всією

інфраструктурою проектувалися під централізоване живлення, то на сьогодні вони вимагають суттєвої модернізації.

Модернізація сучасних систем електропостачання з розвитком відновлюваних джерел електроенергії і обмеженням централізованого електропостачання тісно пов'язана з *Smart Grid* технологіями. Важливою задекларованою особливістю *Smart Grid* є можливість для постачальників електроенергії контролювати роботу електроустановок споживачів, тобто дистанційно регулювати споживання електроенергії, зсуваючи його в часі й «підганяючи» під оптимальний графік сукупного генерування. У перспективі за рахунок гнучких зворотних зв'язків з використанням комунікаційних мереж можливе керування режимами роботи окремих електроустановок споживачів з метою адаптування режимів споживання під нестабільне генерування *ВДЕ*. Переваги такого підходу очевидні. Для *ЛЕС* з комбінованим електропостачанням можуть виникати різні задачі оптимізації.

Найбільш актуальною на даний час, враховуючи специфіку забезпечення рентабельності *ВДЕ* (1), є задача оптимізації добових режимів (на інтервалі часу $[t_0; t_k]$) керованих джерел енергії $P_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ (наприклад *МГЕС*) з урахуванням режимів умовно-керованих джерел для забезпечення максимальних надходжень від реалізації їх електроенергії за умов багатоступеневого тарифу енергоринку $\pi(t)$ та технічних обмежень з боку окремих *ВДЕ*:

$$\int_{t_0}^{t_k} \pi(t) \sum_{i=1}^n P_i(t) dt \rightarrow \max, \quad (1)$$

з урахуванням балансового обмеження:

$$P_{\text{цж}}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) - P_{\text{нав}}(t) - \Delta P(t) = 0,$$

де $P_{\text{цж}}(t)$ – потужність від централізованих джерел живлення *ЛЕС*; $P_{\text{нав}}(t)$ – сумарне навантаження *ЛЕС*; $\Delta P(t)$ – втрати потужності в *ЛЕС*.

Висновки

Модернізація електроенергетики на основі концепції *Smart Grid* дозволяє суттєво покращити керованість процесів генерування, транспортування, розподілу та споживання електроенергії. Завдяки *Smart Grid* технологіям електроенергетика швидше адаптується до ринкових умов. Впровадження *Smart Grid* технологій на рівні локальних електричних систем підтверджує їх техніко-економічну ефективність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: “*European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future*”, European Communities, 2006.

2. Стогній Б. С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення // *Технічна електродинаміка*. – 2010. – №6. – С. 44–50.

Прокопенко І.О. — аспірант, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: delfin11071994@gmail.com

Кравчук С.В. — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — доктор технічних наук, професор, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lezhpdp@gmail.com

Prokopenko Ihor O. – Ph.D student, Vinnitsa National Technical University, Ph.D student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: delfin11071994@gmail.com

Kravchuk Serhii V. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Supervisor: Lezhniuk Petro D. – Doctor of Technical Sciences (Dr. Sc.), professor, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: lezhpdp@gmail.com

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наразі проблема забезпечення балансу потужностей в електричній мережі викликано рядом чинників, зокрема нестабільністю генерування відновлювальних джерел енергії та технічно застарілим обладнанням електричних мереж, що часто не готові прийняти таку потужність. Як наслідок, в електричній мережі часто виникає надлишок або дефіцит потужності, що негативно впливає на режими її роботи. В роботі розглянуті основні засоби балансування електричної мережі, такі як: потужність резерву, що має підтримувати енергосистема, ємність накопичувача для компенсації нестабільності генерування ВДЕ, визначення споживачів, що можуть приймати участь у регулюванні денного графіка навантаження, що в разі необхідності можуть змістити свій графік генерування, якщо це буде економічно обґрунтовано.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, баланс потужностей, накопичувач.

METHODS AND MEANS OF POWER BALANCING IN ELECTRICAL NETWORKS WITH PHOTOELECTRIC STATIONS

Abstract

Currently, the problem of balancing power in the electrical network is due to a number of factors, in particular the instability of generation of renewable energy sources and technically obsolete equipment of electric networks, which are often not ready to accept such power. As a result, an electrical network often has an excess or a lack of power, which negatively affects its operating modes. The paper considers the main means of balancing the electrical network, such as: the capacity of the reserve to be supported by the power system, the capacity of the drive to compensate for the instability of the generation of RES, the definition of consumers who can participate in the regulation of the daily load schedule, which, if necessary, can shift its schedule of generation, if it is economically justified.

Keywords: renewable energy sources, power balance, storage.

Вступ

Для реалізації нової концепції розвитку електроенергетики необхідна зміна парадигми керування енергосистемою – від концепції централізованого керування – до концепції розподіленого керування. Нові умови й каталізатори розвитку галузі формують потребу в розробленні й впровадженні нових технологій і елементів, що забезпечують:

– рух потоків електроенергії й інформації від енергетичних компаній до споживачів і в зворотному шляху;

– постійний контроль за всіма елементами мережі – від роботи електростанцій до споживання електроенергії індивідуальними пристроями;

– інтеграцію розподілених джерел електроенергії (у тому числі поновлюваних) і засобів зберігання електроенергії. Для покращання умов оптимального керування режимами електроенергетичних систем в рамках концепції Smart Grid передбачується розвиток наступних функціональних властивостей [1]:

1. Самовідновлення при зміні станів.
2. Мотивація активної поведінки кінцевого споживача.
3. Забезпечення надійності та якості електроенергії.
4. Використання різних типів електростанцій і систем акумулювання електроенергії – розподілене генерування.
5. Розширення ринків електроенергії і потужності для споживача.

Зокрема відкритий доступ до ринку централізованого і розподіленого генерування. ЕЕС на базі концепції Smart Grid надасть більші можливості для споживачів і виробників електроенергії за рахунок збільшення пропускної здатності магістральних мереж, розміщення розподілених джерел енергії в розподільних електричних мережах ближче до споживачів. Змінюється статус споживача, обумовленого тим, що він може мати власні джерела електроенергії. Як приклад застосування Smart Grid технологій покажемо на прикладі локальної електричної системи (ЛЕС) з відновлюваними джерелами електроенергії (ВДЕ).

Модернізація сучасних систем електропостачання з розвитком відновлюваних джерел електроенергії і обмеженням централізованого електропостачання тісно пов'язана з Smart Grid технологіями [1-3]. Планований техніко-економічний ефект від впровадження ВДЕ може бути досягнутий шляхом узгодження в часі оптимізації процесів вироблення, транспортування і споживання електроенергії. Електричні мережі за рахунок локальних систем керування, самоналагодження та самодіагностування можуть здійснювати регулювання постачання електроенергії в залежності від режиму її споживання, але за умови достатнього інформаційного забезпечення. За допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних технологій «розумні» мережі забезпечать інформаційне сполучення централізованого електропостачання, а також споживачів електроенергії з ВДЕ.

Важливою задекларованою особливістю Smart Grid [1, 2] є можливість для постачальників електроенергії контролювати роботу електроустановок споживачів, тобто дистанційно регулювати споживання електроенергії, зсуваючи його в часі й «підганяючи» під оптимальний графік сукупного генерування [3, 4]. У перспективі за рахунок гнучких зворотних зв'язків з використанням комунікаційних мереж можливе керування режимами роботи окремих електроустановок споживачів з метою адаптування режимів споживання під нестабільне генерування ВДЕ. Переваги такого підходу очевидні.

Метою роботи є дослідження можливості забезпечення балансу потужностей в локальній електричній системі з відновлювальними джерелами енергії.

Результати дослідження

На рис. 1 показано як формується баланс потужності в ЛЕС з комбінованим електропостачанням. Поступлення електроенергії здійснюється від внутрішніх джерел (електростанцій вітрових (ВЕС) і сонячних (СЕС), малих гідроелектростанцій (ГЕС), когенераційних (КГУ) і біогазових (БГУ) установок) та джерел централізованого живлення. Навантаження трансформаторних підстанцій складається з навантаження споживачів і генерування джерел електроенергії, які знаходяться у них на балансі.

Для ЛЕС з комбінованим електропостачанням можуть виникати три різні задачі оптимізації: забезпечення максимального прибутку від реалізації їх електроенергії за умов багатоступеневого тарифу енергоринку та технічних обмежень з боку окремих ВДЕ; зменшення залежності локальної електричної системи з сумарним навантаженням $P_{\text{нав}}(t)$ від централізованого енергопостачання, тобто мінімізації навантаження локальної системи на основний центр живлення; мінімізації на інтервалі часу $t_0 - t_k$ відхилень від заявленого на наступну добу прогнозованого графіка генерування в ЛЕС з врахуванням метеорологічних умов та характеристик ВДЕ.

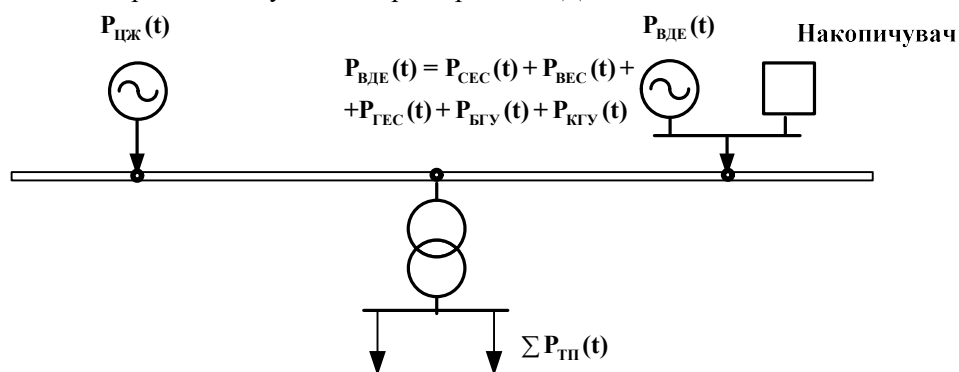


Рисунок 1 – Баланс потужності в локальній електричній системі

Зі зростанням обсягу генерування ВДЕ в електричних мережах актуальною стає задача, яка формулюється наступним чином:

$$\int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{2} \left(P_{\text{ВДЕ}}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) \right)^2 dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $P_{\text{ВДЕ}}(t)$ – заявлений (заданий) графік сумарного генерування ВДЕ в ЛЕС, $\sum_{i=1}^n P_i(t)$ – поточне сумарне генерування ВДЕ, n – кількість керованих ВДЕ в ЛЕС.

В ЛЕС для надійного та якісного електропостачання споживачів має підтримуватися баланс потужності:

$$P_{\text{цжс}}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) - \sum_{j=1}^m P_{\text{ТП } j}(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (2)$$

де $P_{\text{цжс}}(t)$ – потужність, яка передається в ЛЕС від централізованих джерел електроенергії, $P_{\text{ДТ } i}(t)$ – навантаження трансформаторних підстанцій (ТП), m – кількість ТП, $\Delta P(t)$ – технологічні втрати електроенергії (ТВЕ) в електричних мережах ЛЕС.

З (2) визначається потужність централізованого живлення ЛЕС:

$$P_{\text{цжс}}(t) = \sum_{j=1}^m P_{\text{ТП } j}(t) + \Delta P(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) = 0. \quad (3)$$

Потужність $P_{\text{оде}}(t)$ в залежності від внутрішнього балансу потужності в ЛЕС може бути зі знаками плюс або мінус. В першому випадку централізоване живлення є резервом генерування в ЛЕС, а в другому – ЛЕС віддає надлишок електроенергії в ЕЕС. Відмітимо, що необхідною умовою визначення $P_{\text{оде}}(t)$ є підтримування

з заданою точністю генерування ВДЕ в ЛЕС (ідеально мало б бути $P_{\text{ВДЕ}}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) = 0$). При цьому має

враховуватися прогнозна інформація щодо метеопараметрів, яка надається відповідною підсистемою автоматизованою системою керування (АСК) і дозволяє достатньо адекватно відтворювати стани керованих ВДЕ на наступну добу. За рахунок цього умовно-керовані та нестабільні джерела енергії типу ВЕС та СЕС в цільових функціях та обмеженнях задач оптимального керування можна представити математичним сподіванням часових залежностей генерування $M_{\text{ВЕС}}\{P(t)\}$, $M_{\text{СЕС}}\{P(t)\}$, $t \in [t_0; t_k]$.

Щодо навантаження трансформаторних підстанцій, то воно визначається за методикою, викладеною в [5]. Втрати ТВЕ в електричних мережах ЛЕС $\Delta P(t)$ визначаються за допомогою програмного комплексу [6], в якому використовуються типові графіки і метод визначення навантаження трансформаторних підстанцій.

В балансі потужності ЛЕС суттєве значення має заявлений графік генерування ВДЕ $P_{\text{ВДЕ}}(t)$, точність дотримання якого залежить від точності прогнозу метеопараметрів. Кращі системи прогнозування "на день наперед" дають похибку в межах до $\pm 20\%$. Така похибка не може задовольнити вимоги щодо точності погодинного графіка генерування ВЕС і СЕС 10% .

Підвищити точність погодинного генерування ВЕС і СЕС на добу вперед можливо, зменшивши похибку прогнозу метеопараметрів, що має об'єктивні обмеження, або використовуючи інші методи.

Як показує практичний досвід, кращий метод прогнозування генерування ВЕС і СЕС – це об'єднання усереднення прогнозів, отриманих від різних постачальників. Як варіант – встановлення певних довірчих коефіцієнтів для параметрів різних метеослужб. Інший шлях – організація балансувального в реальному часі пункту групою ВЕС і СЕС, генерування кожної з них моделюється і прогнозується окремо. Інтегруючи прогнози від локальних виробників дають більш точне значення сумарного генерування. Разом з тим, такий підхід спрощує і здешевлює підтримування балансу з застосуванням накопичувачів електроенергії або з використанням системного резерву як платної послуги. В цьому випадку простіше узгоджувати графіки генерування ВЕС і СЕС та навантаження споживачів електроенергії.

Найбільше відхилення від заявленого погодинного графіка генерування ВЕС і СЕС можна компенсувати двома способами. Перший – контролювати не погодинний графік потужності генерування, а сумарне генерування електроенергії за добу. Як правило, тут похибка вкладається у встановлені 10% . Другий спосіб виконання заявленого добового графіка потужності – це допустити одну-дві його поточні корекції за результатами реальних вимірювань. Враховуючи розосередженість ВЕС і СЕС в ЛЕС, така корекція практично не вплине на баланс в ній.

Забезпечення оптимальності процесу генерування, розподілу та споживання електроенергії з урахуванням особливостей ВЕС і СЕС у реальному часі крім потужних комунікаційних можливостей розосередженої системи керування вимагає залучення відповідних підходів щодо формування керувальних впливів та законів керування окремими джерелами електроенергії з урахуванням специфіки їх керованості та спостережності. Як приклад, такої системи можна навести систему керування ЛЕС з ВДЕ, яка використовується у «Вінницькобленерго» (див. рис. 2). Особливістю цієї системи керування є те, що вона відкрита для доповнення новими функціями і розширення можливостей. На сьогодні вона доповнена блоком, в якому використовуються

типові графіки навантаження і реалізована методика визначення максимального навантаження ТП [5] для прогнозування балансу потужності в ЛЕС і визначення ТВЕ в електричних мережах. Для підтримання балансу потужності в ЛЕС і генерування ВЕС і СЕС за графіком, узгодженим з оператором по розподілу електроенергії, запропоновано АСК «Energy Storage» накопичувачами електроенергії.

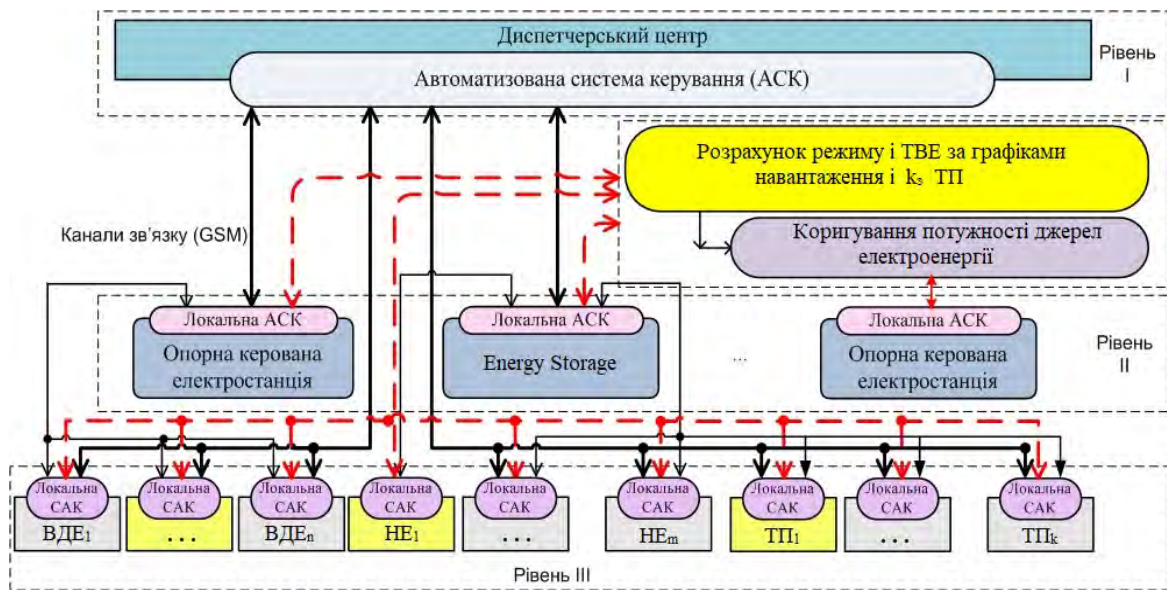


Рисунок 2 – Структурна схема АСК джерелами електроенергії з локальними САК

Висновки

Враховуючи наведене вище для реалізації комплексу задач оптимального керування ВДЕ в розподільних мережах необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого керування об'єктом у реальному часі. Однак, ця умова не може бути забезпечена через просторову розподіленість об'єкта керування та обмежену надійність каналів зв'язку між ними та диспетчерським центром. Виходячи з цього автоматизована система керування з необхідним переліком функцій керування побудована як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу (рис. 2) за рахунок застосування локальних систем автоматичного керування (САК).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. NIST Releases Report on Smart Grid Development // National Institute of Standards and Technology (USA) – Recognized Standards for Inclusion In the Smart Grid Interoperability Standards Framework, Release 1.0 (електронний ресурс). Режим доступу: [http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGridInterim Roadmap/ Interim Roadmap Final](http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGridInterim+Roadmap/Interim+Roadmap+Final).
2. European Smart Grids Technology Platform // European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006. – 44 p.
3. Лежнюк П. Д. SMART GRID технології в електроенергетиці / П. Д. Лежнюк, О. А. Буславець // Матеріали XIII Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах». – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С. 6–10.
4. Лежнюк П. Д. Узгодження графіків генерування відновлюваних джерел енергії та електричного навантаження в локальній електричній системі// П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України".– Харків: ХНТУСГ. №2.– 2016.– С.30 –37.
5. Буславець О. А. Визначення максимального навантаження трансформаторних підстанцій розрахунковим шляхом / О. А. Буславець, А. О. Квицинський, Л. Н. Кудачкий [та ін.] // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №5. – С. 25– 31.
6. Добровольська Л. Н., Кулик В. В., Лежнюк П. Д. Електроощадні технології в електроенергетичних системах. – Луцьк: Вежа-Друк, 2018. – 328 с.

Плютиця В.О. – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Кравчук С.В. — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

Лежнюк Петро Дем'янович — доктор технічних наук, професор, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lezhpd@gmail.com

Plotitsa Victor O - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Kravchuk Serhii V. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Lezhniuk Petro D. – Doctor of Technical Sciences (Dr. Sc.), professor, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: lezhpd@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТІКАНЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Роботу присвячено розв'язанню задачі оптимізації перетікань реактивної енергії у електричних мережах енергопостачальних компаній.

Ключові слова: електрична мережа, «ідеальний» режим, перетікання реактивної енергії, багатofакторна оптимізація, джерело реактивної потужності.

OPTIMIZATION OF TRANSFER OF REACTIVE POWER IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS

Abstract

The report is devoted to solving the problem of optimization of reactive energy flows in power networks of power supply companies

Keywords: electric network, "ideal" mode, jet energy flow, multifactor optimization, source of reactive power.

Вступ

Сучасні електричні мережі енергопостачальних компаній повинні забезпечувати надійне та ефективне енергозабезпечення споживачів, а також транспортування електроенергії розосереджених джерел енергії. Крім реконструкції ЕМ та модернізації їх основного обладнання, набувають актуальності дослідження у напрямку вдосконалення структури та способів керування їх режимами.

Оптимізація рівнів локального генерування реактивної енергії у сучасних електричних мережах у поєднанні з інформатизацією та забезпеченням їх керованості, дозволяє зменшувати технологічні витрати електроенергії, незалежно від змін навантаження ЕК. Задачі вдосконалення структури та параметрів ЕМ мають розв'язуватися таким чином, щоб формування проектних рішень, зокрема щодо приєднання та експлуатації джерел реактивної потужності, погоджувалося з ефективною експлуатацією діючих електроустановок. Максимального ефекту тут можна досягти оптимізуючи розміщення та параметри ДРП з урахуванням зміни характеру електроспоживання, а також режимів розосереджених джерел енергії, кількість та потужність яких постійно зростає.

Виходячи з цього, в роботі показано можливість та досліджено особливості оптимізації перетікань реактивної енергії в електричних мережах ЕК на основі принципу найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського (ПНД).

Результати дослідження

Особливістю оптимізації реактивних перетікань в сучасних електричних системах є те, що крім традиційних джерел реактивної енергії (електричних станцій, спеціалізованих пристроїв, ліній електропередачі) тут впроваджуються розосереджені джерела енергії (РДЕ). Функціонування розосереджених джерел енергії визначається впливом навколишнього середовища й мало залежить від обмежень, що накладаються експлуатацією в електричних мережах. Використовуючи синхронні й асинхронні генератори, а також інверторні перетворювачі, означені джерела можуть генерувати або споживати реактивну енергію залежно від режиму їх роботи. Внаслідок цього періодично виникають реверсивні перетікання, які впливають на надійність та ефективність транспортування електроенергії.

У енергосистемі Німеччини показано, що генерування реактивної потужності РДЕ має бути керованим та відповідати режиму ЕМ. Це полегшить обмін реактивної енергією між розподільними

та магістральними мережами та підтримання стабільності напруги. Децентралізація енергетичних систем вимагає, щоб РДЕ брали більшу відповідальності за проблеми в ЕМ.

Видача потужності РДЕ може викликати недопустимі підвищення рівнів напруги у розподільних мережах, зокрема через те, що мережеве обладнання, необхідне для підключення РДЕ, генерує додаткову реактивну потужність. Однак, використовуючи керування реактивною потужністю РДЕ, оператори розподільних мереж можуть вирішувати вказані проблеми.

У роботі [1] було запропоновано методику оцінювання тенденцій електроспоживання в електромережах з РДЕ. Показано, що на зв'язках між магістральними та розподільними мережами в Великобританії та інших європейських країнах в періоди мінімального навантаження попит на реактивну потужність буде продовжувати знижуватися. Це розглядається як один з факторів, що ставлять нові проблеми в магістральних мережах з підтримання встановлених рівнів напруги.

Для розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією рівнів компенсації реактивної потужності у електричних мережах за комплексним критерієм, традиційно знайшли застосування методи декомпозиції, лінійного та нелінійного програмування. Однак такі методи через використання припущень та спрощень можуть скеровувати процес розв'язку до локальних екстремумів.

У роботі [3], обґрунтовано доцільність переходу від задачі комплексної оптимізації перетікань реактивної потужності в ЕМ, до комплексу задач оптимізації окремих етапів впровадження ДРП. Однак такий підхід супроводжується необхідністю прийняття додаткових припущень на етапі декомпозиції. Крім того, узгодження розв'язків часткових задач для складної системи з розподіленим генеруванням перетворюється на достатньо складну оптимізаційну задачу. Це знижує надійність та швидкість отримання розв'язку, наближеного до глобального оптимуму, погіршуючи ефективність проектних рішень та оперативного керування.

Сучасний розвиток інформаційних технологій та обчислювальних засобів формує передумови для застосування інших підходів до розв'язання задач оптимізації перетікань реактивної енергії, зорієнтованих, зокрема, на автоматизацію функціонування ЕМ. Виходячи з цього, останнім часом активно застосовуються елементи штучного інтелекту, зокрема штучні нейронні мережі, експертні системи, генетичні алгоритми та еволюційне програмування.

Для розв'язання задач оптимізації перетікань електроенергії в електричних мережах з РДЕ, на противагу оптимізованому перебору варіантів, до якого належать наведені вище методи, доцільно застосовувати комплексний підхід, що базується на використанні принципу найменшої дії.

В розв'язанні поставлених задач використано принцип найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського. Для моделювання усталених режимів ЕМ застосовано метод вузлових напруг. Для розроблення алгоритмів і програм застосовано об'єктно-орієнтований аналіз.

Згідно принципу найменшої дії поточний стан ЕМ, як технічної системи, в довільний момент часу відповідає глобальному мінімуму втрат енергії, значення якого відповідає рівню організованості системи. Однак, такий стан часто не відповідає економічним критеріям або обмеженням на режимні параметри [2], тобто потребує відповідного коригування.

Пошук оптимального режиму для ЕЕС полягає у визначенні «ідеального» режиму, який відповідає мінімально можливим втратам електроенергії для заданої сукупності незалежних параметрів системи. Далі накладанням активних обмежень на параметри режиму, він зводиться до оптимального з допустимої області значень. Активні обмеження завжди спричиняють збільшення втрат електроенергії у оптимальних режимах ЕЕС, порівняно з «ідеальними» [2].

Задача оптимізації розподілу навантаження між ДРП в електричних мережах за критерієм мінімуму втрат електроенергії може бути зведена до розрахунку «ідеального», або економічного струморозподілу в ЕМ з використанням заступної r -схеми.

Аналогічний підхід можна застосувати для оптимізації розміщення та потужностей ДРП в електричних мережах за комплексним техніко-економічним критерієм. Для цього до заступної r -схеми вводяться додаткові економічні опори (рис. 1), що відтворюють вплив економічних факторів, зокрема вартість ДРП та витрати на їх експлуатацію. Введення встановлених потужностей додаткових ДРП до переліку залежних параметрів режиму ЕМ дозволяє розрахувати їх оптимальні значення. Оптимальні значення відповідають мінімуму втрат активної потужності в розрахунковій схемі з економічними опорами, а отже й мінімуму витрат, що пов'язані з встановленням та експлуатацією ДРП.

Особливість пропонованого підходу полягає у методі визначення економічних опорів для представлення ДРП, що вводяться до заступної r -схеми ЕМ для врахування їх техніко-економічних

показників.

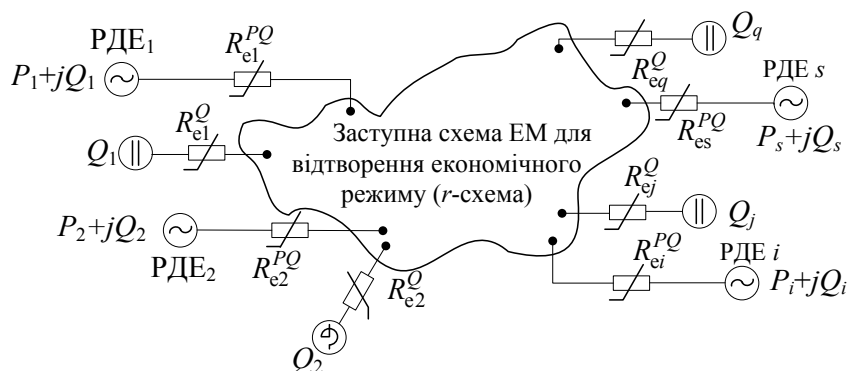


Рис. 1. Заступна схема електричної мережі для розрахунку «ідеального» режиму за економічним критерієм

Експериментально доведено, що реалізація цього методу, алгоритмів та програмних засобів забезпечує ефективне розв'язання задачі оптимізації потоків реактивної енергії та рівнів напруги в розподільних мережах ЕЕС, зокрема, з розосередженим генеруванням. Збільшення переліку підстанцій ЕМ встановлення ДРП не призводить до підвищення складності й погіршення збіжності процесу розрахунку. Це забезпечується завдяки пошуку розв'язку від «ідеального» режиму функціонування, згідно принципу найменшої дії, до оптимального, з урахуванням активних обмежень на параметри.

Висновки

За результатами досліджень отримано вирішення задачі підвищення ефективності керування потоками реактивної потужності у ЕМ, що полягає у розробленні на основі принципу найменшої дії та алгоритмів оптимізації розміщення додаткових джерел реактивної потужності.

За результатами аналізу встановлено, що зі зміною структури електроспоживання та розвитком РДЕ зростає важливість вдосконалення методів та засобів оптимізації режимів електричних мереж енергопостачальних компаній за реактивною потужністю та напругою. Крім того, через зростання складності задачі класичні методи оптимізації виявляються неефективними за надійністю та швидкодією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Zecchino, M. Marinelli, C. Træholt and M. Korpås, "Guidelines for distribution system operators on reactive power provision by electric vehicles in low-voltage grids", *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 1787-1791, 10, 2017. doi: 10.1049/oap-cired.2017.0377
2. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці [П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя]: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 212 с. – ISBN 978-966-641-576-2.
3. Демов О.Д. Поетапний розрахунок компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах із використанням відносних спадів напруги / П.Д. Лежнюк, О.Д. Демов, Ю.Ю. Півнюк // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, Вип. 30. Т. 2 – 2015. – с.108-115.

Волкотруб Євгеній Андрійович — студент бакалаврської підготовки, кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кулик Володимир Володимирович — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Volkotrub Yevhenii A. — Student of Bachelor's Degree, Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kulyk Volodymyr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У зв'язку з тим, що розбудовуються нетрадиційні і відновлювані джерела енергії, зокрема фотоелектричні станції, в електричних мережах, останні приймають ознаки локальних електричних систем (ЛЕС). Це значить, що стосовно до них виникають задачі, які є характерними для електроенергетичних систем (ЕЕС) з крупними тепловими, атомними і гідроелектростанціями. До них відносяться забезпечення надійності електропостачання споживачів, підтримка рівнів напруги в допустимих межах, оптимізація потоків потужності з метою зменшення втрат, а також підтримування балансової надійності в ЛЕС з комбінованим електроживленням від місцевих і централізованих джерел енергії.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, зонний тариф на електроенергію, електричні мережі.

PHOTOVOLTAIC OPTIMAL INTEGRATION IN ELECTRICAL NETWORKS OF ENERGY SYSTEMS

Abstract

Due to the fact that non-traditional and renewable energy sources are being developed, in particular photovoltaic stations, in electrical networks, the latter take signs of local electrical systems (LES). This means that, in relation to them, there are problems that are typical of electric power systems (UES) with large thermal, nuclear and hydroelectric power plants. These include ensuring the reliability of consumers' power supply, maintaining voltage levels within acceptable limits, optimizing power flows to reduce losses, and maintaining balance reliability in forest with combined power supply from local and centralized energy sources.

Keywords: renewable energy sources, zone tariff for electricity, electric networks.

Вступ

Поява відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) поряд зі споживачем потенційно повинна призводити до розвантаження електричних мереж, підвищення якості і надійності електропостачання. Однак, нестабільність генерування ВДЕ, зумовлена залежністю від природних умов, часом завищена потужність приєднаного джерела призводять до зниження ефективності функціонування електричної мережі і погіршення якості послуг з електропостачання кінцевого споживача. Особливо це стосується фотоелектричних станцій (ФЕС), одинична та сумарна встановлена потужність яких в електричних мережах зростає з кожним роком.

Наявність в розподільних електричних мережах джерел енергії дозволяє характеризувати їх як локальну електричну систему (ЛЕС), від надійної і економічної роботи якої залежить не лише рівень послуг з електропостачання, а й стабільна робота енергосистеми. Важливим є узгодження графіків навантаження і генерування в ЛЕС таким чином, щоб шляхом балансування потужності в ЛЕС мінімізувати їх вплив на основні центри живлення від електроенергетичної системи (ЕЕС). Особливо тоді, коли в точках примикання ЛЕС до ЕЕС необхідно витримувати заданий графік споживання (генерування) електроенергії. В цьому випадку необхідно мінімізувати відхилення від централізовано заданого графіка сукупного генерування ВДЕ за заданих обмежень на первинні енергоресурси та з врахуванням їх характеристик. При цьому повинна бути забезпечена стійкість ЛЕС як в режимі мінімального навантаження, так і в режимі максимального навантаження[1].

Метою роботи є підвищення балансової надійності локальних електричних систем та покращення їх якості функціонування шляхом узгодження графіків генерування фотоелектричних станцій та навантаження.

Результати дослідження

Збільшення генерування фотоелектричних електростанцій, в розподільних мережах шляхом зменшення навантаження на централізовану систему електропостачання дозволяє отримувати низку позитивних ефектів. Вони проявляються у зменшенні втрат потужності й електроенергії в ЛЕП, якими здійснюється транспортування потужності, підвищенні якості електроенергії, розвантаженні електричних мереж.

Проте, це стосується лише випадків, коли графік генерування ФЕС є узгодженим з графіком локального електроспоживання. Тому, постає задача штучного узгодження графіків генерування ВДЕ, зокрема ФЕС та електричного навантаження.

Для розроблення методу узгодження графіків генерування ФЕС та навантаження ЛЕС потрібно оцінити вплив генерування фотоелектричних станцій на нерівномірність добового графіка електричних навантажень.

Основна ідея такого підходу – не вироблення електроенергії, а створення нових або мотивування вже існуючих споживачів електроенергії здійснювати маневрування власним споживанням. В Україні зараз основним мотивуючим заходом є зонний тариф на електроенергію (табл. 1), згідно якого вартість електроенергії диференціюється за періодами часу доби. Отже, споживач може зменшити плату за електроенергію, не зменшуючи обсягів споживання. При цьому зменшується нерівномірність ГЕН.

Таблиця 1 – Зонний тариф на електроенергію диференційований за періодами часу

Період часу	Нічний	Денний	Піковий
Двобічний тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,5	1	-
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 23:00	-
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,4	1	1,5
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 08:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00

Для аналізу та оцінювання впливу відновлювальних джерел енергії на сумарний графік навантаження електричної мережі, як буде показано далі, можливо і доцільно використовувати морфометричні показники нерівномірності ГЕН. Перевага таких показників для аналізу нерівномірності графіків навантаження полягає в їх інтегральності. З урахуванням інтегральних характеристик морфометричних показників [2] можна якісно обґрунтувати вирівнювання ГЕН та узгодження з графіком генерування ВДЕ.

Враховуючи те, що графік електричних навантажень нерівномірний і, оскільки пік генерування ФЕС припадає на денний провал у графіку навантаження тим самим, збільшуючи таку нерівномірність, то виникає необхідність мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік електричних навантажень в години максимуму генерування ФЕС. За кордоном впроваджується концепція віртуальних електростанцій та споживачів регуляторів, що значно спрощує таку задачу.

Для оцінювання вартості зміщення потужності споживання потрібно розробити показник, який би враховував зміну тарифного коефіцієнта вартості електроенергії згідно зонного тарифу, вартість компенсаційних витрат споживачеві за зміщення графіка електроспоживання, вартість зменшення втрат потужності внаслідок вирівнювання сумарного добового ГЕН:

$$B_{ij} = P_{zm} \cdot C_m (K_{Tj} - K_{Ti}) + \beta - \Delta P \cdot C_m \quad (1)$$

де K_{Tj} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, з якої планується перенести потужність, у в.о., K_{Ti} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, в яку планується переносити потужність, у в.о., P_{zm} – потужність, яку споживач має змістити для вирівнювання графіка навантаження ЛЕС, кВт, C_m – тариф на електроенергію по енергопостачальній компанії, грн. /кВт год, β – вартість технологічного зсуву виробництва, що має бути компенсована енергосистемою, грн, ΔP – зменшення втрат потужності внаслідок коригування графіка навантаження споживача, кВт.

Показник вартості переносу навантаження B_{ij} з однієї ступені ГЕН на іншу доцільно використати в задачі узгодження графіків генерування ВДЕ на навантаження. Поява джерел розосередженого генерування в розподільних електричних мережах дозволяє розглядати їх не як магістрально-радіальні, а як мережі із двостороннім живленням або локальні електричні системи. Оскільки конфігурацію електричної мережі можна вважати відносно постійною, то використовуючи коефіцієнти матриці струморозподілу за заступною r -схемою [3] можна визначити споживачів, графік навантаження яких буде найбільше впливати на сумарну нерівномірність добового графіка електричних навантажень ЛЕС спричиненою генеруванням ФЕС:

$$C_r = R^{-1} M^T (M R^{-1} M^T)^{-1}, \quad (2)$$

де R – діагональна матриця активних опорів віток, M – перша матриця з'єднань.

Застосування такого підходу, в задачі вирівнювання добового ГЕН, дозволить не тільки зменшити нерівномірність останнього, а й зменшити втрати електроенергії в ЛЕС. Для зменшення нерівномірності сумарного добового ГЕН РЕМ та мінімізації втрат активної потужності пропонується коригувати графік кожним вузлом по черзі відповідно до коефіцієнта струморозподілу. Для розв'язання цієї задачі скористаємося методом транспортної задачі (табл. 2), в якій умовно можна виділити m годин, в які власне споживання вузла більше за генерування СЕС, $A_1, \dots, A_m$, та n годин, в які генерування СЕС переважає споживання вузла, $Z_1, \dots, Z_n$. Для цього використовуються потужності вузлів, уточненні шляхом множення на коефіцієнт струморозподілу. Відносну вартість B_{ij} переносу потужності з одного часового проміжку графіка на інший визначатимемо за (1).

Таблиця 2 – Розподіл вартостей зміщення споживання згідно транспортної задачі

B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	B_{16}	B_{17}	...	...	B_{1i}	Z_1
B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	B_{25}	B_{26}	B_{27}	...	...	B_{2i}	Z_2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
B_{j1}	B_{j2}	B_{j3}	B_{j4}	B_{j5}	B_{j6}	B_{j7}	...	...	B_{ji}	Z_n
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	...	...	A_m	

Очевидно, що значення відносних вартостей B_{ij} для кожного вузла будуть відрізнятись.

Відповідно до поставленої задачі визначимо цільову функцію:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} \cdot P_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

де P_{ij} – потужність, яку потрібно змістити з j -тої ступені графіка навантаження на i -ту.

Перша група обмежень вказує, що потужність на будь-якій ступені ГЕН повинна дорівнювати сумарній потужності споживання електроенергії цієї ступені ГЕН:

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = A_i.$$

Друга група обмежень вказує, що сумарний зсув споживання на деяку ступень ГЕН повинен повністю компенсувати генерування на цій ступені:

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = Z_j.$$

Також вводиться обмеження на неможливість зміщення від'ємних значень потужності споживання:

$$P_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n.$$

Залежність режиму роботи відновлювальних джерел енергії від природних умов в більшості випадків призводить до погіршення режиму роботи розподільних електричних мереж. Тому необхідно виконувати штучне узгодження графіків навантаження і ВДЕ. Особливо це стосується фотоелектричних станцій. Запропоновано метод вирівнювання добового ГЕН локальних електричних систем, на основі використання оптимальних коефіцієнтів струморозподілу і транспортної задачі дозволяє розв'язати задачу вирівнювання сумарного графіка електроспоживання ЛЕС і зниження втрат електроенергії в електричних мережах.

Висновки

Шляхом аналізу взаємовпливу графіків роботи електроспоживачів і фотоелектричних станцій встановлено, що найбільший техніко-економічний ефект від використання ФЕС в електричних мережах отримується лише за умови узгодження графіка їх генерування з сумарним графіком

електроспоживання локальної електричної системи. Запропоновано новий метод узгодження графіків електричних навантажень локальної електричної системи і генерування фотоелектричних станцій в ній. Метод ґрунтується на визначенні споживачів, узгодження графіків яких дозволить максимально використати енергію генеровану ФЕС з мінімальним завантаженням елементів ЛЕС. В результаті це дозволяє зменшити втрати електроенергії в мережі, покращати якість напруги і, як наслідок, підвищити енергоефективність системи електропостачання;

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. В. Праховник "Управление электропотреблением" , Изв. АН СССР: Энергетика и транспорт. –1990. – № 1. – С. 5-16.
2. Komenda T. I. Roundness, compactness and lengthening schedules electrical load / T.I. Komenda, N.V. Komenda, L.V. Davydenko // Herald of Vinnitsa Polytechnic Institute. -2016.- №2. - P. 98-105.
3. В.Г. Холмский, "Расчет и оптимизация режимов электрических сетей М.: Высшая школа, 1975.– 280 с.

Урода А.Б. — студентка, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bd_2015@ukr.net

Науковий керівник: **Лесько В.О.** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lesko.vlad@ukr.net.

Uroda Anastasiia B. – student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: bd_2015@ukr.net

Supervisor: Lesko Vladyslav O. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent , Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: lesko.vlad@ukr.net.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГРУПОВОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядаються питання оптимізації перетікань реактивної енергії розподільними електричними мережами за комплексним критерієм, що враховує витрати на експлуатацію джерел реактивної потужності, втрати та якість електроенергії.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, втрати електроенергії, перетікання реактивної енергії, оптимізація, автоматичне керування, джерела реактивної потужності.

AUTOMATED SYSTEM OF CONTROLLING GROUP EFFICIENCY POWER IN DISTRIBUTION NETWORKS

Abstract

The paper considers the issues of optimization of reactive energy flows by distribution electric networks on the basis of a complex criterion, which takes into account the expenses for the operation of sources of reactive power, losses and the quality of electric power.

Keywords: power distribution networks, power losses, reactive power flows, optimization, automatic control, reactive power sources.

Вступ

В сучасних розподільних електричних мережах (РЕМ), для забезпечення безперервного живлення споживачів, планування та реалізація заходів з підвищення ефективності функціонування мереж є складним завданням. Вирішення даної проблеми у сучасних умовах не можливе без застосування засобів автоматизації керування.

З аналізу заходів зі зменшення втрат електроенергії та підвищення її якості у розподільних електричних мережах (РЕМ) відомо, що одним з найбільш ефективних є встановлення додаткових джерел реактивної потужності (ДРП) та керування ними. Останні, зменшуючи струмові навантаження ЛЕП та силових трансформаторів, забезпечують зниження втрат електроенергії та підвищення якості напруги.

Виходячи з наведеного, розроблення заходів з компенсації реактивної потужності у сучасних умовах потребує вдосконалення існуючих та розроблення нових методів оптимізації й розрахункових алгоритмів, які б враховували не лише особливості передачі електроенергії розподільними мережами, а й експлуатаційні особливості сучасних ДРП. Підвищення рівня автоматизації розподільних мереж, розроблення відповідних автоматизованих систем, а отже, засобів ідентифікації законів керування локальними системами автоматичного керування ДРП є актуальними завданнями в Україні й світі.

Метою роботи є зменшення втрат електроенергії у розподільних електромережах шляхом вдосконалення методів та засобів автоматизації керування комплексом джерел реактивної потужності.

Результати дослідження

Для забезпечення рентабельності впровадження додаткових ДРП у розподільних електричних мережах особливо актуальними виявляються питання оптимізації їх розміщення, визначення конструк-

тивних параметрів, а також оперативного (автоматичного) керування режимами їх роботи для отримання максимального прибутку від зменшення втрат електроенергії та підвищення якості напруги [1]. Для ДРП, що працюють у межах балансової належності споживачів (абонентів), вимоги чинних нормативних документів обмежують можливості регулювання перетікань реактивної потужності в РЕМ на рівні компенсації власного споживання. Це робить нерентабельною участь таких ДРП у зменшенні втрат в електромережах шляхом групової компенсації реактивного споживання, а також у добовому регулюванні напруги. Таким чином, для обласних енергопостачальних компаній необхідно вирішувати завдання щодо впровадження власних ДРП.

Для оптимізації функціонування ДРП у нормальних режимах електричних мереж особливо актуальними виявляються питання організації планування і оперативного керування режимами їх роботи з метою отримання максимального прибутку від їх експлуатації.

У випадку керування засобами компенсації реактивної потужності в умовах, пов'язаних з обмеженнями з боку живильних мереж (обтяжені режими магістральних мереж, умови суборенди абонентських мереж), доцільно розв'язувати задачу оптимізації режимів ДРП для зменшення обміну реактивною потужністю між локальною електричною мережею з сукупним споживанням $Q_{\text{нав}}(t)$ та джерелом живлення.

Виходячи з наведених задач оптимізації режимів ДРП, формування єдиних умов оптимальності для їх розв'язання виявляється неможливим. Отже, керування такими джерелами у електричних мережах має виконуватися за окремими законами, що визначаються ситуацією в РЕМ.

Враховуючи особливості організації інформаційного забезпечення у сучасних РЕМ, оцінювання поточного стану мереж та формування законів керування для окремих ДРП можливо здійснювати лише централізовано. Тобто автоматизація керування засобами КРП потребує застосування локальних систем автоматичного керування для безпосереднього керування ДРП, а також централізованого керування для формування й адаптації налагоджувальних параметрів САК.

Реалізація двоконтурної адаптивної системи, умови оптимальності та сформовані на їх підставі закони керування ДРП повинні базуватися на загальній методології. Ефективним шляхом вирішення проблеми формування законів оптимального керування є застосування принципу найменшої дії [2].

Адаптивні системи автоматичного керування дозволяють здійснювати керування технологічними процесами в умовах неповної або недосконалої поточної інформації щодо характеристик об'єкту керування та зовнішніх впливів. Це характерно для комплексу просторово розподілених ДРП, що виконують функції групової оптимізації перетікань реактивної потужності в РЕМ, особливо, якщо керування має здійснюватися у реальному часі. Відомим напрямком детермінованих, функціонально-адаптивних, саморегульованих систем керування є керування з еталонною моделлю.

Кожен з основних контурів керування утворюється об'єктом (ДРП) та локальною системою автоматичного керування. Функціонування локальних САК підпорядковується централізованій системі. Для узгодження централізованого та локального керування призначений блок визначення уставок САК. Зворотний зв'язок централізованого керування здійснюється завдяки оперативно-інформаційному комплексу, який формує вектор спостереження РЕМ y . Для імітації економічних режимів РЕМ, тобто режимів з мінімальними витратами використовується еталонна модель, що є частиною системи керування. Згідно умов оптимальності тут формуються керуючі впливи для кожного ДРП $u_{\text{ек}}(t)$, які б забезпечили перехід від поточного режиму до економічного з урахуванням динамічності функціонування РЕМ. Параметри кожного регулятора ДРП налагоджуються зовнішнім контуром керування так, щоб мінімізувати неузгодженість $u_{\Delta}(t)$ між виходом еталонної моделі $u_{\text{ек}}(t)$ та блоку імітації режимів РЕМ $u_{\text{ім}}(t)$. Останній використовується як джерело псевдовимірів для параметрів керування u , окремих локальних САК, які у сукупності утворюють вектор керування u . Імітаційна модель, враховуючи відносну простоту відтворення процесів передачі електроенергії в РЕМ, забезпечує високу вірогідність, що контролюється завдяки відповідним зворотним зв'язкам y .

Рішення щодо введення до контуру централізованого керування блоку імітації режимів РЕМ $u_{\text{ім}}(t)$ замість оперативного телевимірювання параметрів ДРП u є економічно обґрунтованим не лише для розподільних мереж України, але й для мереж європейських країн. Останнє було показано на підставі техніко-економічного аналізу в [3].

На різних етапах впровадження системи групового керування ДРП імітаційна модель РЕМ виконує різні функції. На початковому етапі (автоматизоване керування), коли необхідно узгоджувати оперативне керування з автоматичним, це функціональна модель, за допомогою якої оперативний персонал не тільки визначає та коригує налагоджувальні параметри САК, а й відтворює прогнозні

стану РЕМ та оцінює наслідки зміни потужностей ДРП. Після підтвердження адекватності імітаційної моделі у нормальних та особливих режимах та остаточного впровадження системи керування імітаційна модель стає основним елементом її самоналагодження та самоаналізу САК.

Стійкість та ефективність процесу оперативного керування ДРП залежить від співвідношення частоти отримання відгуків від РЕМ та швидкості й інтервалу відхилення параметрів спостереження у. Для забезпечення стійкості необхідно оптимізувати уставки по часу Δt для окремих САК, а для ефективного використання ресурсу комутаційної апаратури ДРП – граничні коефіцієнти потужності $\cos\varphi_{min}$, $\cos\varphi_{max}$. Означені процеси реалізуються блоком визначення уставок. Основною складністю тут є потреба значного обсягу обчислень, пов'язаних з оптимізацією графіків генерування реактивної потужності ДРП. Таким чином, визначення вектора налагоджувальних параметрів потребує значних витрат часу, що можуть бути суттєво зменшені у випадку попереднього оцінювання кореляції та ідентифікації періодів оновлення налагоджувальних параметрів за типовими графіками.

Отже, для реалізації задач оперативного й автоматичного керування ДРП можливе використання адаптивної системи керування з еталонною моделлю. Ефективність адаптивного підходу підвищується завдяки розділенню функцій керування перетіканнями реактивної потужності на централізоване формування налагоджувальних параметрів САК за результатами імітаційного моделювання режимів РЕМ і локальну реалізацію цих налаштувань системами керування окремих ДРП за місцевими параметрами.

Висновки

Показано, що сучасні умови та особливості експлуатації ДРП в електричних мережах України вимагають підвищення рівня автоматизації процесів, пов'язаних з перетіканням реактивної потужності. Для забезпечення ефективності функціонування розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням запропоновано критерії та сформовано умови оптимальності з урахуванням витрат на експлуатацію ДРП та якості електроенергії

Показано, що двоконтурна структура АСК забезпечує високу надійність та ефективність системи. Враховуючи динамічність та просторову розподільність об'єкта керування система керування потребує застосування натурно-імітаційного моделювання режимів розподільних мереж для пошуку оптимальних рішень. Ефективність запропонованих у роботі підходів до оптимізації перетікань реактивної потужності підтверджено шляхом проведення розрахунків з оптимізації параметрів ДРП Вінницьких міських електричних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулик В.В. Оптимальне керування потоками реактивної потужності в розподільних електромережах з розосередженим генеруванням / В.В. Кулик, І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – 2013. – С. 151–158.
2. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці [П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя]: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 212 с. – ISBN 978-966-641-576-2.
3. Andreas T. Procopiou, And Luis F. Ochoa. “Voltage Control In PV-Rich LV Networks Without Remote Monitoring”, IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 32, No. 2, pp. 1224-1236, 2017.

Салецький Анатолій Вікторович — студент бакалаврської підготовки, кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кулик Володимир Володимирович — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Saletsyky Anatolii V. — Student of Bachelor's Degree, Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kulyk Volodymyr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕС КОНДЕНСАЦІЙНОГО ТИПУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано можливі варіанти електропостачання власних потреб ТЕС конденсаційного типу. Наведено основні споживачі електроенергії КЕС, схемні рішення та варіанти вибору трансформаторів власних потреб.

Ключові слова: резервний трансформатор, споживач, власні потреби, блок, потужність.

Abstract

The analysed of possible variants of electricity supply of own needs TES of condensation type. The main consumers of electricity CES, circuit decisions and variants of choice of transformers of their own needs are presented.

Keywords: backup transformer, consumer, own needs, block, power.

Вступ

Власні потреби - величина споживаної потужності обладнанням і механізмами при технологічному процесі виробництва електричної енергії енергоблоком. Склад власних потреб - механізми, приводні двигуни, РУ власних потреб, елементи, що живлять РУ власних потреб, обладнання для опалення, освітлення [1].

Для приводу більшості робочих механізмів використовують трифазні АД електродвигуни із КЗ ротором. Для дуже потужних механізмів можуть використовуватися СД. Для механізмів, що вимагають регулювання частоти обертання, застосовують електродвигуни постійного струму. Нормальна робота електростанції можлива тільки при надійній роботі всіх механізмів власних потреб, що можливо лише при надійному їх електропостачанні. Споживачі власних потреб ставляться до споживачів І категорії.

Результати дослідження

Споживачі ВП КЕС поділяються на блочні та загальностанційні. Блочне навантаження живиться від ТВП блоків, а загальностанційне при змозі рівномірно розподіляється між блоками. ВП 6 кВ блоків отримують живлення від блочних ТВП, які під'єднуються на відгалуженні між генератором і блочним трансформатором.

Кожен блок потужністю 160 МВт і більше має дві секції власних потреб 6 кВ. Блоки до 120 МВт мають по одній секції на котел. Резервування живлення секцій здійснюється за допомогою АВР від спарених резервних магістралей 6 кВ, що йдуть від резервних ТВП (РТВП). Резервні магістралі секціонуються вимикачами через 2 – 3 блоки і мають вимикачі на вводі від РТВП. Кількість РТВП при відсутності генераторних вимикачів береться рівною:

1 – при кількості блоків до двох;

2 – при кількості блоків від трьох до шести;

3 – при кількості блоків сім або більше (третій на генераторній напрузі і не під'єднується до джерела, але готовий до транспортування і увімкнення в роботу).

При наявності генераторних вимикачів:

1 – при кількості блоків до двох;

2 – при кількості блоків три і більше (причому один у вигляді складського резерву).

При наявності генераторних вимикачів потужність кожного резервного трансформатора приймається рівною потужності робочого.

Трансформатори ВП повинні мати пристрої РПН, не повинні перевантажуватись і при потужності блоків більше 160 МВт повинні мати розщеплену обмотку нижчої напруги.

Приклад схеми електропостачання ВП КЕС наведено на рис.1. Трансформатори ТВП1, ТВП2, ТВП3 живлять секції 6 кВ відповідно першого енергоблока – 1ВА, 1ВВ, другого – 2ВА, 2ВВ і третього – 3ВА, 3ВВ. До цих секцій приєднуються електродвигуни 6 кВ турбінного і котельних відділень, загальностанційне наванта-

ження (ЗВП) і трансформатори 6/0,4 кВ.

Резервне живлення ВП здійснюється від резервних магістралей, зв'язаних з пускорезервними трансформаторами ВП (ПРТВП) (TR1 і TR2). Резервні трансформатори ВП під'єднують до РУ середньої напруги КЕС, до обмотки нижчої напруги автотрансформаторів зв'язку або до інших незалежних джерел живлення. Вони можуть також приєднуватись до відгалуження від блоків, які мають генераторні вимикачі.

Споживачі 0,4 кВ першого енергоблока і частина загальностанційного навантаження отримують живлення від секцій 1CA, 1CB, 1CC, 1CD. Найвідповідальніші споживачі приєднані на півсекції 1CA і 1CB, які відділяються автоматами від іншої частини цих самих секцій. Резервний трансформатор 6/0,4 кВ приєднаний до секції 3BA третього енергоблока.

Споживачі 0,4 кВ другого енергоблока приєднані до секцій 2CA, 2CB, 2CC, 2CD, а третього - до секцій 3CA, 3CB, 3CC, 3CD (на рис. 3.1 ці секції не показані). Резервний трансформатор для останніх секцій приєднаний до секції 6 кВ 2BV другого енергоблока [2].

В схемі на рис.1 використовуються так звані ПРТВП. Потужність робочого ТВП вибирається за потужністю блочного навантаження з урахуванням частки загальностанційного навантаження, під'єданого до секцій блока. У цих схемах ТВП не забезпечує пуск та зупинку блока, для цієї мети і використовують ПРТВП, кожен з яких повинен забезпечити заміну ТВП одного блока і одночасний пуск або зупинку іншого блока.

На всіх КЕС ТВП, РТВП і ПРТВП повинні забезпечувати самозапуск механізмів без заходів для ввімкнення двигунів ступенями при розрахунковому часі перерви живлення 2,5 с. Практично потужність ПРТВП вибирається на ступінь вищою за шкалою номінальних потужностей, ніж потужність ТВП.

Якщо на КЕС встановлені блоки різної потужності, то потужність резервного ТВП дорівнює потужності робочого ТВП найбільш потужного блока. У будь-якому випадку, з метою обмеження рівнів струмів КЗ, потужність ПРТВП не перевищує 63 МВ×А.

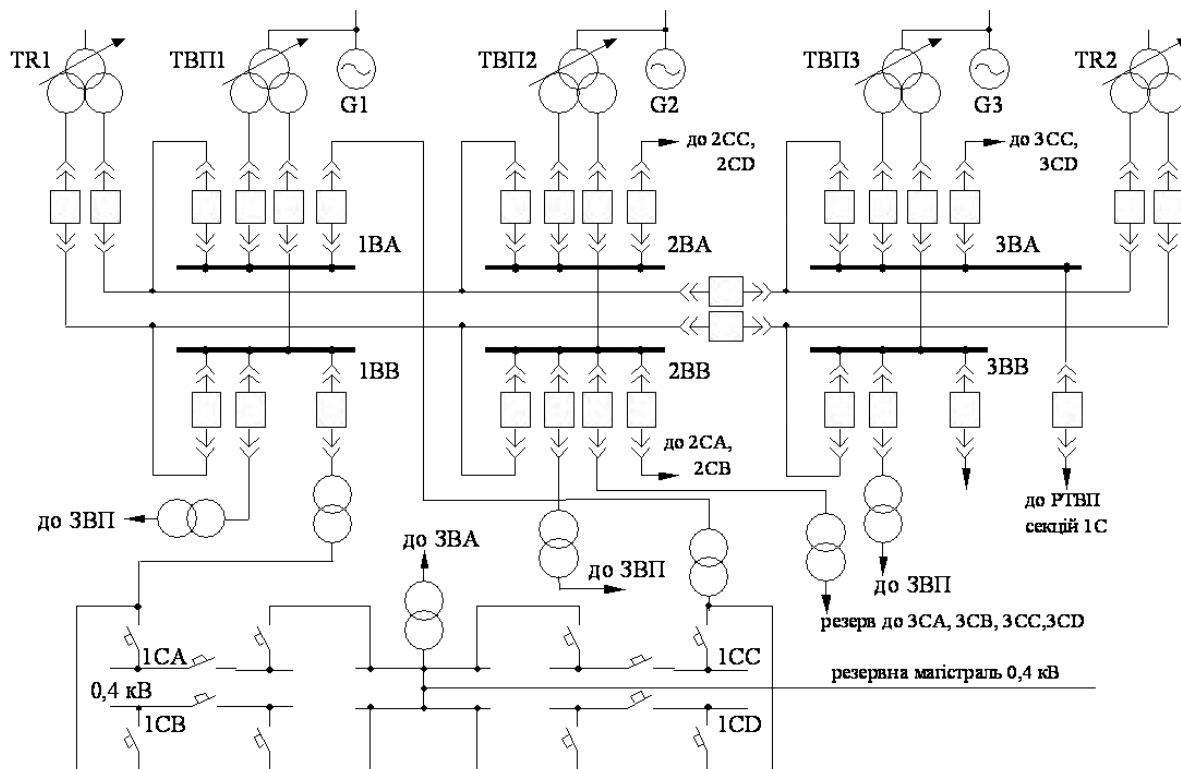


Рис. 1. Схема електропостачання ВП КЕС

Розрахункова потужність робочого трансформатора ВП може бути визначена за формулою [1.1]:

$$S_{ТВП} = 0,9 \times (SP_{ДВ} + SS_{Т0,4}), \quad (1.1)$$

де 0,9 – розрахунковий перевідний коефіцієнт;

$SP_{ДВ}$ – сума розрахункових потужностей на валу всіх встановлених механізмів з електродвигунами 6кВ, включаючи резервні і ті, що не працюють у нормальному режимі, кВт;

$SS_{Т0,4}$ – сума потужностей всіх приєднаних трансформаторів 6/0,4 кВ, включаючи резервні і нормально не

працюючі, кВт×А;

$$SS_{T0,4} = 0,7P_1 + 0,35P_2 + 0,15P_3 + 0,85P_4, \quad (1.2)$$

де P_1 – сумарна потужність постійно працюючих електродвигунів з одиничною потужністю від 70 до 200 кВт;

P_2 – сумарна потужність періодично працюючих електродвигунів з одиничною потужністю не більше 100 кВт;

P_3 – сумарна потужність малопотужних електродвигунів засувки, дистанційного керування і т.п.;

P_4 – сумарна потужність освітлення та електрообігріву.

Якщо склад навантаження наперед невідомий, то допускається користуватись таким виразом [1.3]:

$$S_{ТВП} = \frac{P'_{ВП}}{100} \cdot K_{п} \cdot P_{ном.Г}, \quad [МВ \times А], \quad (1.3)$$

де $P'_{ВП}$ – максимальне навантаження власних потреб, %;

$K_{п}$ – коефіцієнт попиту

$P_{ном.Г}$ – номінальна потужність генератора, МВт.

Таблиця 1 – Встановлена потужність трансформаторів ВП на КЕС блочного типу

Потужність енергоблока МВт	Тип станції	Потужність робочого ТВП енергоблока, МВ×А		Потужність ПРТВП, МВ×А
		перший, другий	наступні	
200	Пилоугільна	25	25	32
300	Пилоугільна	32	25	32
300	Газомазутна	25	25	32
500	Пилоугільна	40	40	63
500	Газомазутна	32	32	40
800	Пилоугільна	32	32	63
800	Газомазутна	40	40	63

При відсутності генераторних вимикачів, або при їх наявності лише на частині блоків, потужність ПРТВП визначається за формулою:

$$S_{ПРТВП} = 1,3 \times S_{ТВП \text{ розр.}} \quad (1.4)$$

При наявності генераторних вимикачів на всіх блоках КЕС:

$$S_{ПРТВП} = S_{ТВП}. \quad (1.5)$$

Витрати на ВП 0,4 кВ на КЕС приблизно можна взяти рівними 10 % загальних витрат на власні потреби станції.

Де АД – асинхронний двигун;

СД – синхронний двигун;

КЕС – конденсаційна електрична станція;

КЗ – коротко замкнений;

РУ – розподільча установка;

ВП – власні потреби;

ТВП – трансформатор власних потреб;

РПН – регулювання під навантаженням;

АВР – автоматичний ввід резерву;

ЗВП – загальнодистанційне навантаження власних потреб;

ПРТВП – пуско-резервні трансформатори власних потреб;

РТВП- резервні трансформатори власних потреб.

Висновки

КЕС призначена для видачі потужності в енергосистему і забезпечення електроенергією споживачів місце-

вого району. Крім того, ця станція має запас резервної потужності. Система власних потреб забезпечує надійне, безперебійне живлення усіх споживачів ВП, а також запуск генераторів. Живлення системи ВП станції здійснюється через трансформатори власних потреб (ТВП) [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. «Электроустройство станций и подстанций». М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Неклепаев Б.Н., Гачков И.П. «Электрическая часть электростанций и подстанций». М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
3. П.Д. Лежнюк, В.М. Лагутін, В.В. Тептя «Проектування електричної частини електричних станцій» – ВНТУ, 2009 - 193 с.

Пугач Сергій Володимирович — студент , факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1e15b.pugach@gmail.com.

Науковий керівник: **Бурякін Олександр Борисович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця , e-mail: mr.burykin@mail.ru

Pugach Serhiy V. — student, Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1e15b.pugach@gmail.com.

Supervisor: Burykin Oleksander B. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : mr.burykin@mail.ru.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі досліджено особливості функціонування енергетичного ринку України в умовах переходу від сучасного ринку до ринку електроенергії європейських стандартів.

Ключові слова: електроенергетика, модель ринку електроенергії, балансуєчий ринок, тариф.

Abstract. The features of the of functioning of the energy market of Ukraine in the conditions of transition from the modern market to the electricity market of European standards are researched.

Keywords: electric power industry, electricity market models, balancing market, tariff.

Вступ

В Україні функції ринку електричної енергії на сьогоднішній день виконує Державне підприємство «Енергоринок». Діюча модель енергоринку базується на купівлі всієї електричної енергії, виробленої на електростанціях, і весь її оптовий продаж здійснюється на ОРЕ (оптовому ринку електроенергії) України єдиним покупцем. Метою створення «Енергоринку» є оптимізація і вдосконалення механізмів організації ОРЕ та покращення стану розрахунків за електричну енергію, продану-куплену на ОРЕ [1, 2].

Проте більшість європейських країн працюють за іншою схемою: одну частину електричної енергії виробники продають безпосередньо постачальникам на довгостроковій основі, іншу - на ринку «на добу вперед». Для складання балансу між заявленою електроенергією (проданою або купленою) і фактичним її відпущенням або споживанням докуповують або продають надлишки на балансуєчому ринку [3].

Згідно з прийнятим Верховною радою законом «Про ринок електричної енергії», Україна повинна адаптувати свій ринок електроенергії до європейських стандартів за два роки. Цей документ, по суті, є правилами роботи ринку в Євросоюзі, які встановлюють, що виробництвом, транспортуванням і продажем електроенергії повинні займатися різні компанії. Перехід на європейські правила дають змогу створити повноцінний ринок електроенергії, де в умовах конкуренції споживачі зможуть вибрати собі постачальника, а держава не регулюватиме ціни на електрику. Саме тому, детальне дослідження поступового переходу ринку електроенергії України на новий етап та аналіз його функціонування є актуальною задачею сьогодення.

Результати дослідження

В 2019 році, з січня по липень, для ринку електроенергії очікується перехідний період - впровадження європейської моделі, яка повинна стимулювати конкуренцію і поява нових гравців. Адаже до цього часу ОРЕ в Україні працює за моделлю єдиного котла: всі генеруючі компанії продають вироблену електроенергію держпідприємству за ціною, встановленою державою. У енергоринку, в свою чергу, електроенергію закупають обленерго - природні монополісти в кожному регіоні країни. Закупівлі відбуваються за регульованим і нерегульованим тарифом (у другому випадку, це вузьке коло компаній, які закупають електроенергію і продають її за договірною ціною). Далі електроенергію поставляють споживачам. Для населення ціна дотаційна, для промисловості - немає. Різниця між ринковою та пільговою ціною на електроенергію закладається в тарифи для промисловості. При такій моделі гроші від споживача до виробника йдуть по ланцюжку через всі супутні компанії - від обленерго до енергоринку, після - розподіляється між генерацією (виробниками електроенергії) і оператором магістральних мереж - держкомпанією «Укренерго» (рис. 1).



Рис. 1 – Принципова схема функціонування оптового ринку електроенергії України [4]

При виконанні реформи очікується проходження двох етапів: лібералізація ринку поставок та лібералізація сегмента виробництва. На зміну енергоринку влітку прийде так званий оптовий ринок, що включає ринок «двосторонніх договорів» (бізнес-споживачі зможуть напряму купляти у виробника електроенергію), ринок «на добу вперед» (договір буде діяти один операційний день), «внутрішньодобовий ринок» (контракт на поставку електроенергії буде полягати у «сьогодні на сьогодні») і «балансуючий ринок».

Реформа має на меті появу на ринку поставок електроенергії нових гравців. За даними НКРЕКП, на кінець року в реєстрах операторів систем розподілу зареєстровано 683 постачальника (226 компаній). З липня 2019 року до них можуть бути приєднані компанії-трейдери. Для цього їм потрібно буде отримати від регулятора відповідну ліцензію.

За словами глави НКРЕКП, Оксани Кривенко, основним постачальником для населення, малого бізнесу та бюджетних організацій на час перехідного періоду буде, так званий, постачальник універсальних послуг). Він буде поставляти електроенергію за регульованим тарифом. Згідно із законом, постачальник універсальної послуги не має права відмовити споживачу в підписанні договору про постачання електрики [5].

Ще одним постачальником стане «постачальник останньої надії». Це своєрідна «подушка безпеки». Але його тарифи будуть на 30% більше в порівнянні з тарифами інших постачальників. Він призначений для тих споживачів, які в силу обставин опинилися без постачальника електроенергії. Міненерго постачальником «останньої надії» призначило компанію Укрінтеренерго, яка раніше займалася імпортом та експортом електроенергії. Її послугами клієнти зможуть користуватись не більше 90 днів. Саме цей термін відведений їм для пошуків нового постачальника [6].

Середній та великий бізнес повинні самостійно вибирати собі постачальника і укласти з ним і з оператором електромережі відповідні договори, а для населення ця процедура спрощена, все відбудеться автоматично. Проте, існує ризик, що внаслідок реформи тарифи суттєво зростуть, адже наразі в Україні два виробники контролюють понад 90% ринку електроенергії. Лібералізація монополізованого ринку не покращує ситуації для більшості, але покращує для вузького кола виробників-монополістів, тому що тепер вони самі будуть встановлювати свої ціни

Висновок

Проведене дослідження функціонування енергоринку України показало, що при проведенні його реформування необхідно розробити, погодити і прийняти кілька десятків

нормативно-правових актів, відповідно до яких і будуть проводитися робота і регулювання всіх сегментів нового ринку електроенергетики. Серед основних - правила ринку, правила ринку «на добу вперед», мережеві і комерційні кодекси, ліцензійні умови, типові договори, правила моніторингу і т.п. Крім того, до групи законодавчих питань можна віднести і необхідність законодавчого врегулювання існуючих боргів в ринку.

Новий ринок електроенергії зобов'язаний забезпечити відсутність перехресного субсидування між різними категоріями споживачів, включаючи населення. Ця цифра може досягати 30 млрд грн на рік, оскільки, тарифи для побутових споживачів до цих пір покривають близько 60% їх реальної вартості. На практиці це може означати як зменшення цін на паливо і, відповідно, на виробництво, так і, навпаки, збільшення тарифу для побутових споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Модель енергоринку України www.ukrenergexport.com Енергія без проблем - <http://www.ukrenergexport.com/uk/contento2016.15.01>.
2. Закон України від 24 жовтня 2013 року №663-VII «Про засади функціонування ринку електричної енергії України» (Відомості Верховної Ради), 2014, №22, ст.781) – 2016.15.01.
3. Енергоринок України працюватиме за європейською моделлю. - <http://ukurier.gov.ua/uk/articles/energorinok-ukrayini-pracyuvatime-zayevropejskoyu/o2016.20.01>.
4. <https://iknet.com.ua/ru/articles/useful-to-know/active-electricity-market-Ukraine/>
5. https://zn.ua/energy_market/energorynok-2-2-251712_.html
6. <http://www.nerc.gov.ua/>

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Урсул Олександр Сергійович — студент групи 1Е-15б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Ursul S. Oleksander - student of 1E-15b group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОТОГАЛЬВАНІЧНИХ СТАНЦІЙ НА
ПАРАМЕТРИ РЕЖИМУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**Анотація:**

Проаналізовано вплив електричних станцій, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, на параметри режиму розподільних електричних мереж, в яких вони експлуатуються. Зокрема досліджено потокорозподіл та напруги у вузлах навчальної схеми, а також можливість зміни точки потокорозподілу зміною потужності генерування наявних керованих розосереджених джерел енергії.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, відновлювані джерела енергії, потокорозподіл.

Annotation:

The influence of power plants operating on renewable energy sources on the parameters of the mode of distribution networks in which they are operated is analyzed. In particular, the flow distribution and voltage in the nodes of the educational scheme, as well as the possibility of changing the point of flow by changing the power generation of available controlled dispersed energy sources are studied.

Key words: distribution electric networks, renewable energy sources, flow distribution.

Вступ

Використання відновлюваних джерел енергії на сьогодні є важливим напрямком розвитку енергетики України. В останні роки в Україні спостерігається зростання потужностей генерування електричних станцій, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, зокрема до таких станцій можна віднести фотогальванічні ЕС [1].

На сьогодні практично всі провідні країни світу розробляють принципово нову ідеологію побудови та функціонування енергетичної галузі з метою надання безпечного, надійного, економічно доцільного та екологічно прийняттого енергозабезпечення споживачів.

Зокрема наближення джерела живлення до споживача дозволяє значно зменшити втрати електроенергії на транспортування та підвищити надійність електропостачання, проте нестабільність роботи таких станцій викликає ряд проблем, які необхідно вирішувати. Відомо, що малі гідроелектростанції та фотогальванічні електростанції встановлюються в розподільних електричних мережах, які експлуатуються в радіальному режимі, отже актуальною задачею є вибір оптимального місця секціонування мережі, з урахуванням надійності роботи мережі та покращення показників якості електроенергії та врахування нестабільності роботи таких станцій.

Отже метою роботи є розрахунок параметрів режиму навчальної схеми з двостороннім живленням, визначення місця секціонування мережі та аналіз втрат електроенергії.

Результати досліджень

Для розрахунку мережі з двостороннім живленням можна використовувати різні методи. Зокрема метод вузових напруг або правило моментів. Також для визначення раціонального місця ділення розподільної мережі було використано програмне забезпечення «Секціонування розподільних мереж з ВДЕ».

Втрати потужності в лінії розподільної електричної мережі, що містить ГЕС та СЕС:

$$\Delta \dot{S}(\dot{J}_{\text{нав}}, \dot{J}_{\text{ГЕС}}, \dot{J}_{\text{СЕС}}) = \sum_{k=1}^{n-1} \frac{[\dot{S}_{\text{bk}}(\dot{J}_{\text{нав}}, \dot{J}_{\text{ГЕС}}, \dot{J}_{\text{СЕС}})]^2}{\dot{U}_k^2} \cdot z_k, \quad (1)$$

де $\dot{S}_{\text{bk}}(\dot{J}_{\text{нав}}, \dot{J}_{\text{ГЕС}}, \dot{J}_{\text{СЕС}}) = \dot{S}_{\text{bij}}$ – переток потужності по ij вітці (k -ій), які залежать від відповідних вітці значень вузових струмів навантажень, генерування СЕС та ГЕС та є елементами матриці перетікань потужності у вітках схеми ($\dot{S}_{\text{b}}$), U_k – напруга в k -ому вузлі, z_{ij} – опір ij -ої вітки; $i=1..n-1$ – номери початку віток магістральна лінія розподільної електричної мережі (МЛРМ), $j=i+1..n$ – номери кінця віток МЛРМ, k – порядковий номер вітки та елемента в матриці-стовпці перетоків потужності по ij вітці, n – порядковий номер вузла в МЛРМ.

Розмикання магістралі мережі в точці поточкорозділу забезпечує мінімум втрат електроенергії [2]. Проте секціонування мережі в цій точці пов'язано з низкою проблем. По-перше, оптимальне за втратами електроенергії місце секціонування може не співпадати з місцем секціонування, визначеним з умов надійності. По-друге, точка поточкорозділу в мережі може «плавати» залежно від навантаження, тому необхідно прорахувати різні режими роботи електричної мережі, та можливість використання керованих розосереджених джерел енергії, для визначення можливості зміщення точки поточкорозділу в вузол секціонування. Ця задача розв'язувалась з використанням програми «Секціонування розподільних мереж з ВДЕ».

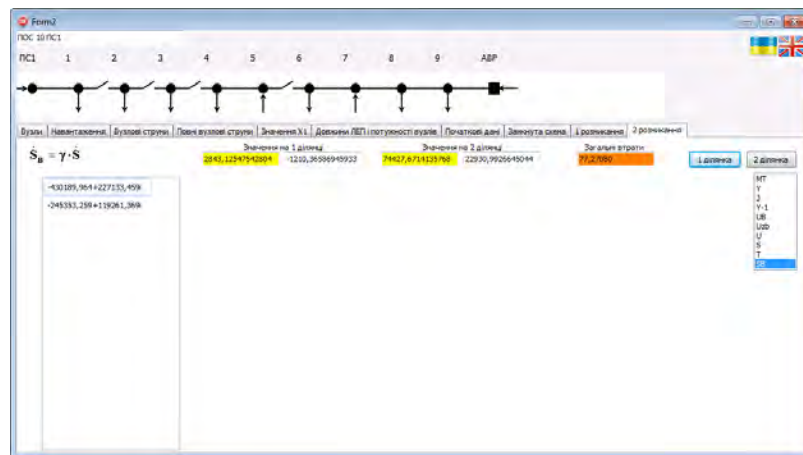


Рис.1. Результати розрахунків програми «Секціонування розподільних мереж з ВДЕ»

Висновки

Інтенсивна розбудова нових та зростання потужності існуючих розосереджених джерел енергії призводить до зміни поточкорозподілу в розподільних електричних мережах. Оптимальне інтегрування таких електричних станцій вимагає вирішення різних задач, зокрема підвищення якості та надійності електропостачання та визначення раціональних місць секціонування електричних мереж, в яких вони експлуатуються.

Список використаної літератури

1. Асоціація «Інноваційний розвиток України» [Електронний ресурс]: 8-й міжнародний форум сталої енергетики в Україні SEF 2016 Kiev – Електрон. текст. дан. – Режим доступу: <http://uaaid.com.ua/initiative/8-j-mizhnarodnyj-forum-staloji-enerhetyky-v-ukrajini-sef-2016-kyiv>.
2. Лежнюк, П. Д. Оптимізація секціонування в локальних електричних системах за критерієм втрат електричної потужності з урахуванням відмов [Текст] / П. Д. Лежнюк, І. О. Гунько, О.Є. Рубаненко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – № 2 (94). – С. 90 –98.

Крот Людмила Русланівна – студентка групи 2Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
e-mail: 2e.krot2015@gmail.com

Гуцько Ірина Олександрівна – к.т.н., старший викладач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail : iryna_hunko@ukr.net.

Krot Lyudmyla Ruslanovna – student group 2E-15b, faculty of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 2e.krot2015@gmail.com

Hunko Irina Oleksandrivna – Ph.D., senior lecturer of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : iryna_hunko@ukr.net;

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Виявлення небезпечних деформацій, розпресовки обмоток та оцінка механічної стійкості виткової ізоляції в комплексі визначають стан основного елемента трансформатора – обмотки. В зв'язку з цим посилюється можливість оцінки справцювання паперової ізоляції обмоток трансформатора. Для цього останнім часом в енергосистемах отримала розповсюдження методика оцінки стану паперової ізоляції по наявності фуранових сполучень у маслі, на основі такого аналізу можна зробити висновок стосовно придатності обладнання для подальшого використання.

Ключові слова: виявлення дефектів, силовий трансформатор, діагностування.

INVESTIGATION DIAGNOSTICS POWER TRANSFORMERS METHODS

Abstract

Detection of dangerous deformations, pressing of windings and estimation of the mechanical stability of the core insulation in the complex determine the state of the main element of the transformer - the winding. In connection with this, the possibility of evaluating the operation of the paper insulation of the windings of the transformer increases. For this purpose in recent years in the power systems the method of evaluation of the state of paper insulation due to the presence of furan combinations in oil has been disseminated, on the basis of such an analysis it can be concluded that the equipment is suitable for future use.

Keywords: detection of defects, power transformer, diagnostics

Вступ

Енергетика в сучасних умовах – це сукупність ряду складних систем по генерації та перетворенню енергетичних ресурсів, виробітку, передачі, та використанню всіх видів енергії.

Сучасний розвиток електроенергетики України направлений на забезпечення безперервного постачання електроенергії для всіх галузей економіки і базується на потужній, розгалуженій електроенергетичній системі, до якої входять великі електростанції, внутрішні і міжсистемні зв'язки у вигляді ліній електропередач та широкі електричні зв'язки зі споживачем.

Велика частина електрообладнання пропрацювало 25 і більше років. Економічно виправданим є експлуатація такого обладнання, якщо воно нормально функціонує за умов застосування комплексного діагностичного дослідження його стану, яке потрібно вдосконалювати та впроваджувати в експлуатацію.

Силові трансформатори (СТ) – один із основних та найдорожчих елементів електрообладнання електроенергетичної системи, причому їх вихід з ладу призводить до значних витрат на його ремонт.

Метою роботи роботи є вдосконалення якості діагностування силових трансформаторів шляхом обґрунтованого визначення меж діапазону частот в якому виявляються дефекти повздовжньої деформації та сповзання витків обмоток.

Результати дослідження

Моніторинг силових трансформаторів – одне з широко обговорюваних питань у колах експертів виробників трансформаторів та енергоспоживальних організацій, які експлуатують ці трансформатори. Різноманітні методи моніторингу [1] внесені до реєстру стандартів IEEE- standart.

Вартість методів моніторингу значно коливається в залежності від підходу побудови даних систем та вартості технічного обслуговування. Хоча й можливе часткове співпадіння функцій, методи, що пропонуються різними виробниками [1], можна поділити на чотири основні групи: датчики визначення газів у трансформаторному маслі; лабораторії, що використовуються на дільницях; системи моніторингу та керування; портативне обладнання.

Моніторинг - це постійний контроль за найбільш відповідальними або характеристичними параметрами працюючого устаткування під напругою в режимі on-line.

Оцінка фактичного стану силового електроустаткування [1] за наслідками діагностичних вимірювань є на сьогоднішній день складним і актуальним завданням. Значна частина устаткування виробила свій ресурс, але продовжує експлуатуватися через нестачу фінансових коштів. Внаслідок чого, з кожним роком, зростають витрати на проведення комплексних обстежень і діагностики.

Надійність і безперебійність роботи силових електротехнічних комплексів і систем багато в чому визначається роботою їх елементів. Основним із них є силові трансформатори. Хоча трансформатори з дефектами в активній частині можуть нормально експлуатуватися ще багато років, в місці утворення дефекту виникають процеси перенагріву, часткових розрядів (ЧР) в ізоляції, що приводить до погіршення результатів діагностичних вимірювань і аналізів. При подальшій експлуатації, у випадку виникнення КЗ, вірогідний аварійний вихід з ладу трансформатора з тяжкими наслідками.

Одним з перспективних напрямів підвищення ефективності функціонування електротехнічного маслonaповненого устаткування є вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів електроустаткування.

Розроблена концепція експлуатації електротехнічного устаткування [2] по технічному стану шляхом глибшого підходу призначенню періодичності і об'ємів технічних обслуговувань і ремонтів за наслідками діагностичних обстежень і моніторингу електротехнічного устаткування в цілому і маслonaповненого трансформаторного устаткування зокрема як невід'ємного елементу будь-якої електротехнічної системи.

При переході до системи ремонтів по технічному стану якісно змінюються вимоги до системи діагностування електроустаткування, при яких головним завданням діагностування стає прогноз технічного перебування на відносно тривалий період. Рішення такої задачі не є тривіальним і можливо тільки при комплексному підході до вдосконалення методів, засобів, алгоритмів і організаційно-технічних форм діагностування.

Визначення фактичного стану устаткування засноване на оцінці контрольованих параметрів [3], для яких визначаються аварійні рівні сигналу. Для оцінки робочих параметрів трансформатора створено модель контролю за температурними режимами трансформатора.

Математичну модель трансформатора W можна представити як:

$$W = \langle P, F \rangle, \quad (1)$$

$$P = \{P_i \mid P_i \in P \subset \mathfrak{R} \wedge P_i = P_i(F)\}, \quad (2)$$

$$F = \{F_i \mid F_i \in F \wedge F_i(P) = true\} \quad (3)$$

Модель, для контролю стану трансформатора може бути реалізована на базі одно направленої функції F , що здійснює перевірочний розрахунок, перетворюючи деяку підмножину вхідних величин $\tilde{P}$, що характеризують конструкцію трансформатора, в підмножину вихідних величин $\hat{P}$, що характеризують параметри роботи трансформатора.

Таким чином, безліч P є об'єднанням двох підмножин:

$$P = \tilde{P} \cup \hat{P}. \quad (4)$$

У свою чергу, підмножина $\tilde{P}$ об'єднує підмножини фіксованих змінних $\bar{P}$ і варійованих змінних $\check{P}$:

$$\tilde{P} = \bar{P} \cup \check{P}. \quad (5)$$

Множина $\hat{P}$ складається з підмножин результуючих значень $P^=$ і необхідних значень P^* :

$$\hat{P} = P^= \cup P^*. \quad (6)$$

Завдання пошуку рішення полягає в тому, щоб визначити значення всіх змінних множини $\tilde{P}$ при фіксованих значеннях множини $\bar{P}$, які б забезпечили збіг значень змінних множини P^* з тими значеннями P_0^* , які відповідають проектним даним при довільних значеннях змінних множини $P^=$. Схема пошуку рішення представлена на рисунку 1.

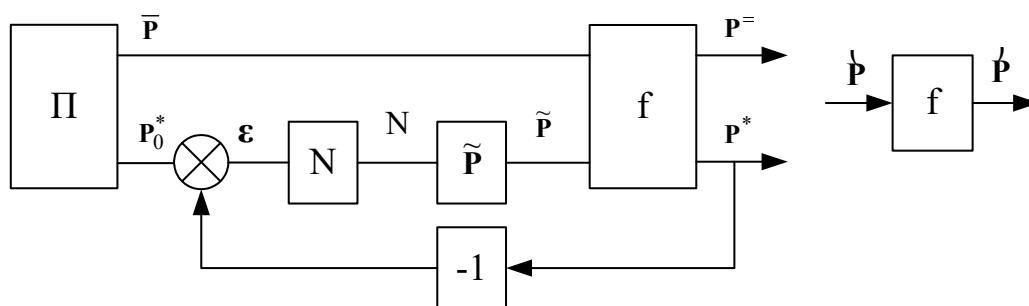


Рисунок 1 – Структурна схема підсистеми контролю стану трансформатора

Параметри стану Π , які визначені значення змінних з множин $\bar{\mathbf{P}}$ і $\mathbf{P}_0^*$. На кожному кроці пошуку розраховуються відхилення $\varepsilon_i = P_{i0}^* - P_i^*$ і середньоквадратична нев'язність:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{N^*} \left(\frac{P_{i0}^* - P_i^*}{P_{i0}^*} \right)^2}{N^*} . \quad (7)$$

Завдання вважається вирішеним, якщо знайдений такий стан множини $\tilde{\mathbf{P}}$, при якому забезпечується рівність $P^* = P_0^*$. Пошук рішення здійснюється шляхом мінімізації не в'язності (7) методом Девідона – Флетчера – Пауелла.

Висновки

Аналіз особливостей та пошкоджуваності силових трансформаторів вітчизняного та закордонного виробництва свідчить про те, що місце експлуатації трансформатора впливає на вид пошкодження, однак серед всіх пошкоджень трансформаторів має місце пошкодження у вигляді зсуву обмоток.

Дослідження методів частотного діагностування силових трансформаторів свідчить про те, що найбільш широко використовуються метод змінюваної частоти, метод резонансних частот, метод частотної аналізу амплітуди, метод імпульсної напруги, метод з використанням синусоїдного та імпульсного тестового сигналу, метод контролю передатної функції та метод контролю вхідного комплексного опору та інші.

Проведені дослідження свідчать, що дефектами обмоток трансформаторів є пошкодження ізоляції, осьові та радіальні деформації, зсуви витків, пожежі в сталі та інші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. K. Ragavan, L. Satish, “An Efficient Method to Compute Transfer Function of a Transformer from Its Equivalent Circuit”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 2, P 780–788, April 2015.
2. K. G. N. B. Abeywickrama, Y. V. Serdyuk, S. M. Gubanski, “Exploring Possibilities for Characterization of Power Transformer Insulation by Frequency Response Analysis (FRA)”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 3, P 1375–1382, July 2016.
3. P. I. Fergestad, T. Henriksen, “Transient oscillations in multiwinding transformers”, IEEE Transactions on Power Systems and Apparatus, Vol. PAS–93, No. 2, pp. 500–509, March 1974.

Добровольський В.А. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vova.dobro2398gmail.com

Науковий керівник: **Писклярова Анна Валеріївна** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: panna@vntu.edu.ua

Dobrovolsky V.A - student, faculty of electroenergy and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vova.dobro2398gmail.com

Scientific supervisor: **Pysklyarova Anna Valeriyevna** - candidate of technical sciences, associate professor, faculty of electroenergy and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: panna@vntu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі розглядались умови експлуатації та застосування сучасних елегазових вимикачів. Досліджені їх конструкційні особливості на різних класах напруги. В якості прикладу використаємо вимикачі серії ВГБ-35, що відносяться до електричних комутаційних апаратів високої напруги, в яких середовищем, що гасить, є елегаз.

Ключові слова: силове обладнання, елегаз, вимикач.

RESEARCH OF OPERATION AND APPLICATION OF MODERN ELEGASE SWITCHGEAR

Abstract

The conditions of operation and application of modern SF6 switches were considered in this work. Investigated their structural features at different voltage classes. As an example, we use the switches of the VGB-35 series, which are related to high-voltage electrical switching devices, in which a gas-fired medium is sulfate gas.

Keywords: power equipment, sulfur hexafluoride, switchgear.

Вступ

На прикладі одного з елегазових вимикачів показано принцип їх дії та особливості конструкції. Вимикач призначений для комутації електричних ланцюгів при нормальних і аварійних режимах, в мережах трифазного змінного струму частоти 50 Гц з номінальною напругою 35 кВ. Вимикач є комплексний апарат, що складається власне з вимикача, вбудованих трансформаторів струмів і приводу [1-3].

Вимикач виготовлений кліматичного виконання УХЛ або Т категорії розміщення 1 по ГОСТ 15150 і призначений для зовнішньої установки в районах з помірним і холодним (тропічним) кліматом при наступних умовах Навколишнє середовище невибухонебезпечне, таке, що не містить пилі в концентраціях, що знижують параметри виробу в недопустимих межах. За умовами забруднення навколишнє середовище повинне відповідати атмосфері по ГОСТ 15150.

Верхнє робоче значення температури навколишнього повітря для виконання УХЛ1 - плюс 40°C, для виконання Т1 - плюс 55°C.

Нижнє робоче значення температури навколишнього повітря для виконання УХЛ1 - мінус 60°C, для виконання Т1 - мінус 10°C.

Натягнення проводів в горизонтальному напрямі в площині, перпендикулярній повздовжній осі вимикача, не більше 500 Н. Вимикач нормально працює в умовах ожеледі при товщині кірки льоду до 20 мм і вітрі швидкістю до 15 м/с, а за відсутності ожеледі - при вітрі швидкістю до 40 м/с. Вимикачі відповідають вимогам ГОСТ 687 "Вимикачі змінного струму на напругу понад 1000 В. Загальні технічні умови".

Результати дослідження

Вимикачі серії ВГБ-35 відносяться до електричних комутаційних апаратів високої напруги, в яких середовищем, що гасить, є елегаз. Загальний вид вимикача ВГБ-35 приведений на рисунку.1 Вимикач складається з трьох полюсів, розміщених в одному баку 3, і управляється електромагнітним приводом 7 постійного або змінного струму. Є варіант установки вимикача на подовженій palі з установкою приводу на подовженій дистанційній трубі (на 500 мм в порівнянні з базовим варіантом) і додатковим кріпленням приводу до palі. Включення вимикача відбувається за рахунок енергії включаючого електромагніту приводу 7, відключення - за рахунок відключаючих пружин вимикача,

зведення яких відбувається в процесі включення. Бак 3, що вміщає в себе трьохполюсний контактний механічний пристрій (КМУ), укомплектований шістьма введеннями 1 з вбудованими трансформаторами струму 2 типу ТВЕ-35, клапаном 9, пристроєм, що підігріває, 6, сигналізатором тиску 8 і клемною коробкою 5.

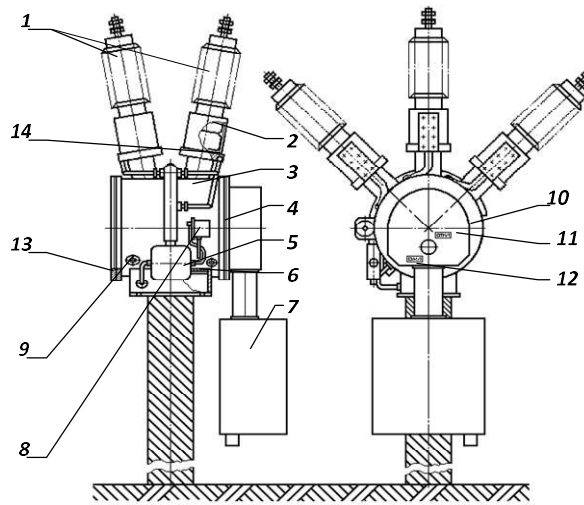


Рисунок 1 - Загальний вид вимикача ВГБ-35

1-ввод; 2-трансформатор струму; 3-бак; 4-фланець; 5-клемна коробка; 6-пристрій що підігріває; 7-шкаф з приводом; 8-сигналізатор тиску; 9-клапан; 10-кришка; 11-механізм; 12,13,14-кільця ущільнювачі. Бак 3 заповнюється на заводі-виробнику елегазом, відповідним ТУ 6-02-1249. Тиск заповнення, приведений до 20°C, вказаний в технічних даних. Всередині, на дні бака, закріплений тканинний мішок з адсорбентом, який поглинає як можливу вологу, так і газоподібні продукти розкладання, що утворюються при горінні дуги.

Висновки

В останні роки побоювання викликала можлива екологічна небезпека елегазу. У цьому зв'язку слід зазначити, що незважаючи на приналежність до ряду фторидів, елегаз не включений в перелік речовин, що підлягають заборони або обмеження в застосуванні. Крім того, загальний внесок елегазу в парниковий ефект атмосфери становить не більше 0,2% (частка елегазу електротехнічного обладнання значно менше). Однак проводяться роботи по заміні елегазу на суміші його з іншими газами, а також використанню інших газів.

Незважаючи на очевидні переваги елегазових і вакуумних апаратів, повний перехід на їх використання займає не один рік і не одне десятиліття. При постійному зростаючому впровадженні сучасної апаратури в експлуатації залишається ще чимало застарілих апаратів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аметистів, Є.І. Основи сучасної енергетики під загальною редакцією чл.-кор. РАН Є.В. Аметистова - М.: Видавництво МЕІ, 2004.- 822с.
2. Неклепаев, Б.Н. Электрична частина електростанцій і підстанцій / Б.М. Неклепаев, І.П. Крючков - М.: Вища школа, 1989.- 605с.
3. Усов, С.В. Электрична частина станцій / С.В.Усов [и др.]; -М.: Енергія, 1977.-420с.

Поліщук Е.В. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: uaedward@gmail.com

Науковий керівник: **Остра Н.В.** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:natalyaostra@ukr.net

Polishchuk Eduard V. —student, Vinnitsa National Technical University, Ph.D student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: uaedward@gmail.com

Supervisor: Ostra Natalia V. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), , Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: natalyaostra@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Для відшукування іонізаційних процесів в ізоляції силових трансформаторів під час їх експлуатації останнім часом роблять спроби використати метод ЧР для оцінки бездефектного стану при виготовленні трансформаторів, бо він має статистичний розподіл при розвитку дефектів у процесі їх експлуатації.

Ключові слова: електрична мережа, силовий трансформатор, експлуатація.

FEATURES OF OPERATION OF POWER TRANSFORMERS

Abstract

In order to find out the ionization processes in the isolation of power transformers during their operation, recent attempts have been made to use the CR method to assess the defect state in the manufacture of transformers, because it has a statistical distribution in the development of defects in the process of their operation.

Keywords: power grid, power transformer, operation.

Вступ

Під час експлуатації трансформаторів останнім часом роблять спроби використати метод ЧР для оцінки бездефектного стану при виготовленні трансформаторів, бо він має статистичний розподіл при розвитку дефектів у процесі їх експлуатації. Аналіз результатів вимірювання ЧР у режимі моніторингу демонструє, що, на відміну від, наприклад, ХАРГ, концентрації яких зростають монотонно під час послідовного розвитку дефекта, який має відповідні ознаки, динаміка зростання величини уявного заряду ЧР такою монотонністю не володіє. Уривчатість у часі процесу часткових розрядів супроводжується значними відмінами значень їх інтенсивності.

Одним із перспективних напрямків розвитку застосування даного методу є безперервний контроль характеристик ЧР для індикації передпробивних процесів із метою вдосконалення захисту. Взагалі діагностика методом ЧР є ефективним засобом вияву не тільки ЧР у ізоляційних конструкціях трансформатора, але й у будь-яких інших деталях, якщо в останніх мають місце процеси іскрування. Разом з тим ідентифікація ЧР в обладнанні супроводжується щонайменше двома проблемами: розрізнюванням із зовнішніми перешкодами й виявленням джерел внутрішнього шуму.

Результати дослідження

Для відшукування іонізаційних процесів в ізоляції силових трансформаторів під час їх експлуатації останнім часом роблять спроби використати метод ЧР для оцінки бездефектного стану при виготовленні трансформаторів, бо він має статистичний розподіл при розвитку дефектів у процесі їх експлуатації.

Аналіз результатів вимірювання ЧР у режимі моніторингу демонструє, що, на відміну від, наприклад, ХАРГ, концентрації яких зростають монотонно під час послідовного розвитку дефекта, який має відповідні ознаки, динаміка зростання величини уявного заряду ЧР такою монотонністю не володіє. Уривчатість у часі процесу часткових розрядів супроводжується значними відмінами значень їх інтенсивності.

Також відомо, що ЧР, які з'являються в різних місцях по довжині обмотки трансформатора, призводять до різноманітних деструктивних значень величини уявного заряду внаслідок згасання сигналу при його проходженні по обмотці. Таким чином, наявність випадкової діагностичної цінності ознак, які отримуються при вимірюванні ЧР, стає на перешкоді нормованих граничних значень, а виміряні ЧР малої інтенсивності не можуть бути використані як ознака, об'єктивно демонструючи стан устаткування.

Одним із перспективних напрямків розвитку застосування даного методу є безперервний контроль характеристик ЧР для індикації передпробивних процесів із метою вдосконалення захисту. Взагалі діагностика методом ЧР є ефективним засобом вияву не тільки ЧР ув ізоляційних конструкціях трансформатора, але й у будь-яких інших деталях, якщо в останніх мають місце процеси іскрування (поява короткозамкнених контурів, порушення в схемі заземлення, погані контакти та ін.). Разом з тим ідентифікація ЧР в обладнанні супроводжується щонайменше двома проблемами: розрізнюванням із зовнішніми перешкодами й виявленням джерел внутрішнього шуму.

Вимір (ЧР) дозволяє одержати одну з найважливіших характеристик ізоляційних систем трансформаторів. При цьому ефект ЧР характеризується трьома показниками: хімічним, що проявляється в появі розчинених газів, електромагнітним і акустичним. Чутливість методу розчинених газів залежить від часу ЧР, що для контрольних вимірів звичайно велика, і чутливість методу при цьому висока. Однак при виникненні ЧР на початку (часи) чутливість мала, якщо ЧР не дуже великі. Для випадків, коли чутливість цього методу недостатня, повинні застосовуватися інші методи.

Так, за допомогою вимірів у високочастотному діапазоні визначаються ЧР в зазорах і на поверхні ізоляційних конструкцій, коронний розряд з гострих крайок і кутів, іскровий і дуговий розряди між елементами конструкції трансформатора та ін. При цьому тільки даним методом можна визначити ЧР у внутрішніх замкнутих порожнинах трансформатора.

Перешкоди при вимірюванні ЧР, що викликані наявністю значних внутрішніх та зовнішніх завад одного рівня з корисним сигналом, труднощі з інтерпретацією результатів вимірювань і визначення місця ЧР у значній мірі знижуються при використанні акустичних методів контролю ЧР.

Дефектами, які виявляються акустичними датчиками, звичайно є наступні:

- обрив шин заземлення активної частини або електростатичних екранів;
- порушення кріплення екранів ввода трансформатора;
- порушення ізоляції пресуючих обмотку гвинтів, замикання активної частини на бак;
- пошкодження контактів РПН, а також порушення з'єднань між частинами відбирача та інші.

Тому розробка і впровадження акустичних датчиків є і зараз задачею досить актуальною.

Висновки

Як свідчить досвід, розумне сумісне застосування різних технологій та засобів (як давно затверджених, так і нових) може приносити непогані результати при експлуатації трансформаторного обладнання. Слід зазначити, що в описаному випадку трансформатори було виведено в ремонт за результатами дослідження характеристик ЧР, а вже під час ремонту застосовувались інші види досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: *“European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future”*, European Communities, 2006.

2. Стогній Б. С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення // *Технічна електродинаміка*. – 2010. – №6. – С. 44–50.

Палій Б.В. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bogdan.paliy98@gmail.com

Науковий керівник : **Леско В.О.** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leskovlad@ukr.net

Paliy- Bogdan V. –student, Vinnitsa National Technical University, Ph.D student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: : bogdan.paliy98@gmail.com

Supervisor: **Lesko- Vladislav O.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: leskovlad@ukr.net

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ ТА ЇХ УЧАСТЬ У ПОКРИТТІ ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз стану малої гідроенергетики в Україні, на основі якого виявлені пріоритети та перспективи розвитку гідропотенціалу країни. Даний аналіз дозволив визначити основні чинники, що впливають на перспективи розбудови малої гідроенергетики як одного із напрямків відновлювальних джерел. Розглянуто роль малих гідроелектростанцій в покритті графіків навантаження розподільних електромереж. Показано, що встановлення нових розосереджених джерел може мати як позитивний так і негативний вплив на мережі 10 кВ.

Ключові слова: малі гідроелектростанції, відновлювані джерела енергії, електричні мережі, зелений тариф, графік навантаження.

ANALYSIS OF THE SMALL HYDROELECTRICITY DEVELOPMENT IN UKRAINE AND THEIR PARTICIPATION IN THE COVERAGE OF GRAPHICS OF POWER CLEANING OF ELECTRICITY

Abstract

The analysis of the state of small hydropower in Ukraine was carried out, on the basis of which the priorities and prospects of development of the hydropotential of the country were identified. This analysis allowed to identify the main factors influencing the prospects of developing small hydropower as one of the directions of renewable sources. The role of small hydroelectric power stations in covered graphs of load of distribution electric networks is considered. It is shown that the installation of new distributed sources can have both positive and negative effects on the network of 10 kV.

Keywords: small hydroelectric power stations, renewable energy sources, electric grids, green tariff, load schedule.

Вступ

Гідроелектричні станції (ГЕС) на сьогоднішній день є одними з екологічно чистих джерел, що виробляють дешеву електроенергію. Через зростаючі ціни на енергоносії вартість електроенергії на традиційних електростанціях постійно підвищується. Використання енергії води, а в даному випадку гідроенергетичного потенціалу малих річок, сприятиме децентралізації об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) і поліпшенню енергопостачання віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості [1].

Гідроенергетика відіграє важливу роль у забезпеченні стійкості ОЕС України, оскільки забезпечує енергетичну систему високо маневреними потужностями для регулювання добових графіків навантаження з покриттям пікової частини та заповненням нічних провалів.

Мала гідроенергетика в Україні є одним з перспективних напрямків розвитку відновлюваної енергетики. «Зелений» тариф і наявність вже існуючої інфраструктури забезпечують інтерес інвесторів до даного сегменту ринку. Малі гідроелектростанції (МГЕС) можуть значно поліпшити енергопостачання віддалених і важкодоступних районів України, сприяючи їх економічному розвитку [2, 3].

Україна має розвинений гідроенергетичний комплекс. Вітчизняний машинобудівний комплекс забезпечує виготовлення обладнання як для реконструкції та відновлення, так і спорудження гідроелектростанцій різних типорозмірів.

Метою роботи є аналіз розвитку малих гідроелектростанцій в Україні та їх участі у покритті графіків навантаження електромережі.

Результати дослідження

Стимулом до відновлення малої гідроенергетики в Україні стало введення в 2009 році так званого «зеленого» тарифу – підвищених розцінок на енергію, видобуту з відновлюваних джерел. Увагу підприємців привернули зруйновані об'єкти в центрі країни.

На даний час функціонує близько 70 малих ГЕС та каскадів малих ГЕС, робота яких відновлена, та 7 мікро-ГЕС (до малих ГЕС відносяться гідроелектростанції потужністю до 10 МВт, що розділяються на мікро-ГЕС, – потужністю до 0,1 МВт, міні-ГЕС – потужністю 0,1–1,0 МВт та малі ГЕС – потужністю від 1,0 до 10,0 МВт). Ще 95 малих ГЕС, більшість з яких знаходиться у вкрай незадовільному стані, можуть бути відновлені.

Будівництво малих ГЕС є доцільним як з екологічної, так і з економічної точки зору. Ефективність будівництва малих ГЕС визначається їх мінімальним впливом на навколишнє середовище, а також невеликими інвестиціями і термінами будівництва.

Стимулюючими факторами в будівництві малих ГЕС є:

- постійна відновлюваність водних ресурсів;
- мінімальний вплив на навколишнє середовище;
- низька собівартість електроенергії порівняно з тепловими станціями;
- поліпшення комунально-побутових умов та праці людей;
- малі ГЕС не вимагають тривалих термінів будівництва;
- низька капіталомісткість, короткий інвестиційний цикл.

Якщо порівнювати малі ГЕС з іншими видами відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), наприклад, сонцем, вітром, то гідроенергетика практично не залежить від погодних умов і спроможна забезпечити електропостачання споживачів дешевою електроенергією протягом доби.

Не дивлячись на низку переваг, які мають малі ГЕС, на сьогодні все ще існують невирішені проблеми, пов'язані з забезпеченням стійкості і надійності роботи енергосистеми, що потребує встановлення додаткової апаратури автоматики. Підключення нового розосередженого джерела енергії (РДЕ) змінює характеристики мережі, і в деяких випадках вони можуть погіршуватись. Наприклад, можуть змінитись частотні характеристики системи, погіршитись показники якості напруги.

Для підвищення техніко-економічної ефективності сумісної експлуатації РДЕ і розподільних електричних мереж необхідно розв'язати такі основні завдання, що дозволять збільшити виробництво електроенергії відновлюваних джерел, зменшити втрати електроенергії в розподільних електромережах, покращити якість і надійність електропостачання споживачів [4].

Важливим у досягненні ефективного використання РДЕ є правильний вибір місця їх під'єднання в електричній мережі. В роботі проведено дослідження впливу розосередженого генерування на режими роботи розподільних електричних мереж за умови співмірного генерування РДЕ та електроспоживання електричної мережі, а також у разі перевищення потужності генерування над електроспоживанням. Запропоновані математична модель та алгоритм оцінювання показника ефективності приєднання відновлюваних джерел до електромережі з урахуванням їх впливу на втрати потужності та якість електричної енергії.

Висновки

На сьогодні потенціал малих ГЕС використовується в Україні не більше, ніж на третину. Незважаючи на наявність природних ресурсів, видобуток енергії за допомогою малих річок – бізнес витратний і трудомісткий. Крім того, для процвітання цієї галузі потрібні деякі зміни в законодавстві.

Широке впровадження розосереджених джерел енергії, в тому числі і малих ГЕС, може призвести до погіршення режимів роботи розподільних електричних мереж. Тому ще на стадії передпроектних розрахунків необхідно проводити оцінювання впливу РДЕ на ефективність електропостачання, а також визначати доцільні потужності та місця приєднання нових джерел електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хоменко В. О. Аналіз стану та перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. Експлуатація малих ГЕС та каскадів малих ГЕС у сучасних умовах / В. О. Хоменко, П. Д. Лежнюк // Кафедра електричних станцій та систем. ВНТУ. Вінниця — 2012. — № 6 — С. 118—123.
2. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію. Постанова НКРЕ від 29.05.2014 № 772. Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=11090>.

3. Відроджувальні джерела енергії в розподільчих електричних мережах: Монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 205 с.

4. Оцінювання впливу відроджуваних джерел електроенергії на функціонування електричних мереж / О. А. Буславець, В. В. Кулик, П. Д. Лежнюк, В. В. Тептя // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. Вип. 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2015. С. 46-49.

Мусінкевич Володимир Вікторович – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2e15b.mysinkevuch1@gmail.com

Науковий керівник: **Тептя Віра Володимирівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com

Mysinkevuch Volodumir V. – student, Vinnitsa National Technical University, student of the department of electric power stations and systems; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: mysinkevuch1@gmail.com

Supervisor: **Teptia Vira V.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: teptyavira@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ЇХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі проведено дослідження конструктивних особливостей та принципу дії силових трансформаторів, проаналізовано їхні сучасні умови та вимоги експлуатації.

Ключові слова: трансформатор, магнітопровід, електромагнітна індукція, передача потужності, правила експлуатації

Abstract

In the work of the study of design features and the principle of power transformers, their current conditions and requirements of operation are analyzed.

Keywords: transformer, magnet conductor, electromagnetic induction, power transfer, operating rules

Вступ

В умовах сучасного розвитку енергосистем актуальним залишається питання надійного і економічного електропостачання споживачів. Протягом всього періоду, за який розвивалась електротехніка та електроенергетика в цілому, електричні машини займають головні позиції, адже вони виробляють, трансформують та споживають електроенергію.

Надзвичайно важливою ланкою є перетворення електричної енергії, а цей процес здійснюється за допомогою трансформатора. Цей пристрій відіграє дуже важливу роль у передаванні електричної енергії на великі відстані із найменшими втратами, шляхом багаторазового перетворення напруги із низького класу напруг у високий і навпаки. Але як і будь-яка електрична машина, трансформатор потребує догляду, ремонту, а також правильної його експлуатації.

В процесі експлуатації повинні чітко дотримуватися правил технічної експлуатації силових трансформаторів, що дозволить уникнути багатьох аварійних ситуацій. Неправильна експлуатація трансформаторів є потенційно небезпечною для здоров'я та життя обслуговуючого персоналу та може призвести до скорочення терміну служби обладнання.

Метою роботи є узагальнення та систематизування знань про основні конструктивні особливості силових трансформаторів та дослідження їх умов експлуатації.

Результати дослідження

Силовий трансформатор високої напруги – це пристрій, який складається з таких основних конструктивних елементів: магнітної системи (магнітопроводу), обмоток, ізоляції, виводів, охолоджувального пристрою, бака, пристрою регулювання напруги, захисних та вимірювальних пристроїв, візка [1, 2].

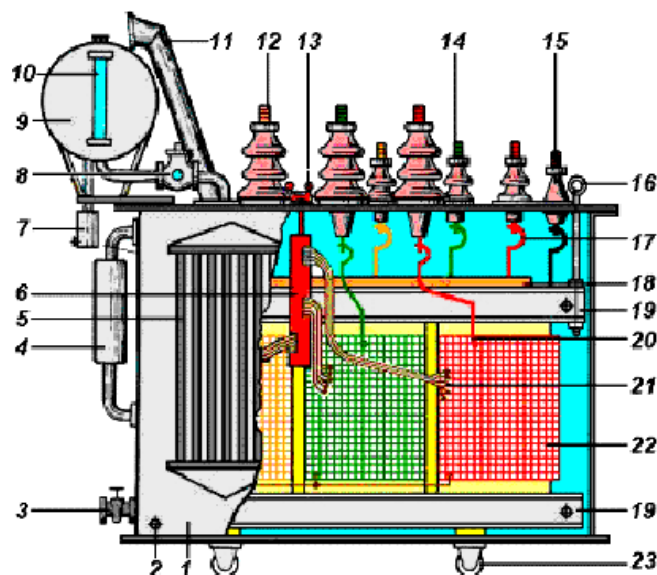
У трансформаторах невеликої потужності бак має верхню знімну кришку, тому під час ремонту необхідно зняти цю кришку, а потім вийняти активну частину з бака.

Якщо маса активної частини перевищує 25 тон, вона встановлюється на донну частину бака, а потім накривається дзвінокоподібною верхньою частиною бака і заповнюється маслом. Такі трансформатори з нижнім рознімним дном не потребують вантажопідйомних пристроїв, щоб вийняти активну частину, тому що після зливання масла верхня частина бака піднімається, відкриваючи доступ до обмоток і магнітопроводу.

У магнітній системі наявний магнітний потік трансформатора (звідси назва "магнітопровід"). Магнітопровід є конструктивною і механічною основою трансформатора. Слід зазначити, що якість електротехнічної сталі впливає на допустиму магнітну індукцію та втрати в магнітопроводі.

Магнітопровід і його конструктивні деталі є основою трансформатора, на якій встановлюють обмотки і кріплять провідники, що з'єднують обмотки з вводами, створюючи активну частину.

Магнітопровід з насадженими на його стрижні обмотками – це активна частина трансформатора. Інші елементи трансформатора називаються неактивними або часто кажуть, що це пасивні частини. Розглянемо детальніше конструкцію основних частин трансформатора (рис. 1).



1 – бак; 2 – затискач заземлення; 3 – вентиль; 4 – термосифонний фільтр; 5 – радіатор; 6 – перемикач; 7 – повітроосушник; 8 – газове реле; 9 – розширник; 10 – маслоказівник; 11 – викидна труба; 12 – вивід ВН; 13 – привод перемикаючого пристрою; 14 – вивід НН; 15 – нульовий вивід; 16 – кільце для підйому; 17 – відвід НН; 18 – кістяк; 19 – ярмова балка кістяка (верхня та нижня); 20 – відвід ВН; 21 – регулювальні відгалуження обмоток ВН; 22 – обмотка НН та ВН; 23 – коток візка

Рис. 1. Будова силового трансформатора

Магнітопровід в трансформаторі виконує дві функції: по-перше, він утворює магнітне коло, по якому замикається основний магнітний потік трансформатора; по-друге, є основою для встановлення та кріплення обмоток, виводів, перемикачів. Магнітопровід має шихтовану конструкцію, тобто він виготовляється з тонких (товщиною близько 0,5мм) штампованих пластин з електротехнічної сталі або залізо-нікелевих сплавів, покритих ізолюючою плівкою (наприклад лаком). Така конструкція магнітопроводу зменшує вихрові струми, які наводяться в ньому змінним магнітним потоком, і тим самим, зменшує втрати енергії в трансформаторі. Використовують також феритові магнітопроводи (осердя) з двох однакових половинок. Стрижневі осердя застосовують в трансформаторах потужністю понад 1к Вт.

Силові трансформатори залежно від конструкції магнітопроводу бувають трьох типів: стрижневі, броньові, бронестрижневі, а також тороїдальні.

За способом спраження стрижнів з ярмами розрізняють стикову і шихтовану конструкцію стрижневого магнітопроводу.

У сучасних трансформаторах для обмотки використовують транспонований провід, в якому окремі провідники в паралельному пучку періодично змінюють своє положення. При цьому вирівнюється опір елементарних провідників, збільшується механічна міцність, зменшується товщина ізоляції та розміри магнітопроводу.

Обмотки трансформаторів повинні мати достатню електричну та механічну міцність. Ізоляція обмоток і виводів повинні бути без пошкоджень, витримувати комутаційні й атмосферні перенапруги. Обмотки повинні витримувати електродинамічні зусилля, які виникають при протіканні

струмів короткого замикання. Необхідно передбачити надійну систему охолодження обмоток, щоб не виникав недопустимий перегрів ізоляції.

Однією з головних задач експлуатації трансформаторів є контроль режиму їх роботи. Цей контроль здійснюється шляхом перевірки навантаження трансформатора, напруги на обмотках, температури масла і інших параметрів. Під час зовнішнього огляду трансформатора необхідно звертати увагу на такі речі: зовнішній стан бака, стан заземлення, рівень та колір масла у розширювачі, відсутність витоку масла, відсутність тріщин та різних пошкоджень [3].

Надзвичайно важливим є перевірка стану ізоляції обмоток та їх опору, також перевірка ізоляції трансформаторного масла та коефіцієнту абсорбції.

Всі роботи із трансформаторами ведуться згідно правил експлуатації та ремонту, та обов'язково із виконанням техніки безпеки.

Висновки

Для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів досить важливо в процесі експлуатації забезпечити надійну роботи силових трансформаторів. Використання сучасних методів експлуатації, оснований на діагностиці технічного стану трансформаторів, дозволяють забезпечити безперебійну роботу виробничих механізмів, зменшити витрати на їх експлуатацію та продовжити термін служби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 219 с.
2. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://works.doklad.ru/view/fgQbYXWB30w.html>
3. Лагутін В. М. Експлуатація електричних станцій. Ч. II. Ремонт електричних машин та трансформаторів [Текст] : Навчальний посібник / В. М. Лагутін, В. О. Лесько, В. В. Тептя - Вінниця: ВНТУ, 2015. – 115 с.

Пустовіт Вячеслав Юрійович — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: slavapustovit356@gmail.com

Науковий керівник: **Тептя Віра Володимирівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com

Pustovit Viacheslav Y. - student, Vinnitsa National Technical University, student of the department of electric power stations and systems; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: slavapustovit356@gmail.com

Supervisor: **Teptia Vira V.** - Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com

СУЧАСНІ МЕТОДИ СУШІННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі досліджено традиційні способи та методи сушіння ізоляції силових трансформаторів та здійснено їх порівняння з сучасними методами сушіння, а також проведено детальний аналіз процесу сушіння ізоляції трансформаторів.

Ключові слова: трансформатор, ізоляція, олива, обмотки.

Abstract. Traditional methods of the power transformers drying isolation were researched. Their comparison with modern drying methods were also implemented and a detailed analysis of the isolation drying process of transformers was carried out.

Keywords: transformer, insulation, oil, windings.

Вступ

Одним з важливих процесів у виробництві трансформаторів є ефективне видалення вологи із целюлозної ізоляції. Якість сушіння ізоляційного матеріалу безпосереднім чином позначається на параметрах діелектрика й визначає надійність трансформатора. Різноманітні способи сушіння засновані на передачі тепла від нагрітих поверхонь шляхом теплопровідності. У деяких випадках при нагріванні або охолодженні тіл після сушіння необхідно розрахувати тривалість протікання цих процесів. Існують різні способи сушіння трансформаторів (наприклад, методом в індукційних втрат сталі бака, в спеціальній шафі, інфрачервоними променями, повітродувкою, у вакуумі, струмами короткого замикання та ін.) зі своїми перевагами і недоліками.

В процесі зберігання, транспортування та монтажу трансформаторів їх ізоляція (масло, целюлоза) зволожується за рахунок впливу навколишнього середовища. При експлуатації трансформатори звожуються за рахунок тепло- та вологообміну між трансформатором і навколишнім середовищем (трансформатор «дихає», коли осушується при нагріванні і зволожується при охолодженні), а також за рахунок окислювальних процесів, що відбуваються в маслі при його нагріванні [1].

Зволоження погіршує ізоляційні характеристики, що може бути причиною виходу трансформатора з ладу при включенні або експлуатації. Профілактичні випробування – це один з методів контролю стану ізоляції трансформаторів в процесі експлуатації. Якщо результати цих випробувань негативні, то слід провести комплекс вимірювань для оцінки ступеня зволоження ізоляції трансформатора. Після тривалого зберігання трансформатора або перебування його в неробочому стані в несприятливих кліматичних умовах, перш ніж приступити до вимірювань за оцінкою ступеня зволоження ізоляції, проводять скорочений хімічний аналіз та випробування електричної міцності трансформаторного масла [2, 3].

Результати дослідження

Сушіння ізоляції трансформаторів необхідне для приєднання ізоляції в стані, що в повній мірі відповідає існуючим нормам і вимогам. Загалом виділяють наступні випадки:

- поява слідів води на активній частині або в баку;
- термін зберігання трансформатора без оливи (доливання оливи) перевищив один рік;
- спостерігається обводнення індикаторного силікагелю, він втратив синій колір;
- активна частина трансформатора знаходиться на повітрі більше встановленого часу (або довше);
- контрольне підсушування трансформатора не дозволило привести характеристики ізоляції до нормованих параметрів.

На сьогоднішній день на практиці використовують багато способів сушіння ізоляції трансформаторів, серед яких найпоширенішими є циркуляція гарячої сухої оливи, метод холодного вакууму, термовакуумна дифузія, розпилювання оливи, циклічне сушіння та ін. [4].

При циркуляції гарячої сухої оливи, початкова олива нагрівається до температури 80-85 °С, після чого виходить через установку сушіння та фільтрації. Суть даного методу складається в

дифузії вологи з зовнішніх слоїв в сухій оливі з наступним її видаленням за допомогою установок осушування.

Метод холодного вакууму характерний нагріванням трансформатора при вакуумуванні (залишається 0,05-1 мм.рт.ст.). Обов'язкова умова - температура ізоляції не повинна опускатися нижче 20 °С. Технологічний метод реалізується за рахунок спеціальної пастки, призначеної для виморожування водяних парів. Це підвищує ефективність роботи вакуумних насосів і дозволяє додатково виводити водяні пари з баки.

Підхід термовакuumної дифузії використовується виключно для сушіння трансформаторів, які перебувають під напругою 110-750 кВ. Початок нагрівання оливи до температури 80-85 °С, потім прогрівається ізоляція за рахунок циркуляції гарячої оливи або циркуляції струму в обмотках. Потім відбувається зливання оливи під вакуумом, а сам трансформатор вакуумується на впродовж 48 годин.

При розпилюванні оливи трансформатор нагрівають до температури 100 °С за рахунок розбризкування оливи. Залишковий тиск при цьому не повинен бути меншим 5 мм.рт.ст. Оброблення може проводитись кілька днів до закінчення виділення води в конденсаційній колоні (у випадку дуже зволоженої ізоляції).

Циклічне сушіння відбувається наступним чином: трансформатор нагрівають розбризкуванням гарячої оливи при змінному вакуумі і періодичним продуванням сухим гарячим повітрям, доки температура не буде рівною 80-90 °С. Далі трансформатор вакуумується, після чого нагрівається і омивається при розбризкуванні гарячої оливи. В залежності від початкового вологовмісту процес може містити від 3 до 8 циклів.

Спосіб сушіння гарячим повітрям: спочатку чисте повітря нагрівається до температури 100 °С, після чого воно проходить через бак трансформатора, нагріваючи при цьому магнітопровід і обмотки. Такий підхід рекомендований для використання в трансформаторах, баки яких не розраховані на повний вакуум.

Одним з найбільш сучасних способів сушіння трансформаторів, є встановлення установки вакуумного виморожування «Іней» - призначена для вакуумування і підсушування твердої ізоляції силових трансформаторів. Завдяки унікальній конструкції ці установки розвиваються до температури до -70 °С. При такій температурі вода з обмоток трансформатора конденсується в установці, що дозволяє розвинути більш глибоке розрідження в трансформаторі і знизити парціальний тиск води. Таким чином, збільшує ефективність сушіння обмоток трансформатора. Також завдяки цьому можна точно уточнити, коли обмотки і бак трансформатора висушуються достатньо добре [5].

Низькочастотне нагрівання (LFH) - це унікальний процес сушіння ізоляції трансформатора за рахунок подачі регульованого струму низької частоти на його високовольтні обмотки. Цей метод є кращим й швидшим від традиційних, при якому використовують гаряче масло й вакуумне сушіння. Він може знизити витрати енергії вдвічі і значно прискорює виробничий процес. Основний вплив на швидкість сушіння і його якість має температура об'єкта сушіння й глибина вакууму. Метод LFH, розроблений компанією ABB Micafil, дозволяє рівномірно нагріти високовольтні й низьковольтні обмотки трансформатора зсередини, шляхом подачі струму низької частоти малої напруги на високовольтні обмотки, при цьому низьковольтні обмотки замикаються накоротко [6].

В представленому методі замість гарячого повітря або пари розчинника для нагрівання трансформаторів зсередини використовуються низькочастотні струми, що подаються у високовольтні обмотки трансформатора (рис. 1). Для більших трансформаторів метод LFH використовується в поєднанні із циркуляцією гарячого повітря.

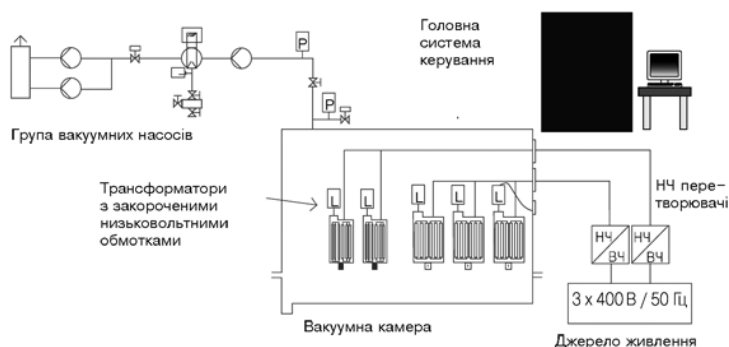


Рис. 1 - Схема сушіння трансформаторів шляхом низькочастотного нагрівання (LFH)

Метод сушіння трансформаторів Smart Dry поєднує вакуумне сушіння обмоток з низькочастотним нагріванням (LFH). Цей метод зарекомендував себе як найбільш раціональний для трансформаторів потужністю більше 10 МВА і економічно вигідний технічне рішення. Механічна міцність ізоляції трансформатора значною мірою визначається так званим ступенем полімеризації, яка оцінюється коефіцієнтом полімеризації DP. Активна частина трансформатора нагрівається шляхом подачі в високовольтну (первинну) обмотку напруги низької частоти (до 1 Гц) при замкнутій накоротко обмотці нижчої напруги (вторинної). Низька частота значною мірою зменшує реактивну складову опору кола короткого замикання і дозволяє за рахунок цього отримати відповідну величину струму при невеликій напрузі. Індуктивний зв'язок між обмотками при цьому зберігається [7].

Втрати від вихрових струмів в обмотках і деталях конструкції при низькій частоті незначні, за рахунок чого виключається можливість локального перегріву в цих елементах. Перевищення допустимих меж величин струму і напруги також стає неможливим завдяки надійності розрахунків відповідних параметрів установки. Подача в первинну обмотку напруги низької частоти регулюється залежно від температури обмоток, яка визначається шляхом безперервного контролю їх опору. За рахунок цього запобігається можливість додаткового старіння паперової ізоляції під дією нагрівання обмоток. Зазвичай масло силового трансформатора в процесі експлуатації регулярно піддається аналізу. Якщо при цьому виявляється високий вміст води, рекомендується вимірювання показника PDC (струмів поляризації і деполяризації). На основі встановлених значень вмісту води в твердій ізоляції і маси цієї ізоляції з урахуванням масляного просочення проводиться узгодження із замовником кількості води, що підлягає видаленню, в процесі сушіння. На стадії проектування установки для сушіння активної частини трансформатора його бак і високовольтні вводи повинні перевірятися на вакуумну щільність. Якщо вводи не забезпечують потрібної герметичності, повинні встановлюватися відповідні додаткові сполучні фланці.

Весь процес сушіння складається з трьох циклів: нагрів струмом низької частоти (LFH), випуск масла та створення вакууму і сушка пульсуючим струмом низької частоти. Залежно від продуктивності насоса, що використовується, масло впродовж декількох годин відкачується з трансформатора і потрапляє в ємність для проміжного зберігання. Бак трансформатора вакуумують, після чого починається процес сушіння. При цьому залежно від вмісту вологи середню температуру обмоток ступенями по 5K підвищують до максимальної (90 ° C), а потім знову знижують (рис. 2, де: P - тиск в баку трансформатора, q - середня температура обмоток, V - сумарний вихід води, V/t - питомий вихід води на одиницю часу, I – струм).

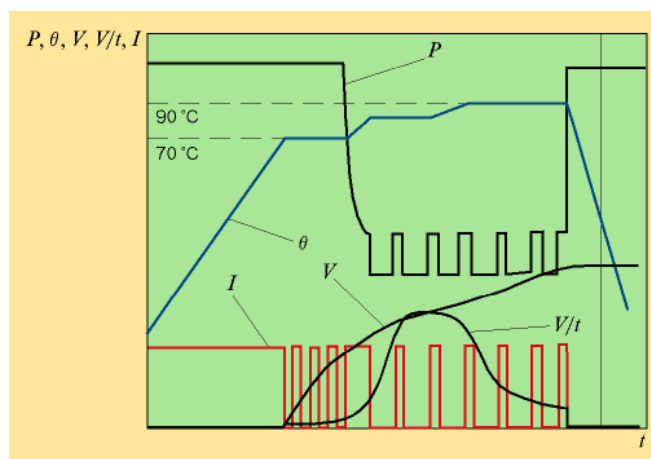


Рис. 2 - Наближене відображення процесів, що відбуваються при вакуумній сушці в поєднанні з низькочастотним нагріванням обмоток трансформатора

Максимальна напруга в первинній обмотці трансформатора під час нагрівання становить 760 В. Для того, щоб повністю виключити небезпеку електричного пробоя під час подачі струму, глибину вакууму підвищують до 40 - 60 Мбар (30 - 45 мм ртутного стовпа). Слід зазначити, що напруга, яка подається в первинну обмотку, занадто мало, щоб викликати пробій ізоляції, рівень

якої розрахований на 100 і більше кВ. При тиску в баку 1 Мбар і заданих ізоляційних відстанях, можливість пробою в процесі сушіння повністю виключається.

Сушіння закінчується після видалення встановленої кількості води, при цьому олива заправляється в бак, коли він ще перебуває під вакуумом. Після демонтажу електричних і гідравлічних з'єднань, вимірювання опору ізоляції, відновлення всіх демонтованих з'єднань і відкачування з бака повітря трансформатор витримують певний час і потім здають в експлуатацію.

Висновок

Вміст вологи в ізоляції трансформаторів відіграє вирішальну роль у процесі її старіння. Але досі цього фактору приділялося недостатньо уваги. Більшість силових трансформаторів, які знаходяться в експлуатації в даний час, мають вік 30 і більше років. Вакуумне сушіння в поєднанні з технологією нагріву LFH є ефективним способом продовження терміну служби таких трансформаторів. При використанні такого способу сушіння час відключення трансформатора може бути скорочено до 10 - 16 діб замість декількох тижнів, які потрібні при традиційних методах сушіння за допомогою циркуляції оливи. Завдяки такій істотній економії часу спосіб Smart Dry представляє особливий інтерес для систем тягового електропостачання залізниць, а також для електростанцій, підстанцій і промислових підприємств. Побойовання, що цей спосіб занадто жорсткий і може призвести до викривлення ізоляції, не підтвердилися. З практики відомий випадок, коли один з просушених трансформаторів після здачі в експлуатацію піддався впливу близького короткого замикання в мережі і витримав його без пошкодження. Ще один трансформатор відразу ж після просушування в рамках випробувальної програми піддавався багаторазовим впливам пікових навантажень і також витримав їх без пошкоджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лизунов С.Д. Сушка и дегазация изоляции трансформаторов высокого напряжения. М.: Энергия, 1971. - 128 с.
2. Филиппшин В.Я., Туркевич А.С. Монтаж силовых трансформаторов. М.: Энергоиздат, 1981. - 432 с.
3. Инструкция по эксплуатации трансформаторов. М.: Энергия, 1978. - 80 с.
4. Алякртский И.П., Мандрыкин С.А. «Сушка электрических машин и трансформаторов». – Москва: Энергия, 2-е издание. – 1974. – 72 с.
5. <https://oil.globecore.ru/oborudovanie/obslyuzhivanie-silovyh-transformatorov/sushka-izolyatsii-transformatorov-ustanovkoj-inej.html>
6. <http://www.electrotema.com.ua/content/detail/3724>
7. <http://tek.tasvbr.com/help/339>

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Сивак Юрій Павлович — студент групи 2Е-15б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Syvak P. Yurii - student of 2E-15b group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АНАЛІЗ ВИЩИХ ГАРМОНІК В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі аналізувалися можливості появи вищих гармонік в розподільних електричних мережах, в яких експлуатуються електричні станції, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, зокрема фотовольтаїчні електричні станції. Здійснено аналіз літературних джерел та зроблено комп'ютерне моделювання роботи розподільної електричної мережі з ФЕС з метою дослідження появи вищих гармонік, що виникають під час ввімкнення/вимкнення таких станцій.

Ключові слова: фотоелектрична станція, відновлювальні джерела енергії, розподільна електрична мережа, якість електроенергії.

ANALYSIS OF HIGHLY HARMONICS IN DISTRIBUTION ELECTRIC MECHANICS WITH RENEWABLE SOURCES OF ENERGY

Abstract

The work analyzed the possibility of the emergence of higher harmonics in distribution electrical networks, in which ex-pluatsya power plants working on renewable energy sources, in particular photovoltaic power plants. An analysis of literary sources was carried out and a computer simulation of the operation of the distribution electrical grid with the PV was performed in order to investigate the appearance of higher harmonics that arise during the switching on / off of such stations

Keywords: photovoltaic station, renewable sources of energy, distribution networks, electricity quality

Вступ

Фотовольтаїчна енергія сьогодні широко використовується, оскільки вона є екологічно чистою та нескінченною енергією. Фотопанелі генерують постійний електричний струм, тому необхідно використовувати інвертори для перетворення постійного струму в змінний трифазний струм. У той же час, інвертор, як перетворювальний пристрій, може призвести до виникнення гармонік, що можуть викликати спотворення сигналу і впливають на електричні пристрої, що живляться від мережі. Це може призвести до несправності обладнання споживачів. Аналіз літературних джерел свідчить, що більшість мережевих гармонік можуть впливати на обладнання розподільних мереж та споживачів [1, 2].

Більшість систем генерування електричної енергії на базі сонячних панелей поділяється на дві форми. Перша – це дахові сонячні станції (встановлена потужність яких не перевищує 30 кВА). Ці системи генерують менше енергії, ніж загальна потужність споживання в мережі, але якщо до фідера під'єднано багато таких дахових електростанцій, то вони можуть жити більшість навантаження цього фідера. Іншою формою є потужні фотовольтаїчні станції, які можуть генерувати мегавати електроенергії. Оскільки обидві форми генерують електроенергію в електричну мережу, виникає задача необхідності контролю якості електроенергії та стабільності в системі передачі електроенергії. Що стосується якості електроенергії, то суттєвим фактором є гармоніки, які генеруються сонячною системою в мережу [1]. Якщо така система генерує високі гармоніки, то спотворення синусоїдальності кривої струму та напруги можуть мати вплив на обладнання споживачів та обладнання електропостачальної компанії. Параметр, що контролюється та регламентований ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 – сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) напруги [3]:

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \times 100\%$$

де U_1 – амплітуда основної гармоніки, U_n – амплітуда n -ої гармонійної складової.

В роботі проведено в програмному середовищі PSCAD моделювання режимів роботи таких мереж в яких експлуатуються 2 потужності фотоелектричні станції. В результаті моделювання отримано гармонійний спектр на шинах споживачів, по якому можна зробити висновок про наявність високих гармонік в кривих напруги. Що підтверджує необхідність дослідження цього питання та розробки заходів по покращенню якості електроенергії в таких мережах.

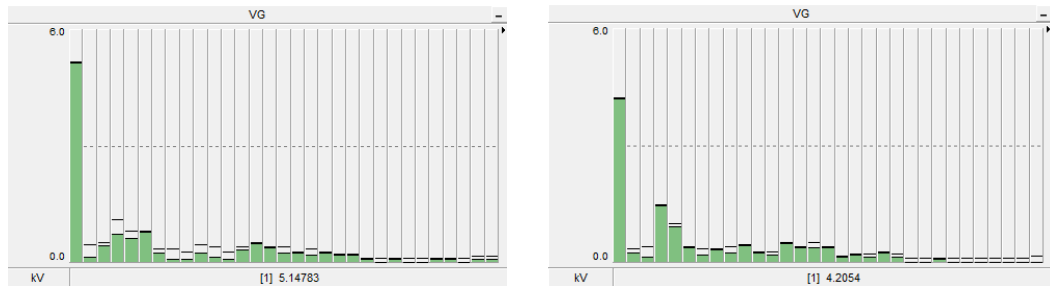


Рис. 1. Спектр гармонійних складових напруги на шинах в момент підключення ФЕС1 та ФЕС2 з коротким інтервалом в часі ПС 10кВ

Висновки

Аналіз іноземних та вітчизняних літературних джерел дозволяє зробити висновок, що в мережах з розподіленим генеруванням існує проблема дотримання показників якості електроенергії, серед таких показників є сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень напруги. Підключення інверторів фотовольтаїчних станцій та споживачів з нелінійними характеристиками навантаження можуть впливати на несинусоїдність струмів та напруг в мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chaian, J. Power Quality Analysis of Grid Connected Solar Power Inverter / J. Chaian, P. Nathanon, N. Atthapol // King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.-2017. –P.1508-1513.
2. Лежнюк П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015.- №2. – С. 134-145. – ISSN 2307-5732
3. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії (ІЕС 61000-4-30:2008, IDT).

Король А.О. — студента групи 2Е-15Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2e15bkorol@gmail.com.

Науковий керівник Гунько І.О. — кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електричних станцій і систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: iryna_hunko@ukr.net

Korol Andriy - student group 2E-15B, Vinnitsa National Technical University, searcher of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: 2e15bkorol@gmail.com.

Supervisor: **Hunko I.O.** – PhD, of electric stations and systems department, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: iryna_hunko@ukr.net

В. О. Лесько¹
В. М. Лисий¹
Д. В. Щербатий²

Вплив систем зберігання енергії на впровадження відновлювальних джерел електроенергії

¹Вінницький національний технічний університет;

²Подільський науково-технічний ліцей для обдарованої молоді

Анотація

Розглянуто види систем зберігання електричної енергії їх функціональні можливості та вплив на електричну мережу. Проаналізовано збільшення попиту на такі системи та їх економічні показники, що обумовлено стрімким розвитком відновлювальної енергетики.

Ключові слова: системи зберігання електроенергії, відновлювальні джерела енергії, енергосистема, літій-іонні батареї.

Abstract

The types of storage systems of electric energy are considered, their functionality and influence on the electric network. The analysis of the increase in demand for such systems and their economic indicators due to the rapid development of renewable energy.

Key words: electricity storage system, renewable energy sources, power system, lithium-ion battery.

Вступ

Енергосистема завжди потребувала компенсаційних потужностей, які перекривали би пікові перевантаження. Впровадження відновлювальних генерацій (ВГ) загострило потребу у додаткових швидкодіючих компенсаційних потужностях, що мають поглинати коливання поточного попиту, але й усувати тимчасову добову, сезонну та річну нестабільність таких генерацій. Особливо це стосується відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що найбільш швидко впроваджуються – сонячних станцій та вітрових установок різного базування. Але системи зберігання електроенергії (СЗЕ) можуть і мають виконувати додаткові функції, які покликані стабілізувати роботу енергосистеми, підвищити якість енергопостачання, підтримувати напругу та частоту, балансувати, запобігати наслідкам від аварій на електромережах, швидко перерозподіляти електроенергію для населення та промисловості.

Результати досліджень

Традиційний підхід для накопичення та зберігання енергії головним чином зосереджено на гідроакumuлюючих станціях (ГАЕС), що базується на перетворенні потенціальної енергії води в електричну[1]. Власне і зараз ГАЕС домінують серед всіх типів СЗЕ, займаючи на середину 2017 р. 96% у загальній встановленій потужності всіх сховищ енергії, рисунок 1. Наразі гідроакumuлюючі станції складають приблизно 169 ГВт світової встановленої потужності від майже 176 ГВт в цілому, з якого термальні сховища мають потужність 3,3 ГВт (1,9 %), електрохімічні батареї – 1,9 ГВт (1,1 %) та електромеханічні системи – 1,1 ГВт (0,9 %).

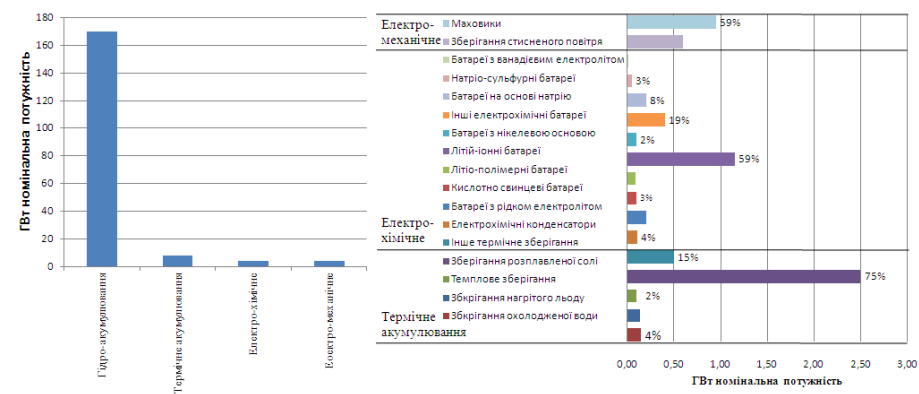


Рисунок – Розподіл СЗЕ за найбільш вживаними типами саном на 2017

Термальні СЗЕ для ВГ використовуються у системах концентрації сонячної енергії (КСЕ), а серед них найбільш вживаною є технологія накопичення тепла у сольових розплавах (70 %). Серед електрохімічних засобів СЗЕ беззаперечно переважають літій-іонні технології (59 %). Електромеханічні технології складаються з маховиків, та технології накопичення енергії у вигляді стисненого повітря.

Але наразі типом СЗЕ, що прискорює розвиток найшвидше, є електричні акумуляторні системи різного рівня потужності та призначення[2] Особливо це стосується літій-іонних батарей, рисунок. 1. Прогнозується, що стаціонарні акумуляторні СЗЕ збільшаться від 2 ГВт (2017 р.) до щонайменше 235 ГВт в 2030 р. Це відбудеться за рахунок зниження витрат, збільшення тривалості експлуатації, кількості циклів заряду, розряду та накопичувальної здатності.

Висновки

Аналіз функціональних особливостей, вартості СЗЕ свідчить про зменшення їх собівартості. До 2030 р. загальна вартість установок може знизитись на 50-60 % що зумовлено оптимізацією виробничих потужностей, розвитком технологій.

«СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ»

1. П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін «Оптимізація функціонування відновлюваних джерел енергії в місцевих електричних системах», Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2018. –124 с.
2. С.О.Кудря, Б.Г. Тучинський, В.Г. Дресвянніков, З.У. Рамазанова, «Структурні тенденції в енергетиці Європи і розвиток відновлюваної енергетики», Відновлюв. енергетика. – 2005. – № 1. –С. 36-40
3. IRENA (2017), Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, www.irena.org

Лисий Владислав Михайлович – студент групи ЕСМ-18м, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com

Науковий керівник: **Леско Владислав Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leskovlad@ukr.net

Щербатий Данило Вікторович – учень 11-го ІТ класу, Подільський науково-технічний ліцей для обдарованої молоді, Вінниця

Lysyi Vladyslav - student of the group ESM-18m, Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com

Scientific supervisor: **Lesko Vladyslav** - Can. Sc, assistant professor of the department of electric power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leskovlad@ukr.net

Sharbatyi Danylo - student of the 11th IT class, Podilsky Scientific Technical Lyceum for Gifted Youth, Vinnytsia

ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОЇ СХЕМИ ТАРИФОУТВОРЕННЯ В УКРАЇНІ – «RAB-тарифи»

^{1,2} Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено діючу схему тарифоутворення в Україні та зміни які приносять запровадження так званих «RAB-тарифів», переваги та недоліки.

Ключові слова: RAB – тариф, тарифоутворення, «Витрати +», мережева інфраструктура.

Abstract

The current scheme of tariff formation in Ukraine and the changes that bring the introduction of so-called "RAB-tariffs", advantages and disadvantages are explored.

Keywords: RAB - tariff, tariff setting, "Expenses +", network infrastructure

Вступ

На сьогоднішній день в Україні працює величезна кількість електричного обладнання та тисячі кілометрів ліній електропередачі які кожної хвилини повинні забезпечувати споживачів електроенергією необхідної якості та в необхідній кількості. Але так склались обставини що більша частина всього обладнання що на даний момент працює в Україні зношене та потребує ремонту або модернізації, або взагалі знаходиться в своєму граничному стані роботи, тобто може відмовити у будь який момент, але незважаючи на це в енергосистемі необхідно забезпечувати стабільне генерування та транспортування електроенергії щоб уникнути серйозних аварій в системі.

Для забезпечення необхідного рівня надійності електроенергетичної системи та безперебійного живлення споживачів електроенергії необхідно замінити велику кількість обладнання на більш сучасніше та надійніше, побудувати нові або реконструювати старі лінії електропередачі, вдосконалити існуючі системи релейного захисту та автоматики за рахунок впровадження новітніх мікропроцесорних пристроїв РЗА та інше. Але для цього необхідні величезні інвестиції, розміри яких сягають мільярдів гривень, на сьогоднішній день енергопостачальні компанії не можуть собі це дозволити.

Результати дослідження

10 січня 2018 року в Україні було запроваджено так звані RAB тарифи які вводиться для компаній, які займаються розподіленням електроенергії, тобто транспортуванням її від виробника до споживача. Для споживачів такі компанії відомі як обленерго, саме вони надають, послуги з забезпечення електроенергією населення. Послуги, які надають такі компанії впливають на кінцеву суму рахунку за електроенергію. Тому при зміні методики оцінки послуг таких компаній безпосередньо впливає на кінцеву суму в квитанції кожного українця. Середній час експлуатації розподільчих електромереж в Україні перевищує 40 років, тому більша частина обладнання зношена на 60-85%. З кожним роком навантаження на електромережі зростає, з яким зношене обладнання не в змозі працювати, тому користувачі відчувають це у вигляді низького рівня якості електроенергії та по кількості годин відключень.

Модернізація є необхідною і повинна бути виконана ще років 20 тому, але для цього потрібні суми, що вимірюються мільярдами гривень. За старою схемою тарифоутворення «Витрати +» на це знадобилося б більше десяти років, що при нинішньому стані РЕМ неможливо. Саме тому було прийнято рішення про запровадження нової схеми тарифоутворення. За словами чиновників НКРЕКП, введення стимулюючого тарифоутворення дозволить власникам обленерго модернізувати інфраструктуру електричних мереж. Це можливо за рахунок використання RAB-тарифу, який дозволяє зацікавити інвесторів вкладати кошти в модернізацію інфраструктури та купівлю державних часток обленерго. Модернізація існуючої інфраструктури дозволить не тільки підвищити надійність та якість електроенергії, а й дасть змогу без проблемно приєднувати відновлювальні джерела енергії, а це може зацікавити потенційних інвесторів.

Абревіатура RAB походить від терміну «Regulatory Asset Base» — регуляторна база активів. Звідси також походять і всі інші терміни, а саме: RAB-регулювання, RAB-тарифи або "стимулююче тарифоутворення".

RAB (Регуляторна база активів) — являє собою потужності обленерго, які вони використовують для передачі та розподілу електроенергії. Схема укладання RAB договорів зображена на рис. 1 До таких потужностей належать: електроопори, трансформатори, ЛЕП, вимикачі — тобто все, що утворює мережеву інфраструктуру.

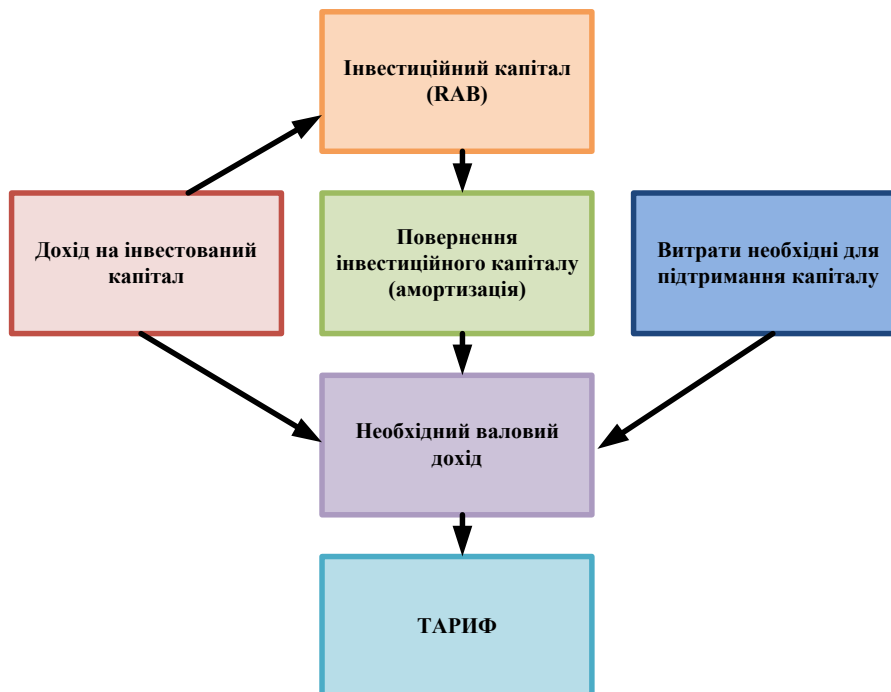


Рисунок 1. Схема укладання RAB договорів

Запровадження схеми RAB дає змогу обленерго гарантовано отримувати певний рівень прибутку, який буде вираховуватися від вартості їхніх активів. В теорії схема RAB має лише переваги, окрім того що вона досить суттєво впливає на кінцеву вартість електроенергії, але це можливо лише за її правильної реалізації, адже вони стимулюють обленерго скорочувати втрати і модернізувати мережі. Якщо компанія знатиме, що за наступні п'ять років вона заробить фіксовану суму — відсоток вартості її активів, вона буде зацікавлена діяти більш ефективно.

Досвід розвинених країн показує, що такий підхід має високу ефективність. Наприклад, Великобританії вдалося удвічі скоротити витрати розподільчих компаній і тарифи на передавання електроенергії за 15 років. У Румунії зношеність активів зменшилася із 75% до 48% протягом 2004-2011 років. Крім того, RAB-тарифи надаються з метою покращення якості послуг: зменшення кількості відключень споживачів, та покращення якості електроенергії.

Проблемою реалізації RAB в Україні є те, що за методикою НКРЕКП у встановленні RAB-тарифів дохідність для обленерго сягає 12,5% річних як на нові активи так і на вже існуючі. Тобто, обленерго будуть отримувати однаковий відсоток прибутку від обох типів активів хоча він повинен бути різним. Адже вже існуючі активи буди оплачені споживачами через тариф, відповідно їх підтримка коштує значно менше, ніж створення нових. Тому ймовірно було доцільно зменшити відсоток прибутковості для існуючих активів, та збільшити для нових. Адже це дозволить зацікавити потенційних інвесторів. Ймовірно, що 12,5% дохідності на нові активи — це замало. Такий рівень прибутковості не сприятиме залученню коштів від інвесторів або отримання кредитів для розширення чи модернізації мереж.

Причиною цього є те, що інвестору вигідніше покласти гроші на депозит, так як прибутковість депозиту в Україні більше 12,5%.

Однак регулятор призначив однакову дохідність для обох видів активів. Таке рішення є не досить вірним, тим більше що за такого рішення виплата 12,5% вартості активів обленерго лягає на споживача.

Тобто якщо оцінити обленерго, наприклад, в 10 млрд грн, яке було приватизоване кілька років тому за 500 млн грн, а його власник не вкладав кошти в модернізацію інфраструктури, то призначення такої дохідності не є обґрунтованим. Адже 12,5% від 10 млрд грн становитиме 1,25 млрд грн. Тобто власник обленерго отримає прибуток більше 1 млрд грн, при цьому не вкладаючи коштів в активи, яку він приватизував за заниженими цінами.

В Україні обленерго та всі енергетичні компанії, діяльність яких регулює НКРЕКП, працюють за принципом "витрати+". За яким тариф для обленерго затверджує НКРЕКП. На основі даних про витрати, необхідних для здійснення діяльності обленерго. При цьому регулятор може не затвердити частину витрат обленерго, якщо вважатиме їх необґрунтованими. До обґрунтованої суми витрат комісія додає кілька відсотків "норми прибутку". Тобто регулятор повинен перевіряти, чи обленерго не закладають зайвих витрат, стежити, щоб їх прибуток не перевищував нормативний і споживачі не платили надмірно.

За схемою «Витрати+», НКРЕКП затверджується норма прибутку в декілька відсотків від нормативного прибутку на витрати. Тобто, якщо витрати обленерго становлять 1 млрд грн, а норма прибутку складає наприклад 5%, то прибуток обленерго становитиме 50 млн грн. З 2 млрд грн — 100 млн грн. З цього випливає те, що за сьогодишньої схеми тарифоутворення обленерго зацікавлені у роздуванні витрат і не зацікавлені у їх зменшенні.

Адже чим більше витрати, тим більша сума яку вони отримують як "норму прибутку".

Висновки

За підрахунками експертів, тарифи обленерго в результаті введення RAB-тарифів зростуть утричі і сумарно становитимуть до 30 млрд грн на рік. При цьому зростання тарифу не обов'язково ляже на плечі населення. Крім населення, в Україні є непобутові споживачі: підприємці, малий, середній, великий бізнес, бюджетні установи та організації.

НКРЕКП зможе затверджувати RAB-тарифи для обленерго з квітня 2018 року. При цьому обленерго мусять відповідати низці критеріїв. Зокрема, у них не повинно бути боргу перед ДП "Енергоринок". Крім того, компаніям доведеться проводити громадські слухання з приводу затвердження RAB-тарифу. Таким чином, регулятор вирішуватиме, які обленерго отримають новий тариф, а які працюватимуть за схемою "витрати+".

У випадку з RAB-тарифами йдеться перш за все про нормативні відсотки дохідності на старі і нові бази активів. Для старих активів їх потрібно суттєво зменшити. Для нових активів норму дохідності варто збільшити. Збільшені відсоткові ставки дозволять заохотити розподільчі компанії залучати кошти на модернізацію мереж і створення нових активів, бо вони приносять більше доходу. Крім того, важливим моментом є контроль за використанням тарифних грошей. Необхідні гарантії, що регулятор та правоохоронні органи діють незалежно і прозоро, мають достатньо повноважень для збору інформації. Без цього обленерго зможуть продовжити виведення коштів, отриманих від RAB-стимулювання, і не забезпечать кращої якості постачання електроенергії споживачам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.bbc.com/ukrainian/features-russian-43585214>
2. <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/01/25/633385/>
3. <https://ukurier.gov.ua/uk/news/uryad-proti-chinnih-rab-tarifiv/>
4. <https://ukurier.gov.ua/uk/news/uryadovij-kuryer-opublikuvav-78-postanov-nkrekp-pr/>

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Юрій Васильович Семенюк — студент гр. ЕС-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Semenyuk.yura@bk.ru.

Juliya V. Malogulko — Ph.D., docent, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Yuriy V. Semenuk — student of 1E-14 group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Semenyuk.yura@bk.ru.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІНИ ЗАСТАРІЛОГО КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ВАКУУМНИМИ ВИМИКАЧАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано темпи збільшення використання вакуумного обладнання в Енергосистемі України, розглянуті переваги та недоліки вакуумного обладнання, проаналізовано стан використання вакуумної апаратури за кордоном. Був зроблений висновок про технічні можливості, переваги та перспективи модернізації комутаційної апаратури в Україні.

Ключові слова: вакуумні вимикачі, застаріле обладнання, модернізація, Ретрофіт.

STUDYING THE REPLACEMENT OF THE OUTDATED SWITCHING EQUIPMENT ON VACUUM EQUIPMENT

Abstract

The paper analyzes the pace of increasing the use of vacuum equipment in the Energy System of Ukraine, examines the advantages and disadvantages of vacuum equipment, analyzes the state of the use of vacuum equipment abroad. A conclusion was drawn about the technical capabilities, advantages and prospects of modernization of switching equipment in Ukraine.

Keywords: vacuum switches, outdated equipment, modernization, Retrofit.

Вступ

Майбутнє комутаційної апаратури пов'язане з рішенням двох основних проблем - пошуком нових високоефективних технічних рішень і виведенням з експлуатації застарілих (і економічно невігідних) апаратів. Рішення обох проблем потребує великих фінансових витрат і часу, що й спричинює затримку в розв'язанні цих проблем.

Проблема заміни застарілих апаратів особливо гостра. За ступенем оснащення сучасними вимикачами вітчизняні енергосистеми відстають від закордонних приблизно на 30 років. Нині триває експлуатація вимикачів, що застаріли дуже давно (повітряні вимикачі серій ВВН, ВВШ, ВВ, оливні та бакові вимикачі типу МКП тощо). Одне з основних завдань в галузі комутаційної апаратури - підвищення її надійності. Надійність устаткування залежить як від розробки апаратів нових поколінь, так і від своєчасної заміни застарілих апаратів в експлуатації.

Іншим важливим завданням є зниження експлуатаційних витрат, створення устаткування, що не потребує обслуговування практично протягом усього терміну служби. У світі посилюються вимоги до екологічної чистоти устаткування, і рішення, які раніше вважалися прийнятними, нині переглядаються. У багатьох випадках завдання забезпечення екологічної чистоти висувається на перший план. Також, серед важливих завдань слід зазначити зниження енергоспоживання комутаційних апаратів (зокрема зменшення енергоспоживання приводами апаратів).

За останні 10 років у класах напруги 110 кВ і нижче у світі не вводилося в експлуатацію практично жодних інших вимикачів, крім вакуумних та елегазових. Вакуумні вимикачі нині, в основному, використовуються в середніх класах напруги. Таке широке використання вакуумних вимикачів зумовлене їхніми наступними перевагами:

- проста конструкція;
 - високий рівень надійності;
 - висока комутаційна зносостійкість;
 - малі розміри;
 - пожежо- та вибухобезпечність;
 - відсутність шуму при операціях;
 - відсутність забруднення навколишнього середовища;
 - малі експлуатаційні витрати.
- Та невеликою кількістю недоліків:
- Порівняно невеликі номінальні струми і струми відключення;

– можливість комутаційних перенапруг при відключенні малих індуктивних струмів.
Попит на вакуумні вимикачі можна відслідкувати на рисунку 1.

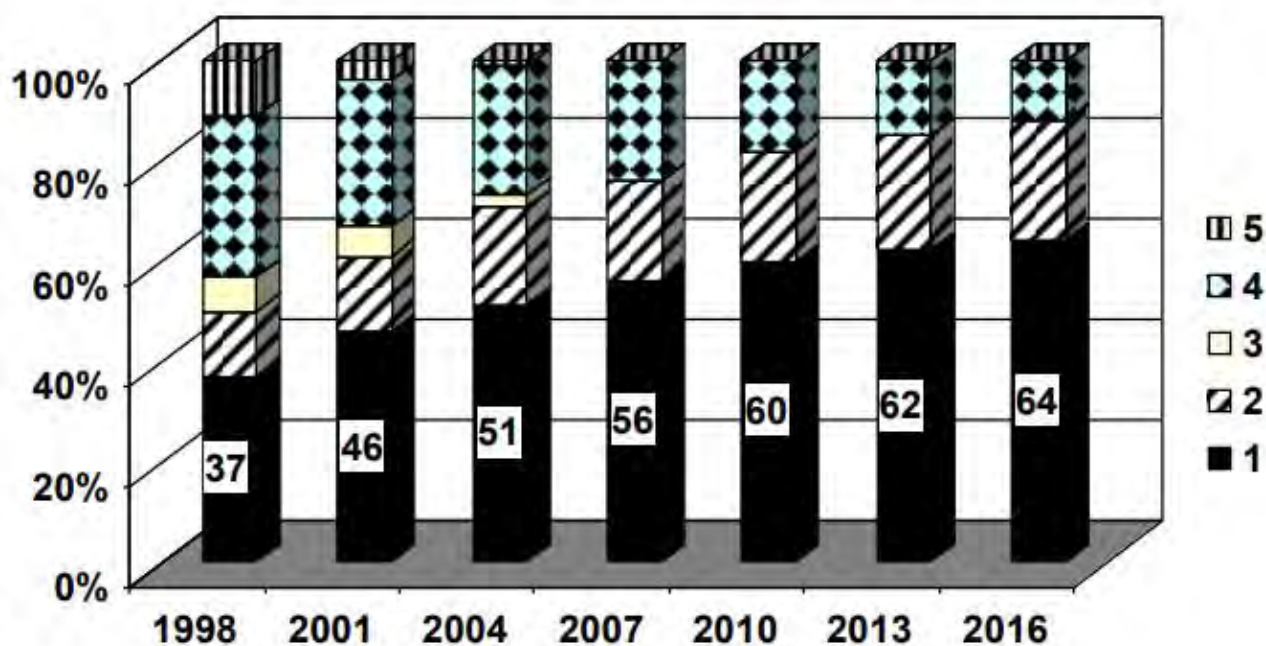


Рисунок 1 – Діаграма змін кон'юнктури світового ринку вимикачів напругою до 110 кВ (1-вакуумні; 2-елегазові; 3-електромагнітні; 4-малооливні; 5-оливні)

Результати дослідження

Досліджуючи світовий ринок вимикачів напругою до 110 кВ можна побачити чітку зміну частки впровадження вакуумного та елегазового обладнання. Якщо ж порівнювати елегазові та вакуумні вимикачі, то вакуумне обладнання має істотну перевагу в екологічній безпеці обладнання, що пов'язане з забезпеченням екологічної безпеки експлуатації елегазового обладнання. Це можна зрозуміти виходячи з стандартів Міжнародної Екологічної Комісії (МЕК), що жорстко регламентують правила роботи з новим електротехнічним елегазом (МЕК 60376), з повторно використовуваним електротехнічним елегазом (МЕК 60480) і також правила безпечної експлуатації елегазових електроапаратів (МЕК 62271). На даний час, в Україні, є досить велика кількість розподільних пристроїв 10 (6) кВ колишніх років випуску, а саме: 60-х, 50-х і кінця 40-х років минулого століття. Є багато масляних і електромагнітних вимикачів, які виробили свій ресурс та застаріли настільки, що не можуть гарантувати надійного електропостачання. Проте, ЗАТ «Високовольтний Союз» пропонує продовжити термін служби подібних КРУ і КСО завдяки спеціально розробленій програмі Ретрофіт. Програма Ретрофіт припускає заміну комутаційних апаратів, що відпрацювали свій ресурс на більш сучасні, надійні і довговічні вакуумні вимикачі серії ВР. Ретрофітом називають оновлення обладнання, що знаходиться в експлуатації, за допомогою сучасних компонентів без зміни конструкції та оболонки. Вже у багатьох країнах Ретрофіт став ключовою частиною державних програм з відновлення, модернізації та подальшого розвитку енергосистем. Оновлення енергосистем за програмою Ретрофіт вимагає мінімальних витрат і проводиться в найкоротші терміни, оскільки існуючі в модернізованих КРУ блокування і схеми релейного захисту не вимагають доопрацювання. Досвід експлуатації КРУ, відновлених завдяки програмі Ретрофіт, показав ефективність такого підходу, а вакуумні вимикачі виробництва підприємств ЗАТ «Високовольтний союз» найкращим чином підходять для цих цілей.

Висновки

Проаналізувавши об'єм та темпи заміни застарілого комутаційного обладнання, можна зробити висновок, що на напругу 110 кВ і нижче застосовуються в переважній більшості вакуумні вимикачі у зв'язку з наявними перевагами над іншими комутаційними апаратами. Станом на 2016 рік вакуумні

вимикачі займали 64% світового ринку вимикачів напругою до 110 кВ. На даний час в Україні є можливості для оновлення застарілого обладнання через програму Ретрофіт за підтримки ЗАТ «Високовольтний союз». При використанні цієї програми можна продовжити термін експлуатації обладнання як мінімум на 25 років, до того ж модернізацію можна здійснювати без порушення енергопостачання споживачів (за рахунок локальної модернізації кожної окремої комірки і використання резервних фідерів)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стандарти Міжнародної Економічної Комісії. Режим доступу: <https://www.iec.ch/>
2. Правила улаштування електроустановок. — Четверте видання, перероблене й доповнене — Х. : Форт, 2011. — 736 с.
3. Офіційний сайт ЗАТ «Високовольтний союз». Режим доступу : <http://www.rzva.ua/ru/index.htm>

Аніпченко Д.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1e15b.anipchenko@gmail.com

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: netrebskiy@ukr.net

Anipchenko Dmytro O. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: 1e15b.anipchenko@gmail.com

Supervisor: Netrebskiy V. V. – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: netrebskiy@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОКРЕМИХ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ТА ЇХ СУКУПНОСТЕЙ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ФЕС

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі представлений аналіз механізмів функціонування нової моделі оптового ринку електроенергії. Відповідно до якого робота станцій, що базуються на використанні відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), зокрема фотовольтаїчних електростанцій (ФЕС), повинна відбуватись по заявленому власником станції погодинному графіку генерування на добу наперед. З метою забезпечення точності прогнозованого графіка, було проведено дослідження, щодо визначення метеопараметрів, що в найбільшій мірі впливають на виробіток електроенергії на фотовольтаїчних електричних станціях.

Ключові слова: потужність генерації, фотоелектричні станції, прогнозування

RESEARCH ON THE EFFECT OF INDIVIDUAL METEO- PARAMETERS AND THEIR QUALITY ON THE FEC FUNCTIONING

Abstract

The paper presents an analysis of the mechanisms of functioning of the new model of the wholesale electricity market. According to the work of the stations based on the use of renewable energy sources (RES), the photovoltaic power plants (FES) should be performed according to the owner's announcement of the hourly generation schedule for the day beforehand. In order to ensure the accuracy of the predicted schedule, a study was carried out on the identification of meteorological parameters that have the greatest impact on the production of electric energy at photovoltaic power plants.

Keywords: generation power, photovoltaic stations, forecasting

Вступ

В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії [1], за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії [2].

Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС [3] може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи.

Для забезпечення функціонування енергоринку України, враховуючи позитивну тенденцію щодо розбудови ФЕС, очікуються зміни умов їх функціонування з введенням практики попередніх заявок на генерування для узгодження їх сумісної роботи з традиційними джерелами енергії.

Реалізація такого механізму зумовлює необхідність розроблення ефективної системи для короткотермінового погодинного прогнозування обсягів електроенергії, генерованих ФЕС та режимів їх роботи.

З метою виконання зобов'язань відповідно до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства, українські державні органи влади разом із Секретаріатом Енергетичного Співтовариства (ECS) розпочали процес транспозиції Третього Енергетичного Пакету, згідно якого було прийнято новий закон «Про ринок електричної енергії України». Відповідно до положень закону, для виробників, які виробляють електричну енергію на об'єктах електроенергетики, що використовують енергію вітру і сонячного випромінювання, для яких встановлено «зелений тариф», плата за небаланс встановлюється наступним чином: до 31 грудня 2019 року — 0 %, з 1 січня 2020 року — 10 %, з 1

січня 2021 року — 20 %, з 1 січня 2022 року — 40 %, з 1 січня 2023 року — 60 %, з 1 січня 2024 року — 80 %, з 1 січня 2025 року — 100 %.

Таким чином, з виробника електричної енергії з ВДЕ щоразу стягується/зараховуються вартість небалансів за ціною небалансу помноженою на обсяги небалансу, які розраховуються як різниця між власним прогнозом на добу наперед і фактичними вимірними обсягами. Для підвищення точності такого прогнозу необхідно визначити які метеопараметри в найбільшій мірі впливають на виробіток електроенергії на електростанціях на базі ВДЕ, зокрема ФЕС.

Метою роботи є аналіз впливу метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед.

Результати дослідження

Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що визначальним параметром для оцінювання генерованої активної потужності є сонячна радіація, менш впливовою є температура панелі.

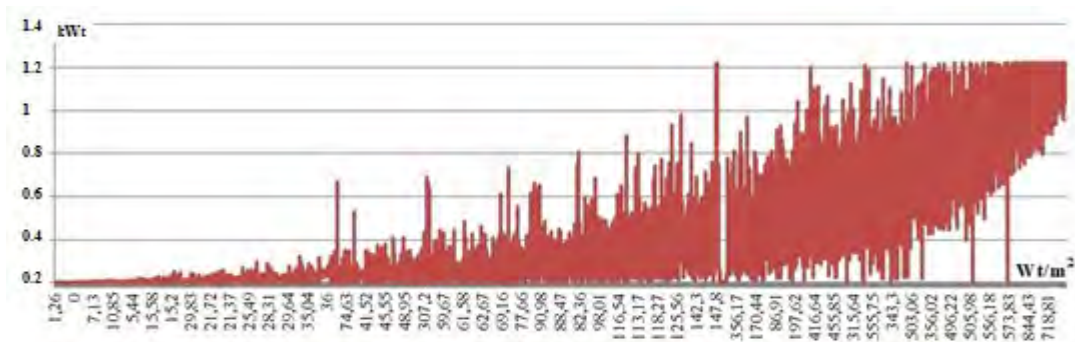


Рисунок 1.1 – Залежність активної потужності від сонячної радіації на поверхні панелі (протягом року)

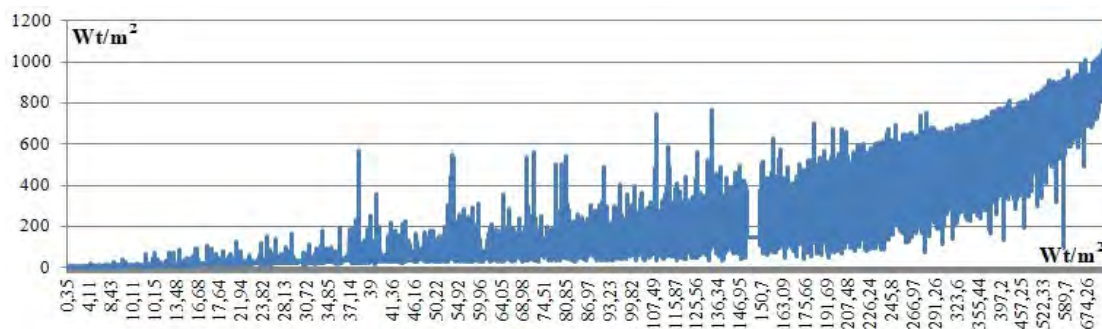


Рисунок 1.2 – Залежність сонячної радіації на поверхні землі від сонячної радіації на поверхні панелі (протягом року)

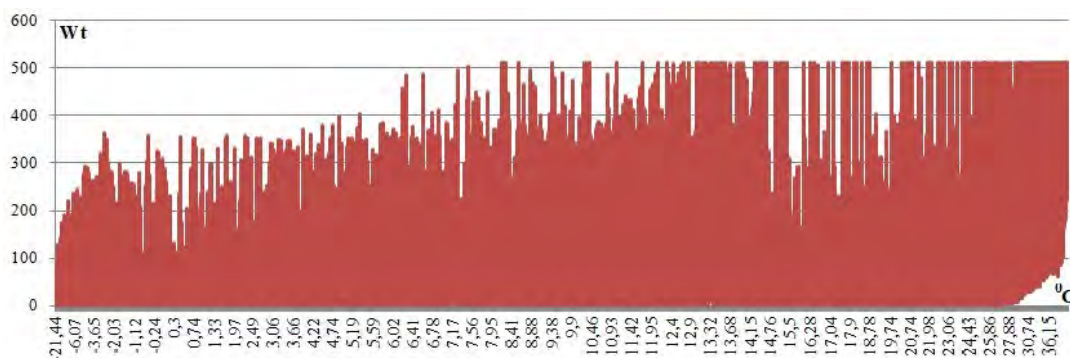


Рисунок 1.3 – Залежність активної потужності від температури панелі (протягом року)

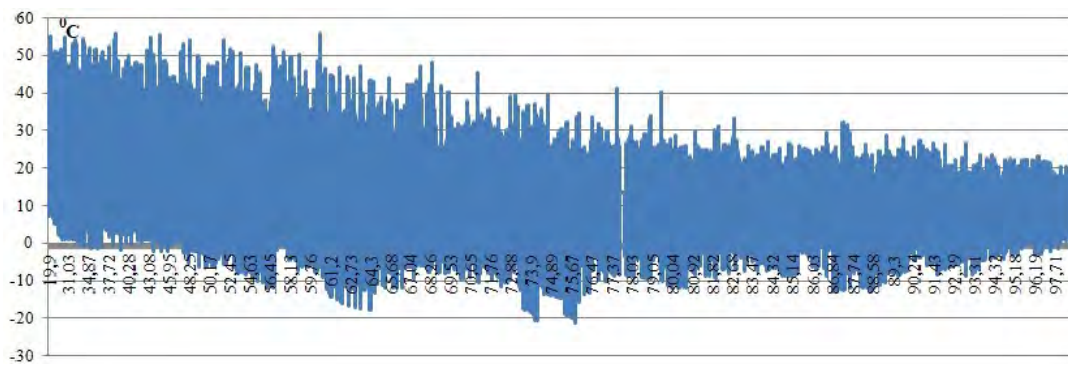


Рисунок 1.4 – Залежність температури панелі від вологості (протягом року)

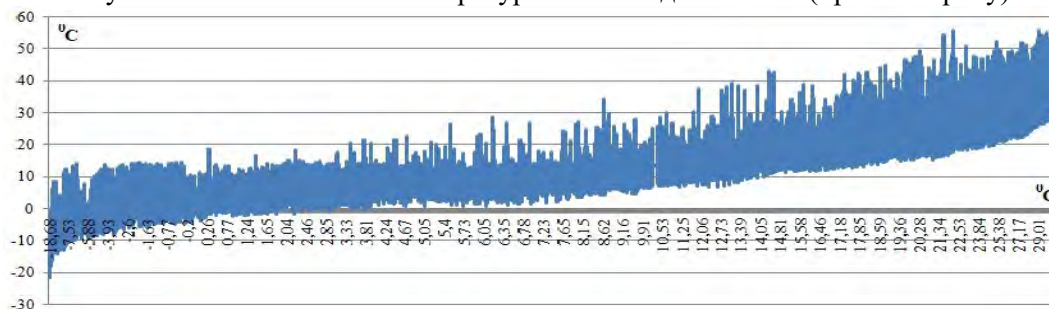


Рисунок 1.5 – Залежність температури панелі від температури навколишнього середовища (протягом року)

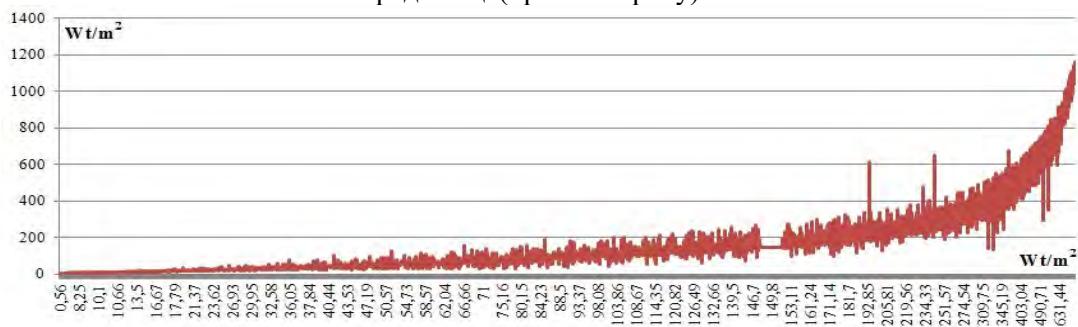


Рисунок 1.6 – Залежність сонячної радіації на поверхні панелі від сонячної радіації на поверхні землі (протягом березень-квітень-травень)

Оскільки зробити прогноз сонячної радіації на поверхні панелі і її температури безпосередньо не можливо, то необхідно визначитись з додатковими параметрами, за якими можна оцінити визначальні метеопараметри. Отримані метеопараметри були на фотоелектричній станції, що встановлено на будівлі факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ (рис.1.7-1.8)



Рисунок 1.7 – Фотоелектрична станція 1.6кВт на будівлі ФЕЕЕМ ВНТУ



а)



б)

Рисунок 1.8 – Метеопост на ФЕС ВНТУ а) піранометр Kipp&Zonen, б) загальний вигляд метеопосту

На це питання регресійний аналіз дозволяє отримати відповідь. Відповідно до впливових груп сонячну радіацію на поверхні панелі можна визначити за радіацією на поверхні землі; температуру панелі за температурою навколишнього середовища, швидкістю вітру і вологістю.

Висновки

Досвід проведеної роботи показує, що серед метеопараметрів найбільш впливовими є сонячна інсоляція, температура, швидкість вітру та вологість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yandulskyy O.S Optimal Voltage Regulation in the distribution grid of dispersed generation sources based on their belonging to one owner using active power reserve / O.S Yandulskyy, G.A Trunina, A.B Nesterko // Herald Kremenchuk University. - 2015. - Vol. 2. - P. 50-54. - Access: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu_2015_2_9
2. Burykin, O.B. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O.B. Burykin, J.V. Malogulko, Y.V. Tomashevskiy, P. Komada, N.A. Orshubekov, M. Kozhamberdiyeva, A. Sagymbekova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. - R. 93. - NR 3/2017. - P. 97-102. - ISSN 0033-2097. - doi:10.15199/48.2017.03.23
3. Lezhniuk, PD Determining optimal power reserve to ensure the reliability of carrying local electrical system / PD Lezhniuk, VA Komar, S. Kravchuk // Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies. - Kharkov: NTU "KPI". - 2016. - № 42 (1214). - P. 69-75. - Doi: 10.20998 / 2413-4295.2016.42.11.

Богатир А.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Науковий керівник: **Комар Вячеслав Александрович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Bogatyr Andrey O - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Komar Vyacheslav O.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: kvo1976@ukr.net.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ЗБОРУ ДАНИХ МЕТЕОПОСТУ НА БАЗІ ВНТУ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Для розроблення математичної моделі прогнозування генерування фотоелектричних станцій, необхідно опрацьовувати велику кількість даних метеопараметрів та генерування потужності ФЕС, для цього було розроблено систему збору та збереження метеопараметрів з метеопосту на базі ФЕС ВНТУ.

Ключові слова: метеопараметри, метеосервіси, прогнозування генерування фотоелектричних станцій.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE DOCUMENT FOR DETAILS OF METEOPOST ON THE BASIS OF VNTU

Abstract

To develop a mathematical model for predicting the generation of photovoltaic stations, it is necessary to process a large number of meteorological parameters and generation of PV power; for this purpose, a system for collecting and storing meteorological parameters from a meteorological station on the basis of the PV VNTU was developed.

Keywords: meteoroparameters, meteoservices, forecasting of the generation of photovoltaic stations

Вступ

В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії [1], за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії [2].

Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС [3] може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи.

Результати дослідження

Згідно статуту проекту «Розробка системи прогнозування виробітку електричної енергії ФЕС» на базі кафедри електричних станцій і систем ВНТУ встановлено метеопост, що дає можливість знімати наступні параметри:

- Потужність сонячної інсоляції (Вт/м^2);
- Температура сонячного модуля (С);
- Температура фотоелектричної панелі (С);
- Температура навколишнього середовища (С);
- Атмосферний тиск (Па);
- Вологість (%);
- Швидкість вітру (м/с);

Для спрощення отримання даних вони виводять на веб сторінку, що знаходиться за адресою <http://127.0.0.1/>. Загальний інтерфейс зображений на рисунку 1.

Поточні показники метеостанції ВНТУ							
Дата/Час	Рінс,Вт/м2	Тмод,С	Тпан,С	Тнс,С	Тиск, Па	Волог, %	Шв.вітру, м/с
21.07.2018 14:28:37	31,6630492716919	20,4	20,9	19,6	977,1	91,1	0

Рисунок 1 – Web-сторінка виводу метеопараметрів

Проаналізувавши структуру сторінки, було розроблено програму, по збору, парсингу та запису даних в локальну базу даних. Програма працює за наступним алгоритмом (рисунок 2)

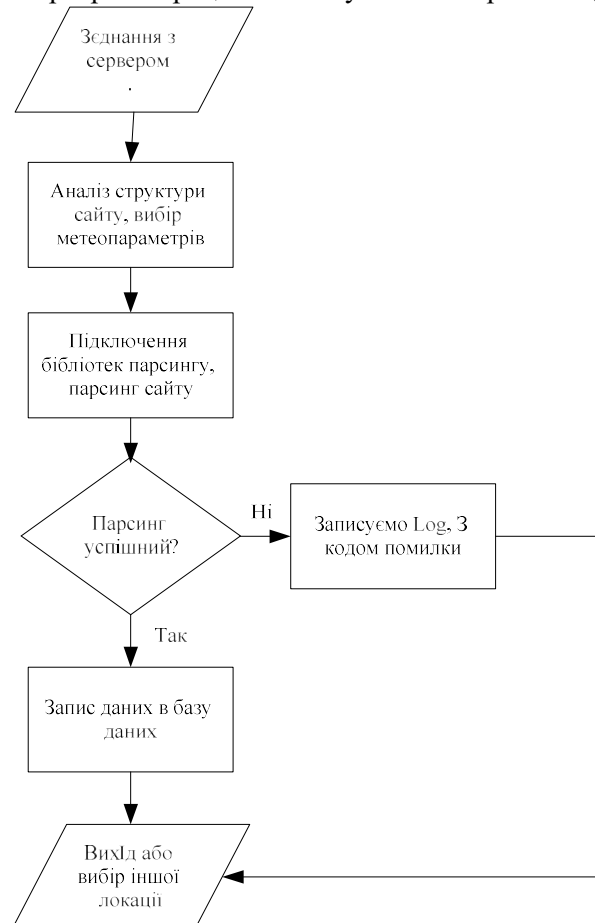


Рисунок 2 – Блок-схема роботи алгоритму програми збору метеопараметрів з метеопосту ВНТУ

Розроблена програма створена у вигляді консольного додатку яких легко встановлюється на ОС Windows, а далі за допомогою «Планування задач», може викликатись з заданною дискретністю.

Висновки

Враховуючи залежність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС, від метеопараметрів, було визначено такі, що найбільше впливають на погодинний виробіток електроенергії ними.

Для збору таких метеопараметрів розроблено програмний засіб збереження метеопараметрів з метеопосту встановленого на базі ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. V. N. Dmitrienko; B. V. Lukutin, «Metodika otsenki energii solnechnogo izlucheniya dlya fotoelektrostantsii [Method for estimating solar radiation energy for photovoltaic plants],» Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, т. 328, № 5, pp. 49-55, 2017.

2. D. N. Karamov, «Matematicheskoe modelirovanie solnechnoy radiatsii s ispolzovaniem mnogoletnih meteorologicheskikh ryadov, nahodyaschihsya v otkryitom dostupe,» *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, т. 328, № 6, pp. 28-37, 2017.

3. M. Chaabene, M.B. Ammar, Neuro-fuzzy dynamic model with Kalman filter to forecast irradiance and temperature for solar energy systems, *Renew. Energy* 33 (2008) 1435e1443.

Денисов Г.І. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Науковий керівник: **Лесько Владислав Олександрович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Denysov Grigoriy I - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Lesko Vladyslav O.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail:

АНАЛІЗ СЕРВІСІВ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИ- ЧНИХ СТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Для задач прогнозування фотоелектричних станцій проаналізовані джерела основних метеопараметрів. Оскільки точність системи прогнозування напряму залежить від точності прогнозу метеопараметрів було визначено постачальників, що дають точні і необхідні параметри.

Ключові слова: метеопараметри, метеосервіси, прогнозування генерування фотоелектричних станцій.

METEOPARAMETERS SERVICE ANALYSIS FOR THE PROBLEM OF FORECASTING OF PHOTOELECTRIC STATION GENERATION

Abstract

For the prediction problems of photovoltaic stations, the sources of the basic meteorological parameters have been analyzed. Since the precision of the forecasting system is directly dependent on the accuracy of the weather forecast, suppliers have been identified that provide the exact and necessary parameters..

Keywords: meteoparameters, meteoservices, forecasting of the generation of photovoltaic stations

Вступ

В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії [1], за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії [2].

Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС [3] може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи.

Результати дослідження

Незважаючи на величезний вибір інтернет-сайтів про погоду, лише деякі з них використовують власні прогнози. Наприклад, погоду на сайті Sinoptic.ua не можна уточнити у Yandex, оскільки обидва сервіси використовують дані фінської метеорологічної служби Foreca. Також навряд чи істотні відмінності в прогнозі знайдуться у британської BBC і російського гр5. Обидва сервіси користуються даними британського метеорологічного бюро MetOffice.

Американські сервіси такі як, Weather Underground, AccuWeather, Weather Channel будують свої прогнози на основі американської чисельної моделі прогнозування GFS (Global Forecast System).

На сьогодні в світі існує три головні глобальні чисельні моделі прогнозування погоди, або гідродинамічні моделі атмосфери. Тобто дані з усіх метеостанцій світу, супутників, аналізуються, збираються й обробляються трьома способами на основі нелінійних рівнянь.

Foreca - один з провідних світових постачальників «погодного» контенту використовує модель ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Ця модель є найновішою, швидко розвивається та спеціалізується на довгострокових прогнозах.

Модель UkMet використовується метеорологічною службою MetOffice – Британського урядового метеобюро. Дана модель спеціалізується на короткостроковому прогнозі.

Щодо американської моделі GFS, то вона має найбільше покриття (практично вся земна куля). Модель GFS оперується NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – Національним центром атмосферних і океанічних досліджень США. Зараз вихідні дані GFS знаходяться у відкритому безкоштовному доступі на американських серверах.

Використання даної моделі для широт України не є доцільним, оскільки вона не враховує снігові покриви.

Багато метеоресурсів комбінують дані основних глобальних моделей та використовують різноманітні додаткові «поправки на вітер» від провідних світових метеорологічних організацій.

Інші ресурси, наприклад, Gismeteo, розробляють власні унікальні моделі. Є й альтернативні моделі. Приміром, український Meteorprog будує свій прогноз на основі перспективної моделі WRF – що є похідною моделлю GFS.

1. <http://www.gismeteo.ua>

У базі сайту понад 15 000 міст України й близько 50000 міст світу, в компанії використовують власну унікальну модель прогнозування погоди на основі даних GFS і UkMET.

2. <http://sinoptik.ua>

Сайт надає інформацію про погоду в Україні у всіх 29815 населених пунктах та для 104 000 міст світу. Прогнози на Sinoptic беруть у Foreca, а інформацію про фактичну погоду - в українського гідрометцентру.

3. <http://www.meteorprog.ua>

Прогноз для 15 000 міст світу і 1209 населених пунктів України складається на власному високопродуктивному комп'ютерному кластері Meteorprog на основі чисельної моделі прогнозу погоди WRF (Weather Research and Forecasting).

4. <http://pogoda.yandex.ua>

Дані для 12146 міст у 228 країнах для Яндекс надає фінська служба Foreca, що складає прогноз погоди за моделлю ECMWF. Окрім Yandex, клієнтами Foreca є Google, Microsoft, AOL, фінські та шведські авіакомпанії та безліч інших організацій.

5. <http://www.meteo.gov.ua/>

Сайт українського Гідрометцентру - урядового синоптичного джерела, яке постачає офіційні дані для українських ЗМІ. Прогноз в Гідрометцентрі складається на основі моніторингу 10 000 наземних метеостанцій, 189 з яких знаходяться в Україні, 1000 аерологічних станцій на суші та на кораблях, 100 дрейфуючих станцій, 600 буїв, а також даних із космічних супутників.

6. Worldweatheronline.com

Мережа американської метеорологічної служби Worldweatheronline охоплює понад 2 мільйони локацій по всьому світу. Для розрахунку прогнозів погоди тут використовують власну глобальну модель: ансамбль ECMWF, американської NOAA GFS2, дані Всесвітньої метеорологічної організації, дані із супутників NASA, дані японської моделі JMA - Japan Meteorological Agency.

7. <http://www.intellicast.com>

Професійний американський метеосайт використовує результати моделі з охопленням по всій земній кулі.

8. <http://www.bbc.co.uk/weather/>

Погодна служба BBC від одного з провідних світових інформативних агентств і надає інформацію про погоду за ліцензією британської метеорологічної служби MetOffice, тобто використовує прогностичну модель Ukmet. Зараз прогноз складається для 5000 міст світу.

9. www.weather.com

Сервіс американського телевізійного каналу про погоду The Weather Channel (TWC). Використовують прогнозну модель GFS. Погоду від weather.com ретранслює пошуковик Yahoo.

10. <http://www.accuweather.com>

Американська комерційна погодна служба на основі моделі GFS з 2 мільйонами локацій по всьому світу в базі даних. Зараз служба спеціалізується на платних сервісах для метеорологів, продажем прогнозного контенту у вигляді файлів XML й розробкою зручного «погодного» софту для PC, смартфонів та планшетів.

Висновки

Враховуючи залежність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС, від метеопараметрів, було визначено такі, що найбільше впливають на погодинний виробіток електроенергії ними.

Для отримання точних результатів аналізувались дані різних метеосервісів та порівнювались з виміряними на метеопості, що встановлений безпосередньо на станції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Buslavets O. Evalution and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko // Eastern-European journal of enterprise technologies – 2015. – No. 2/8 (74). – P. 35-41. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881
2. Lezhniuk P.D. Evaluation of probability characteristics of solar power generation in the problem of intellectualization of local electric systems / P.D Lezhniuk, V.A Komar, S.V. Kravchuk // Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies. - Kharkov: NTU "KPI". - 2016. - №18 (1190). - S.92-100. - Doi: 10.20998 / 2413-4295.2016.18.14.
3. Закон України про «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>

Гасич В.В. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Науковий керівник: **Лесько Владислав Олександрович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Gasich Vladyslav V - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Lesko Vladyslav O.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail:

ТЕХНОЛОГІЇ ГАСІННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ В ЕЛЕГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто принцип гасіння електричної дуги в елегазових вимикачах: конструкція елегазового вимикача, його види, переваги та недоліки. Наведені переваги застосування елегазових вимикачів в енергетичній системі.

Ключові слова: вимикач, елегаз, гасіння дуги, енергетична система.

ELECTRIC POWER GASIFICATION TECHNOLOGIES IN THE ELEGAZA ENVIRONMENT

Abstract

Considered the principle of quenching electric arc in sulphur hexafluoride switch: construction sulphur hexafluoride switch, his views, advantages and disadvantages. The benefits are given sulphur hexafluoride in energy system.

Keywords: Switch, sulphur hexafluoride, extinguishing of arc, energy system

Вступ

Комутаційні апарати є основним обладнанням розподільчих мереж, які відповідають за надійність підстанцій, ліній електропередач та розподільчих пристроїв у всіх режимах експлуатації. З 1980 року почали розроблятися елегазові вимикачі які мають також великі перспективи при напрузі 110кВ до 1150кВ і струмах відключення до 80кА.

Елегазовий вимикач – це високовольтний комутаційний апарат, що використовує елегаз як середовище гасіння електричної дуги; він призначений для оперативного включення та відключення електричного струму електрообладнання в енергосистемі, в нормальних або аварійних режимах.

Результати дослідження

У технічно розвинених країнах елегазові вимикачі високої і надвисокої напруги (110 – 1150 кВ) практично витіснили всі інші типи комутаційних апаратів [1]. На сьогоднішній день, провідні зарубіжні фірми перейшли на виготовлення елегазових вимикачів для відкритих розподільчих установок на класи напруги 110кВ і вище.

За способом гасіння електричної дуги в елегазових вимикачах розрізняють: автокомпресійні, тобто з одним ступенем тиску, елегазові вимикачі з електромагнітним дуттям, в яких гасіння дуги забезпечується обертанням її по кільцевим контактам під дією поперечного магнітного поля, з пристроєм поздовжнього дуття, в якому попередньо стиснений газ надходить до резервуара з відносно високим тиском елегазу, тобто елегазові вимикачі з двома ступенями тиску, з автогенеруючим дуттям, в якому підвищення тиску елегазу відбувається за рахунок розігріву газового середовища дугою відключення в спеціальній камері. Всі ці способи гасіння залежать від номінальної напруги, номінального струму відключення, та експлуатаційних особливостей у місцях установки.

Робота елегазових дугогасних пристроїв на відміну від повітряних дугогасних пристроїв при гасінні дуги проходження газу через сопло відбувається не в атмосферу, а в замкнутий об'єм камери, заповнений елегазом при відносно невеликому надлишковому тиску. При вимкненні між нерухомим і рухомим контактами виникає електрична дуга. Рухомий контакт за допомогою перегородки жорстко закріплений в циліндрі, який закінчується соплом із фторопласта. Поршень нерухомий. При вимкненні елегаз стискається, і проходячи через сопло, омиває дугу і створює сприятливі умови для її ефективного гасіння. Дугогасильний пристрій розташовується в герметичному баці з тиском елегазу $2\text{--}2,8 \times 10^5 \text{ Па}$, що дозволяє одержати необхідну електричну міцність внутрішньої ізоляції.

Дугогасильна здатність елегазу, як і будь-якого іншого газу, найбільш ефективно використовується в тому випадку, коли потік газу з великою швидкістю обтікає палаючу дугу.

До переваг елегазових вимикачів можна віднести: можливість встановлення на всі класи напруг понад 1 кВ; відносно малі габарити і маса відповідно до маломасляних і масляних вимикачів; пожежо та вибухобезпечність; швидкість дії; висока вимикаюча здатність; надійне відключення малих індуктивних та ємнісних струмів в момент переходу струму через нуль без зрізу і виникнення перенапруг; безшумна робота; можливість створення серій з уніфікованими вузлами; придатність для зовнішньої і внутрішньої установки, при доцільній експлуатації елегаз не старіє і не вимагає такого ретельного догляду за собою, як масло.

До недоліків елегазових вимикачів можна віднести: висока вартість обладнання і витрати на експлуатацію, оскільки вимоги що до якості елегазу дуже високі; комутаційний ресурс елегазового вимикача нижче, ніж у аналогічного вакуумного вимикача; необхідні високоякісні ущільнення резервуарів і магістралей, так як елегаз дуже текучий.

Висновки

Елегазовий вимикач є недешевим комутаційним апаратом, а також потребує спеціального обслуговування, має найвищу ефективність та надійність серед інших вимикачів. Тому можна зробити висновок чому саме елегазові вимикачі замінюють повітряні, масляні та маломасляні комутаційні апарати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електричні апарати: підручник / [Бржецький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О.Є.]. – Херсон ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.
2. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения: учебное пособие / В.В. Афонин, К.А. Набатов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. унта, 2009. – 96 с.

Гончарук Владислав Петрович – студент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: Собчук Наталія Валеріївна – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Honcharuk Vladyslav P. – student Departament of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: Sobchuk Natalia V. – Cand. Sc. Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПОГОДИННОГО ПРОГНОЗУ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІЙ СТАНЦІЇ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблена програмна реалізація погодинної системи прогнозування генерування фотоелектричних станцій на добу наперед.

Ключові слова: метеосервіси, прогнозування, генерування фотоелектричних станцій.

PROGRAM IMPLEMENTATION OF THE MODERN FORMAT FORECASTING OF ELECTRICITY PRODUCTION AT PHOTOELECTRIC STATION

Abstract

The program realization of an hourly forecasting system for generation of photovoltaic stations is developed a day before.

Keywords: meteoservices, forecasting, generation of photovoltaic stations

Вступ

В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотоелектричні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії, за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії. Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів генерування ФЕС може негативно впливати на нерівномірність суммарного добового графіка навантаження електричних мереж [1], ускладнення планування режимів роботи електроенергетичних систем, а також впливати на стійкість її роботи.

Для забезпечення функціонування енергоринку України, враховуючи позитивну тенденцію щодо розбудови ФЕС, очікуються зміни умов їх функціонування з введенням практики попередніх заявок на генерування для узгодження їх сумісної роботи з традиційними джерелами енергії. Реалізація такого механізму зумовлює необхідність розроблення ефективної системи для короткотермінового погодинного прогнозування обсягів електроенергії, генерованих ФЕС та режимів їх роботи.

Результати дослідження

Відповідно до положень закону про ринок електроенергії України [2], для виробників, що виробляють електричну енергію на базі об'єктів відновлювальної енергетики, що використовують енергію вітру і сонячного випромінювання, для яких встановлено «зелений тариф», плата за небаланс встановлюється наступним чином: з 1 січня 2021 року - 10 відсотків, з 1 січня 2022 року - 20 відсотків, з 1 січня 2023 року - 30 відсотків, з 1 січня 2024 року - 40 відсотків, з 1 січня 2025 року - 50 відсотків, з 1 січня 2026 року - 60 відсотків, з 1 січня 2027 року - 70 відсотків, з 1 січня 2028 року - 80 відсотків, з 1 січня 2029 року - 90 відсотків, з 1 січня 2030 року - 100 відсотків. Таким чином, з виробника електричної енергії з ВДЕ щоразу стягується/зараховуються вартість небалансів за ціною небалансу помноженою на обсяги небалансу, які розраховуються як різниця між власним погодинним прогнозом на добу наперед і фактичними виміряними обсягами.

В [3] визначено метеопараметри на основі яких побудовано математичну модель погодинного прогнозування виробітку електроенергії на ФЕС. В свою чергу інтерфейсну частину програмної реалізації математичної моделі представлено на рис.1.



Рисунок 1– Інтерфейс програмного додатку прогнозування виробітку електроенергії на ФЕС

Загальний інтерфейс програми складається з 5 основних частин : 1 – модуль зчитування даних з файлу, з розширенням txt, csv. 2- модуль завантаження даних з веб-сервісу прогнозних даних, в даному випадку використовується meteoblue, та/або локального файлу. 3 - вікно виведення результатів прогнозування по заданим метеопараметрам. 4 – модуль обробки та зберігання результатів прогнозування. 5- модуль графічного представлення результатів (рис.2).

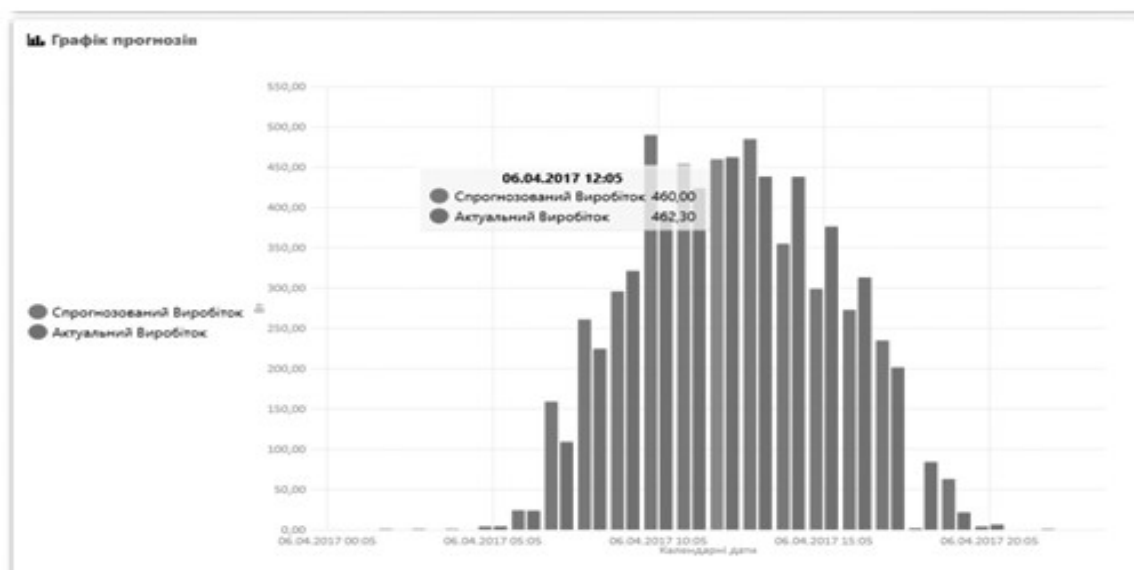


Рисунок 2– Графічне представлення порівняння заявленого графіка генерування та фактично виміряного виробітку електроенергії на ФЕС

Висновки

Розроблений програмний засіб дозволяє прогнозувати погодинний добовий графік генерування ФЕС на наступну добу з досить високою точністю. Що стосується кількості електроенергії, що прогнозовано має бути згенерована та електроенергії фактично згенерованої за добу, різниця таких даних не перевищує 5%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.І. Тугай, В.В. Козирський, О.В. Гай, В.М. Бодунов. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів, Технічна електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 63-67. ISSN 1607-7970
2. Закон України про «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
3. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В., Дідіченко Є. С. Аналіз метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед. Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2017. - № 1 (6). – С. 27-31.

Коваль К.А. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Koval Kostyantyn A - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Netrebskiy Volodymyr V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail:

ОЦІНЮВАННЯ ІМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ РІЗНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проаналізовано закон розподілу генерування ФЕС для певного проміжку часу доби протягом року. Запропоновано математичну модель генерування ФЕС у вигляді гаусових сумішей. Отримано основні характеристики імовірного характеру генерування сонячної електростанції.

Ключові слова: потужність генерації, фотоелектричні станції, графік навантаження, ємність накопичувача, гаусові суміші розподілу, імовірнісні характеристики

EVALUATION OF IMPORTANT CHARACTERISTICS OF PHOTOELECTRIC STATION CREATION OF DIFFERENT REGIONS OF UKRAINE

Abstract

The law of distribution of generation of FES is analyzed for a certain period of time of day during the year. A mathematical model for generating PES in the form of Gaussian mixtures is proposed. The main characteristics of the probabilistic nature of solar power generation are obtained.

Keywords: generation power, photovoltaic stations, load schedule, storage capacity, Gaussian mixes of distribution, probabilistic characteristics.

Вступ

Графік генерування електричної енергії фотовольтаїчними електростанціями безпосередньо залежить від природних особливостей регіону, в якому вони розташовані. Ця особливість ФЕС вносить певні проблеми під час розв'язання задачі забезпечення надійного і якісного електропостачання споживачів. Тому, постає задача зменшення нестабільності такого генерування за рахунок встановлення накопичувача електроенергії.

Визначаючи пріоритетність розв'язання задач в ЛЕС, відмітимо балансову надійність як надійність ЛЕС, коли її розрахункова модель визначається балансом споживання і генерування електроенергії з врахуванням зовнішнього надходження енергії. Від того, якими способами і засобами забезпечується балансова надійність, залежить як успішно розв'язуються інші задачі [1-4]. Від балансу активної і реактивної потужності в ЛЕС залежать її техніко-економічні показники [5]. На процес балансування потужності в ЛЕС суттєво впливає нестабільність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС і ВЕС. Нестабільність генерування ФЕС і ВЕС компенсується потужністю, яка поступає в ЛЕС з ЕЕС. В умовах сьогодення забезпечення балансу лежить суто на централізованій системі електропостачання [6]. Проте, поступово відбуваються зміни в механізмах функціонування енергоринку України, що спонукатимуть власників ВДЕ, працювати за заданим графіком. Для роботи за заданим графіком, потрібно перш за все дослідити потенційні можливості джерел генерування, щодо покриття графіка навантаження. На основі статистичних даних по генеруванню, якщо станція вже експлуатується, або прогнозних по виробітку електроенергії, якщо станція ще не введена в експлуатацію, можна отримати вихідну інформацію щодо визначення потужності накопичувача, як елемента дотримання заданого графіка генерування, а отже і балансування в електричній мережі до якої приєднана станція.

Метою роботи є визначення імовірнісних характеристик генерування фотоелектричних станцій різних регіонів України на основі аналізу їх закону розподілу.

Результати дослідження

На рис. 1, як приклад, в розрізі кожної доби в проміжок часу 12:30–13:00 протягом року для підстанції «Ямпіль 110/10 кВ» побудовані гістограми густин генерування і споживання потужностей (потужності подані у відносних одиницях, де за базис прийнято їх номінальні значення). З рис. 1 видно, що розподіл генерування ФЕС та навантаження – полімодальний. В тих випадках, коли «форму» розподілу не вдається описати одним розподілом, то її можна описати за допомогою суміші розподілів. Серед інших, можна виділити модель гаусової суміші, яка представляє собою зважену суму k компонентів, густина розподілу якого має вигляд [7]:

$$p(x) = \sum_{j=1}^m w_j p_j(x), \quad (1)$$

де $p_j(x)$ – функція густини розподілу j -тої компоненти суміші; w_j – вага j -тої компоненти суміші

(апріорна імовірність) $\sum_{j=1}^k w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1 \dots k$ – кількість компонент в суміші.

Функція густини розподілу має вигляд:

$$p_j(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{k}{2}} |\zeta_j|^{\frac{1}{2}}} e^{\left(-\frac{1}{2} (x - \mu_j)^T \zeta_j^{-1} (x - \mu_j) \right)},$$

де μ_j – математичне очікування j -тої компоненти; $|\zeta_j|$ – визначник коваріаційної матриці j -тої компоненти суміші, k – кількість компонент в суміші.

В задачі визначення розподілу випадкової величини на певному проміжку часу загальна математична модель розподілу буде описуватись рівнянням (1). Розщеплення гаусової суміші пропонується проводити за допомогою методу оцінки-максимізації (expectation-maximization) правдоподібності. ЕМ-алгоритм складається з ітераційного повторення двох кроків. На Е-кроці вираховуємо очікуване значення (expectation) вектора прихованих параметрів G за поточним наближенням вектора параметрів Θ . На М-кроці вирішується задача максимізації правдоподібності (maximization) і знаходиться наступне наближення вектора Θ , за поточними значеннями векторів G та Θ .

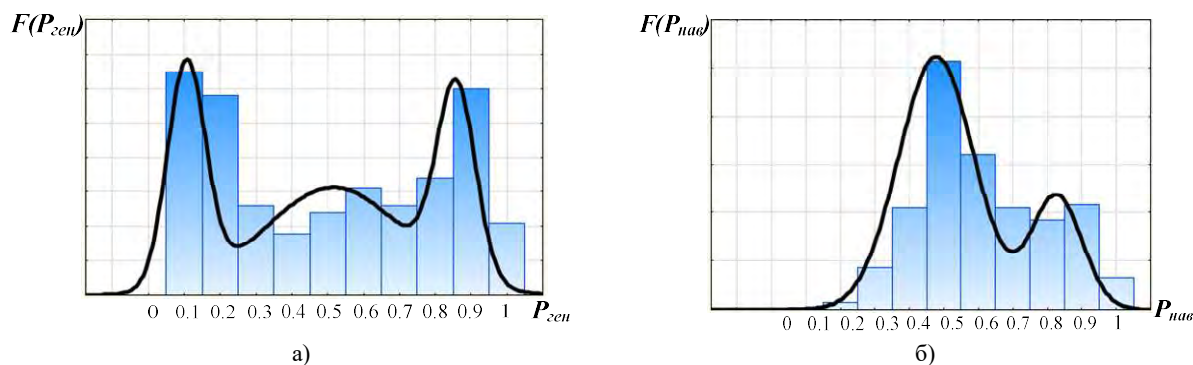


Рис. 1. Модель гаусової суміші для потужності генерування ФЕС (а) та для навантаження ЛЕС (б)

Е-крок. Позначимо густину імовірності як $p(x, \theta_j)$, того що об'єкт x отриманий з j -тої компоненти суміші. Згідно з формулою умовної ймовірності:

$$p(x, \theta_j) = p(x) P(\theta_j | x) = w_j p_j(x). \quad (2)$$

Позначимо, $g_{ij} = P(\theta_j | x_i)$ – невідома апостеріорна імовірність того, що x_i отриманий з j -тої компоненти суміші. Приймаємо ці величини в якості прихованих змінних, тобто $G = (g_{ij}) = (g_1 \dots g_j)$, де g_j – j -й стовбець матриці G .

М-крок. Визначивши за формулою Байєса значення прихованих змінних g_{ij} , вирішуємо оптимізаційну задачу:

$$Q(\Theta) = \ln \prod_{i=1}^m p(x_i) = \sum_{i=1}^m \ln \sum_{j=1}^k w_j p_j(x_i) \rightarrow \max(\Theta) \quad (3)$$

Результатом розв'язування оптимізаційної задачі є імовірнісні характеристики процесів генерування та навантаження за критерієм максимуму правдоподібності. Маючи такі характеристики, визначено закон розподілу випадкових потужностей генерування ФЕС (рис. 1а) та навантаження ЛЕС (рис. 1б). На основі визначених характеристик, маючи вагу кожної компоненти генерування та навантаження, можна визначити імовірність видачі певної потужності генерування ФЕС та навантаження.

Висновки

Нестабільність генерування фотовольтаїчних електростанцій на протязі доби і відповідно негативний вплив на балансову надійність ЛЕС може компенсуватися резервним джерелом електроенергії. В роботі, на основі визначених імовірнісних характеристик процесів генерування ФЕС та електроживлення ЛЕС, запропоновано метод визначення ємності накопичувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov, V. A. Algorithm mnohokryteryalnoho control regimes work microgrids / V. Popov, O. Yarmoliuk, P. Zamkovoy // East european journal of advanced technology. - 2014. - № 2. - R. 61-68. - Doi: 10.15587 / 1729-4061.2014.23158.
2. Kirilenko AV control mode of power from renewable energy sources in terms of frequency change in the power / O.V. Kirilenko, V.V. Pavlovsky, A.S Yandulskyy, S.A Stelyuk // Technical electrodynamics. - 2012. - № 4. - P. 52-57.
3. Yandulskyy O.S Optimal Voltage Regulation in the distribution grid of dispersed generation sources based on their belonging to one owner using active power reserve / O.S Yandulskyy, G.A Trunina, A.B Nesterko // Herald Kremenchuk University. - 2015. - Vol. 2. - P. 50-54. - Access: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu_2015_2_9
4. Rubanenko O.E Optimal control normal modes EEC with regard to the technical condition of transformers with RPN / A E Rubanenko, VA Lesko // Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine. - 2013. Special issue. - S.154-161. ISSN 1727-9895.
5. Burykin, O.B. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O.B. Burykin, J.V. Malogulko, Y.V. Tomashevskiy, P. Komada, N.A. Orshubekov, M. Kozhamberdiyeva, A. Sagymbekova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. - R. 93. - NR 3/2017. - P. 97-102. - ISSN 0033-2097. - doi:10.15199/48.2017.03.23
6. Lezhniuk, PD Determining optimal power reserve to ensure the reliability of carrying local electrical system / PD Lezhniuk, VA Komar, S. Kravchuk // Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies. - Kharkov: NTU "KPI". - 2016. - № 42 (1214). - P. 69-75. - Doi: 10.20998 / 2413-4295.2016.42.11.
7. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. ISBN 5-279-00054-X.

Огородник А.А. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Ogorodnik Andrey A - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ФЕС

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі проведений аналіз основних метеопараметрів, що впливають на точність прогнозу генерування фотоелектричних станцій. Також засобами кореляційного аналізу встановлено міру впливу окремих метеопараметрів на генерування фотоелектричних станцій.

Ключові слова: фотоелектричні станції, прогнозування, метеопараметри

DETERMINATION OF THE MAIN METEOROLOGICAL PARAMETERS FOR THE BUILDING OF THE SHORT-TERM PROGNOSTIC MODEL FOR GENERATION OF PVs

Abstract

The paper analyzes the basic meteorological parameters that affect the accuracy of the forecast of the generation of photovoltaic stations. Also, the means of correlation analysis set the measure of the influence of individual meteorological parameters on the generation of photovoltaic stations.

Keywords: photoelectric stations, forecasting, meteorological parameters

Вступ

За даними Укренерго, нині вже підписано договорів на приєднання до 2025 р. до мереж установок «зеленої» енергетики потужністю 7426 МВт (ВЕС – 4200 МВт, ФЕС – 3226 МВт, без урахування великих ГЕС та ГАЕС). Проте, об'єднана енергетична система (ОЕС) може прийняти лише до 3 тис. МВт потужностей сонячних та вітрових електростанцій без ризику розбалансування і серйозних змін у своїй структурі. Сонячні та вітрові електростанції з точки зору стабільності електропостачання – ненадійні. Виходячи з цього актуальною буде задача підвищення точності прогнозування графіків генерування ФЕС.

Результати дослідження

Досвід проведеної роботи показує, що серед метеопараметрів найбільш впливовими є сонячна інсоляція, температура, швидкість вітру та вологість [1-3]. Проте, аналіз джерел та сервісів метеоданих, показав, що жоден з них не дає радіацію на поверхні землі (meteoblue, погодинно прогнозує на рівні іоносфери). Що стосується решти параметрів, то проведений кореляційний дозволяє визначити міру впливу кожного метеопараметра на загальний виробіток електроенергії ФЕС (рис.1).

	Correlations (факт_метео_пороги)				
	Marked correlations are significant at $p < .05000$				
	N=44568 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	Температура	Вологість	Радіація	Шв Вітру	Generation
Температура	1,000000	-0,591249	0,518259	0,029432	0,403010
Вологість	-0,591249	1,000000	-0,578834	-0,207019	-0,400646
Радіація	0,518259	-0,578834	1,000000	0,234122	0,930542
Шв Вітру	0,029432	-0,207019	0,234122	1,000000	0,227994
Generation	0,403010	-0,400646	0,930542	0,227994	1,000000

Рисунок 1 – Матриця коефіцієнтів кореляції метеопараметрів та генерування ФЕС

Таким чином, відсутність даних щодо радіації на поверхні землі значно знижує точність прогнозу виробітку електроенергії ФЕС. Виникає логічне питання, яким чином враховувати хмарність при побудові моделі прогнозування. Оскільки наявність чотирьох вхідних параметрів (сонячна радіація, температура навколишнього середовища, швидкість вітру, вологість) забезпечує точність при підставці фактичних даних на рівні 95%, то збільшення кількості додаткових входів в початкову модель, по-перше, ускладнить та збільшить кількість обрахунків, по-друге, збільшать похибку погодинного прогнозу виробітку. Іншим варіантом для врахування стану неба за допомогою наявної інформації по хмарності (рис.2-4).

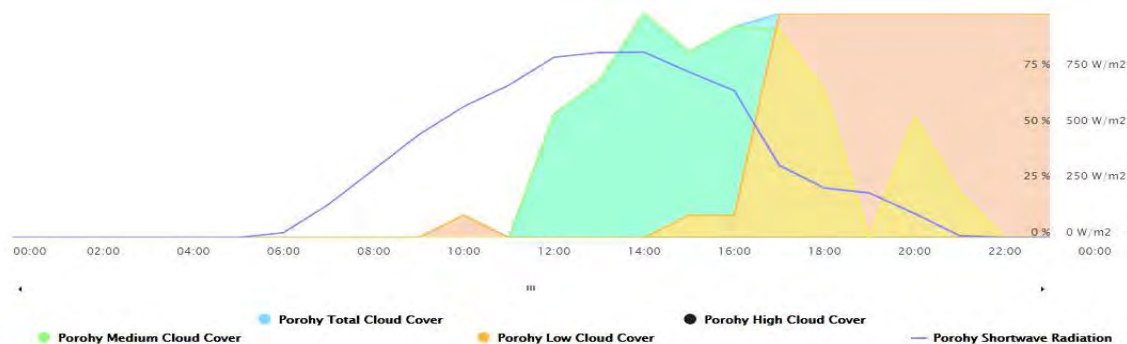


Рисунок 2 – Вплив різних рівнів хмарності на сонячну інсоляцію

З рисунку чітко видно, що підвищення кількості хмар нижнього рівня (жовта площа) зменшує радіацію на поверхні землі.

N=1888 (Casewise deletion of missing data)					
Variable	Total Cloud Cover [sfc]	High Cloud Cover [high cld lay]	Medium Cloud Cover [mid cld lay]	Low Cloud Cover [low cld lay]	Shortwave Radiation [sfc]
Total Cloud Cover [sfc]	1,000000	0,431666	0,647244	0,842909	-0,643525
High Cloud Cover [high cld lay]	0,431666	1,000000	0,668955	0,207407	-0,287777
Medium Cloud Cover [mid cld lay]	0,647244	0,668955	1,000000	0,364117	-0,405079
Low Cloud Cover [low cld lay]	0,842909	0,207407	0,364117	1,000000	-0,671495
Shortwave Radiation [sfc]	-0,643525	-0,287777	-0,405079	-0,671495	1,000000

Рисунок 3 – Кореляційна матриця впливу різних рівнів хмарності на радіацію

N=44568 (Casewise deletion of missing data)			
Variable	Generation	Радіація	Cloudness_low
Generation	1,000000	0,930534	-0,207019
Радіація	0,930534	1,000000	-0,364122
Cloudness_low	-0,207019	-0,364122	1,000000

Рисунок 4– Кореляційна матриця взаємовпливу сонячної інсоляції, виробітку електроенергії ФЕС та нижнього рівня хмарності

Висновки

Таким чином, на основі проведеного кореляційного аналізу можна зробити висновок, що хмарність важливий параметр, який опосередковано впливає на виробіток електроенергії на ФЕС та прямо впливає на рівень сонячної інсоляції на поверхні землі.

Виходячи з цього, пропонується використовувати стан неба (хмарність) при визначенні сонячної радіації на поверхні землі. За рахунок, такого уточнення радіації (з урахуванням хмарності) очікується підвищення точності моделі прогнозування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України про ринок електричної енергії – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
2. Кульматицька А. С. Оцінювання впливу відновлювальних джерел електроенергії на режим роботи електричних мереж [Електронний ресурс]: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fecem/all-fecem-2018/paper/view/5443/4481>

3. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Київський В.В. Щодо можливості прогнозу генерування фотоелектричними станціями на наступну добу // Матеріали наук.–практ. конф. «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті». – Київ, 2018. – С. 263–267.

Врона В.І. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Науковий керівник: **Комар Вячеслав Олександрович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Vrona Vladyslav I - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Komar Vyacheslav O.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: kvo1976@ukr.net.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ЗБОРУ ДАНИХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ НА БАЗІ ВНТУ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Для розроблення математичної моделі прогнозування генерування фотоелектричних станцій, необхідно опрацювати велику кількість даних метеопараметрів та генерування потужності ФЕС, для цього було розроблено систему збору та збереження генерування з ФЕС ВНТУ.

Ключові слова: метеопараметри, метеосервіси, прогнозування генерування фотоелектричних станцій.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE DATA COLLECTION FROM PHOTOELECTRIC STATION AT THE BASIS OF VNTU

Abstract

To develop a mathematical model for predicting the generation of photovoltaic stations, it is necessary to process a large number of meteorological parameters and generation of PV power; for this purpose, a system for collecting and storing PV generation data parameters from PV VNTU was developed.

Keywords: meteoroparameters, meteoservices, forecasting of the generation of photovoltaic stations

Вступ

Зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей ФЕС призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС [1-3] може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи.

Результати дослідження

Як було зазначено, на базі ВНТУ встановлено фотоелектричну станцію потужністю 1.6кВт. Дані з інвертора виводяться UI-ною частиною, які в рамках поставленої задачі (накопичення даних по виробітку та основних параметрах ФЕС), необхідно зберігати.

Специфіка роботи програми передбачає запит на адресу модуля Wi-Fi, адреса якого <http://192.168.1.55/>, проходиться стандартна форма аутентифікації (рис.1)

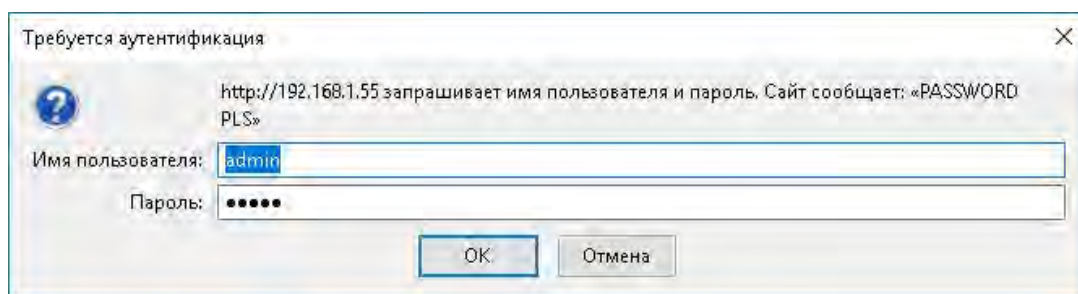


Рисунок 1 – Форма аутентифікації користувача

Після аутентифікації відкривається інтерфейс користувача (рис.2), на який безпосередньо і виводяться дані з інвертора та панелей ФЕС.

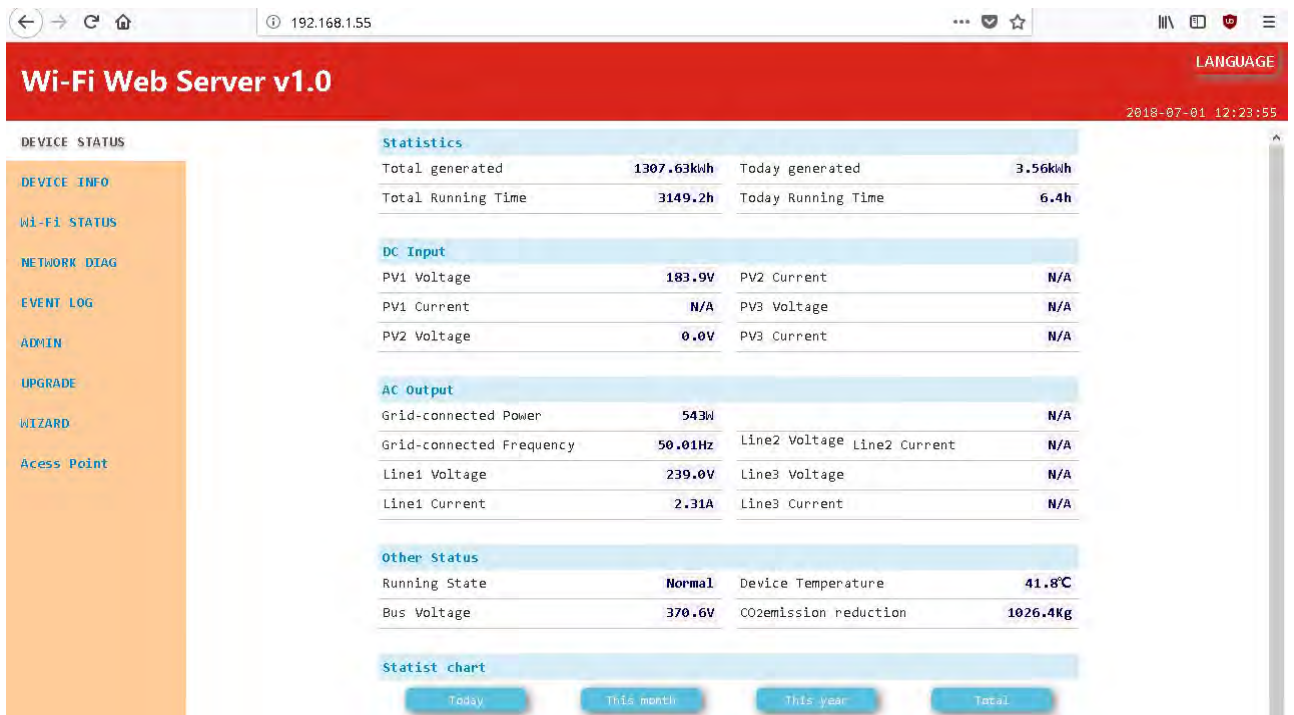


Рисунок 2 – Інтерфейс виводу даних з ФЕС

Програма працює за алгоритмом, блок-схема якого представлена на рисунку 3. Передбачається введення даних в форму аутентифікації, далі в разі успішного її проходження здійснюється запит до файлу status.php (рис. 4), в який безпосередньо заносяться дані з інвертора перед тим як їх побачить користувач. Далі отримані дані проходять через парсинг, де конвертуються з строкового типу даних в цифровий та записуються в розроблену базу даних.

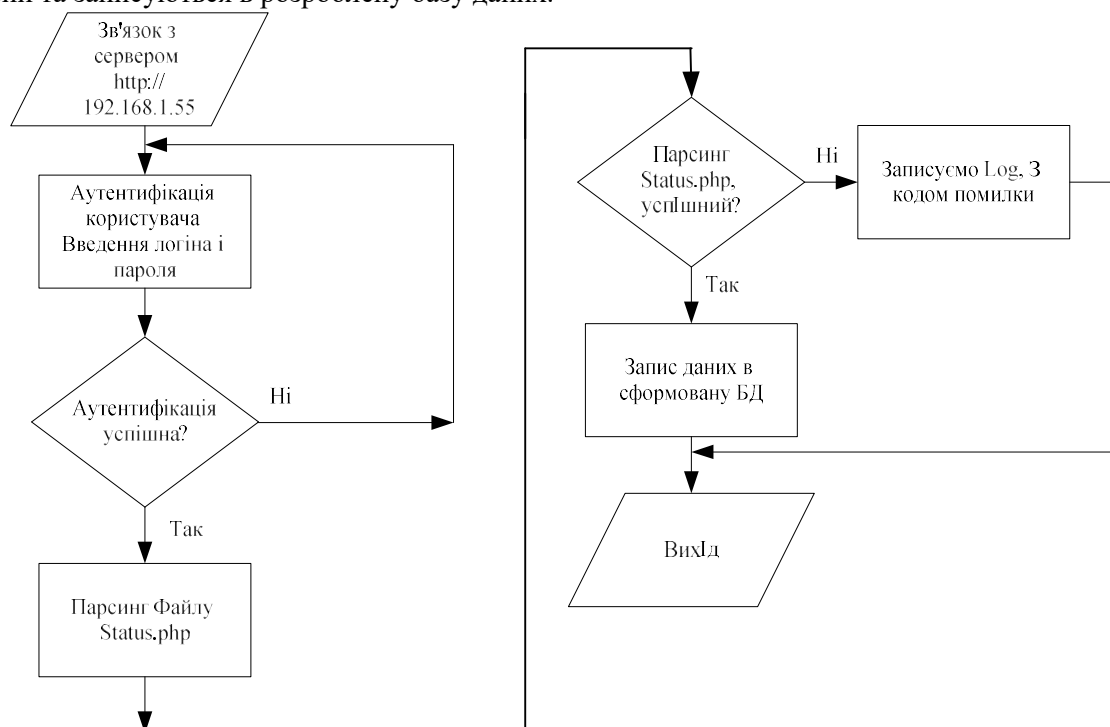


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритму роботи програми збору даних з ФЕС ВНТУ

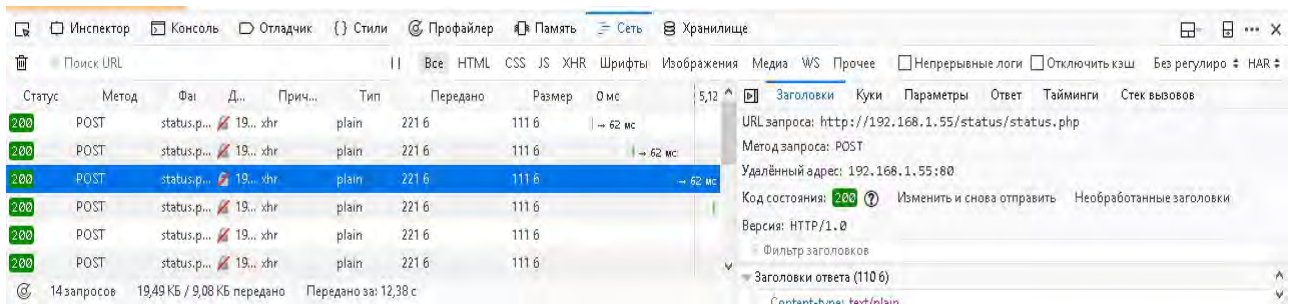


Рисунок 5 – Виведення даних з status.php

Дані зчитуються з дискретністю 5 хв і записуються в базу даних. Таким чином отримуються наступні параметри :

Потужність ФЕС, Вт;
Температура панелей ФЕС, С ;
Напруга по постійному струмі, В;
Напруга по змінному струмі, В;
Величина змінного струму, А;
Частота, Гц;
Кількість зменшення викиду CO₂ .

Висновки

Для створення математичної моделі прогнозу генерування фотоелектричних станцій було розроблено систему збору та збереження накопичених даних з фотоелектричної станції, що встановлено на базі ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. F. Wang, Z. Mi, S. Su, H. Zhao, Short-term solar irradiance forecasting model based on artificial neural network using statistical feature parameters, *Energies* 5 (2012) 1355e1370.
2. C.W. Chow, B. Urquhart, M. Lave, A. Dominguez, J. Kleissl, J. Shields, B. Washom, Intra-hour forecasting with a total sky imager at the UC San Diego solar energy tested, *Sol. Energy* 85 (11) (2011) 2881e2893.
3. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Лесько В.О., Нетребський В.В., Кульматицька А.С. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір №83727 Комп'ютерна програма «Програма збору параметрів функціонування фотоелектричних станцій». – Державна служба інтелектуальної власності України. 17.12.2018.

Затолочний П.С. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Zatolochniy Pavlo S - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Netrebskiy Volodymyr V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail:

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗВСТОСУВАННЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ^{1, 2} Вінницький національний технічний університет

Анотація Розглянуто питання ефективності встановлення трекерних систем на СЕС, їх практичність для спрощення відповідності графіку генерування, узгодженого з ОЕС. Показано можливість, важливість і актуальність використання рухомих фотоелектричних панелей для генерації електроенергії..

Ключові слова: трекер, сонячне випромінювання, фотоелектрична панель

Abstract Considered the questions of the effectiveness of establishing trackers on the solar power station?, their practicality to ensure the matching of the generation schedule agreed with the UPS. The possibility, importance and urgency of the use of mobile photovoltaic panels for power generation are shown

Keywords: tracker, solar radiation, photoelectric panel

Вступ

Переважна більшість фотоелектричних панелей встановлюється на нерухомому опорі та орієнтується рівно на південь. Таке встановлення найбільш надійне, має мінімальну вартість та прискорює монтаж. Але Сонце не знаходиться постійно в одній точці [2].

Сонце рухається по дузі зі сходу на захід. Крім того влітку Сонце має значно більш високу траєкторію, ніж взимку. Очевидно, що при зміні кута між сонячними променями і площиною фотоелектричної панелі змінюватиметься і кількість сонячної енергії, що потрапляє на модуль з фотоелементами. Відповідно та очевидно, кількість виробленої електроенергії буде змінюватись протягом доби та при зміні пори року. Внаслідок такого коливання інтенсивності сонячного випромінювання при русі Сонця нерухома фотоелектрична панель отримує від 40 до 70% світла від максимально можливого [1].

Трекерні системи стеження за кутом нахилу сонячних променів

Сонячний трекер - це електромеханічний пристрій, що відслідковує переміщення Сонця на небосхилі та повертає фотоелектричну панель на потрібний кут вслід за його рухом. Джерелом живлення для роботи трекера є сама панель, тому він є повністю автономним.

За конструкцією сонячний трекер не є складним - пара фотоелементів, що мають кут між собою в 90 градусів, видають однаковий рівень напруги лише за умовою, якщо Сонце знаходиться на бісектрисі цього кута. При різниці освітленості, електронний пристрій дає команду електродвигуну рухати панель поки рівні сигналів від датчиків не стануть однаковими [3].

Трекери для сонячних панелей бувають декількох видів, керуються різними алгоритмами при виборі напрямку, мають різні приводні механізми.

Виділяють два основних типи динамічних систем стеження – одновісні і двовісні.

одновісні – протягом дня трекер автоматично може змінювати кут в горизонтальній площині. Сонячна станція рухається по траєкторії «Схід-Захід» і може збільшувати свою продуктивність на 15-20% у порівнянні зі статичною системою – двовісний – трекер рухається і в горизонтальній, і у вертикальній площині, тобто повертається за сонцем для максимальної енергоефективності. На відміну від статичної системи, протягом року може збільшити продуктивність на 35-50%

Дані про сонячне випромінювання зазвичай даються в формі глобального випромінювання на горизонтальній поверхні, а фотоелектричні панелі зазвичай розташовані під кутом до горизонтальної площини; отже, підведення енергії до фотоелектричної системи повинне бути розрахованим відповідним чином. Розрахунок відбувається в три етапи. На першому етапі дані із сайту використовуються для визначення дифузного і променевого компонентів глобального опромінення в горизонтальній площині. Це здійснюється з використанням позаземного добового опромінення, B_0 , як еталон, і розрахунку відношення $K_T = G / B_0$, відомого як індекс чіткості [4].

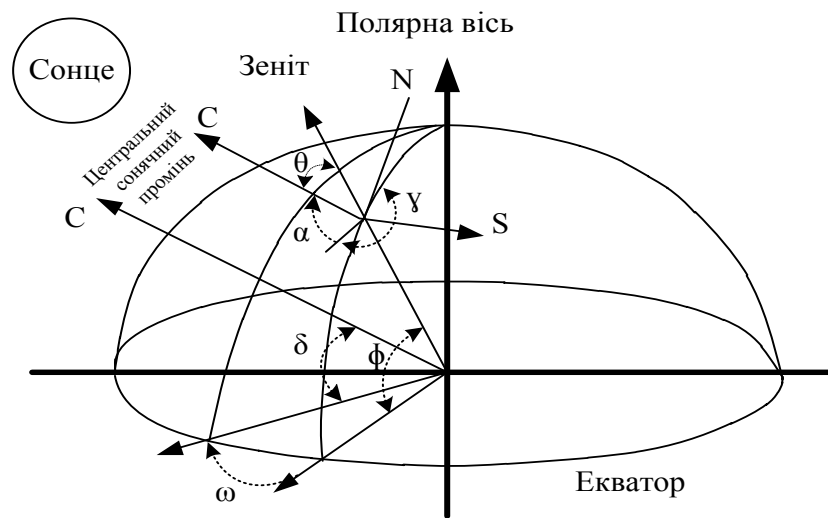


Рисунок 1. - Схематичне зображення сонячних кутів [2].

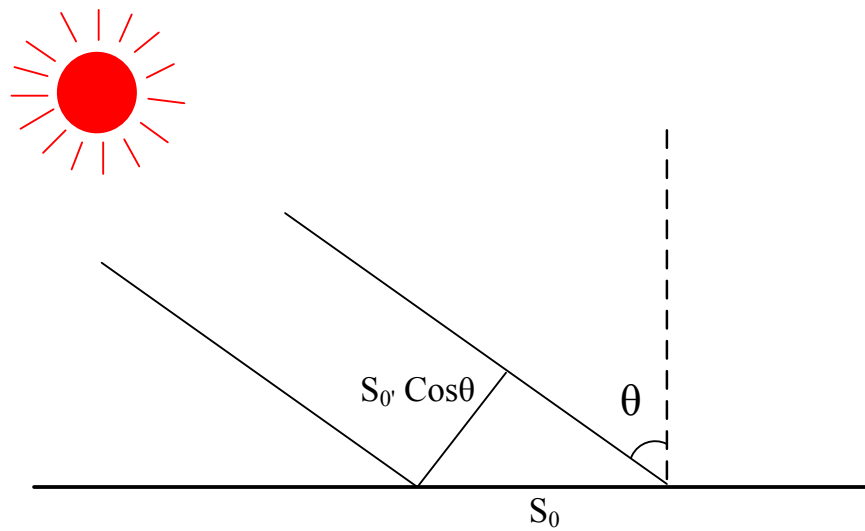


Рисунок 2. Кут падіння сонячного випромінювання [5]

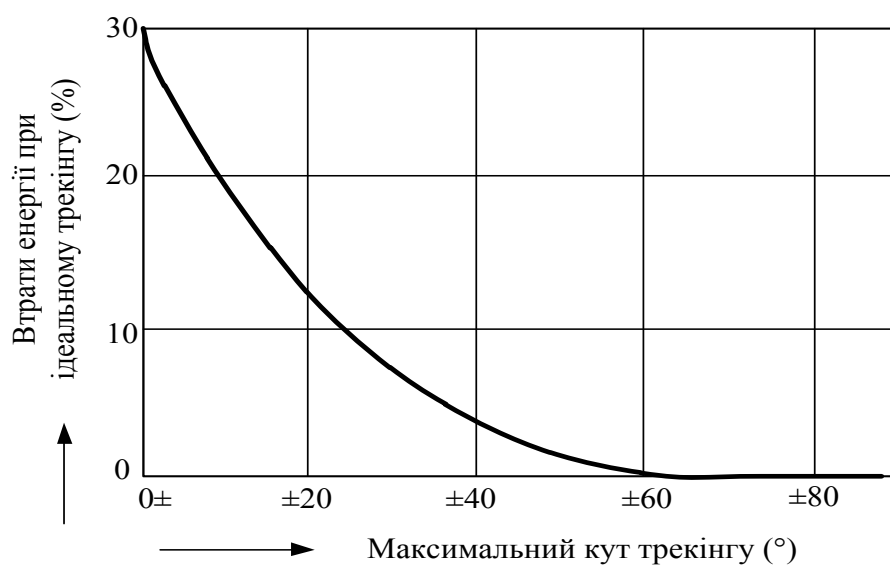


Рис 3. Енергія що втрачається в залежності від максимального кута відхилення в порівнянні з ідеальним відхиленням [5].

Сонце рухається по небу вдень. У разі нерухомих сонячних фотоелектричних панелей проекція площі панелі на площину, перпендикулярна напрямку випромінювання, визначається функцією косинуса кута падіння (рис. 2). Чим вище кут падіння Θ , тим менше потужність.

На третьому етапі відповідна кутова залежність кожного компонента використовується для визначення дифузного і променевого опромінення на похилій поверхні. З урахуванням відбивної здатності навколишньої області також може бути визначено альбедо. Загальна добова кількість опромінення на похилій поверхні потім виходить шляхом додавання трьох компонентів [5].

Теоретичний розрахунок виробленої енергії в разі використання трекерів здійснюється виходячи з припущення, що максимальна інтенсивність випромінювання $I = 1100 \text{ Вт / м}^2$ падає на область, орієнтовану перпендикулярно напрямку випромінювання. Якщо взяти тривалість дня $t = 12 \text{ год} = 43200 \text{ с}$, то інтенсивність панелі з трекером, яка завжди оптимально орієнтована щодо сонця, порівнюється з інтенсивністю стаціонарної панелі, яка орієнтована перпендикулярно напрямку випромінювання тільки в полудень.

Порівнюючи данні для двох випадків, дійдемо до висновку, що на 57% більше енергії розраховується для панелі з трекером. Таку кількість енергії можна отримати, наприклад, на поверхні Місяця, так як сонячні промені, що досягають поверхні землі, проходять через товстий шар атмосфери. Оскільки ми відхилилися від полудня, сонячна інсоляція на поверхні слабшає [6].

Економічний аспект встановлення трекерних систем на СЕС

Виходячи з написаного, можна зробити висновок що сонячні трекери вигідні в першу чергу для сонячних електростанцій, які розташовані в місцях з не високою штормовою активністю.

В умовах сьогодишнього ринку, вартість СЕС встановленою потужністю 15кВт, складає приблизно 15 тис. дол. Прибуток від продажу електроенергії складатиме 2,5 тис. дол., виходячи з цих даних термін окупності:

$$T = K \div P_p = 15000 \div 2500 = 6(p.)$$

Чистий заробіток З до кінця дії зеленого тарифу (2030):

$$Z = (11-6) \cdot 2500 = 12500(\text{дол.})$$

Капіталовкладення К в таку ж СЕС встановлену на трекері складають 21 тис. дол., При цьому щорічний прибуток від продажу електроенергії складає 3,6 тис. дол., термін окупності Т складає:

$$T = K \div P_p = 21000 \div 3600 = 5,7(p.)$$

При невеликій різниці в терміні окупності наведених варіантів, слід розглянути чистий заробіток СЕС встановленій на трекері до кінця дії Зеленого тарифу [7].

$$Z = (11-5,7) \cdot 3600 = 19100(\text{дол.})$$

Варто враховувати, що СЕС встановлена на трекері, потужністю 15 кВт, генеруватиме електроенергії стільки ж, як і стаціонарна СЕС потужністю 21 кВт. Тому важливою деталлю є й те, що для підключення Зеленого тарифу, необхідно збільшувати потужність дозволена для домогосподарства/підприємства, до потужності СЕС. А це мінімум 3000 гривень за 1 кВт. Для комерційних станцій буде відчутним зменшення плати за приєднання через встановлену потужність. Тут різниця може сягати мільйонів гривень [8].

Перелік скорочень

СЕС – Сонячна електростанція;

ОЕС – Об'єднана енергетична система;

UPS – United power system

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. California Institute of Technology. Basic research needs for solar energy utilization. Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization; April 18–21, 2005.
2. Markvart T. Solar electricity, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
3. Tracstar. Should you install a solar tracker?; 2007. <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/>.
4. Bione J, Vilela OC, Fraidenraich N. Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. Solar Energy 2004;76:703–11.
5. Бойко І. В. Мікропроцесори та мікроконтролери/ В. І. Бойко та ін. – К.: Вицашк., 2004. – 399 с.

6. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті», Кудря С.О., Резцов В.С., Київ -2016.

7. Інтернет-ресурс <https://solarsystem.com.ua>

8. Інтернет-ресурс <https://rent techno.ua>

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net.

Владислав Анатолійович Гриник — студент гр. ЕС-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kurtcobain14.04.1997@gmail.com.

Juliya V. Malogulko — Ph.D., Associate Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Juliya_Malogulko@ukr.net.

Vladyslav A. Hrynyk —student of ES-18m group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : kurtcobain14.04.1997@gmail.com

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено аналіз стану та перспектив розвитку сонячної енергетики в Україні. Розглянуто основні функціональні елементи сонячних станцій, а також проведено аналіз інформації про компанії, які інтенсивно впливають на розвиток сонячної енергетики.

Ключові слова: сонячна панель, інвертор, потужність, генерування, сонячна електрична станція, відновлювальні джерела енергії.

ANALYSIS OF THE STATE AND PROSPECTS OF THE SOLAR ENERGY DEVELOPMENT OF UKRAINE

Abstract

The paper analyzes the state and prospects of solar energy development in Ukraine. The main functional elements of solar stations are considered, as well as the analysis of information about companies that have an intense influence on the development of solar energy.

Keywords: solar power plants, inverter, power, generating, solar power station, renewable energy sources.

Вступ

Україна йде за світовим трендом прискорювати інвестиції у відновлювальну енергетику. Завдяки сприянню уряду України та впровадженню «зеленого тарифу» розвиток сонячної енергетики в Україні отримав потужний поштовх для розвитку.

Наявність в мережі сонячних електростанцій впливають на її параметри і, відповідно, на все електротехнічне обладнання системи, релейного захисту та автоматики, а також і на надійність цих елементів енергосистеми. Залежно від потужності сонячно електричної станції (СЕС) та місця підключення до мережі, а також ряду інших факторів шляхом проведення техніко-економічних розрахунків виконується порівняння та вибір оптимальних варіантів підключення СЕС до енергосистеми. [1].

Велике значення для аналізу вплив СЕС на показники якості електроенергії в системі має місце підключення та потужність джерела. Згідно з [2] можна виділити три варіанти впливу «розподільної генерації» на енергосистему, що може як збільшувати, так і зменшувати втрати потужності в електричних мережах, впливати на величину зміни напруги, коливання напруги, величину флікера, надійність роботи та термін експлуатації електричної мережі. Приєднання СЕС до мережі може покращити рівні напруг у вузлах системи, але необхідно передбачити резерв потужності в системі для покриття дефіциту потужності у випадку раптового вимкнення через природні фактори.

Основними елементами СЕС є сонячні панелі, інвертор, збірна трансформаторна підстанція та розподільний пункт. Важливим пристроєм СЕС є інвертор, основне призначення якого – перетворення постійної напруги в змінну трифазну напругу, відслідковування точки максимальної генерації (maximum power tracking point – MPPT), автоматичної синхронізації напруги інвертора з напругою мережі (phase-locked loop-PLL) та інші.

Метою роботи є аналіз стану та перспективи розвитку сонячної енергетики, а також оцінка доцільності приєднання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) з урахуванням їх технічного стану та контролю режимних параметрів.

Результати дослідження

Останні кілька років сонячна енергетика залишається сегментом альтернативної енергетики в Україні, що найбільш інтенсивно розвивається. У 2018 році загальна потужність всіх нових сонячних електростанцій склала 645,688 МВт, на їх частку припадає близько 87% всіх об'єктів, які

використовують ВДЕ. У 2019 буде реалізовано відразу кілька великих проектів, тому фахівці прогнозують, що показник потужності істотно виросте. Це пов'язано з тим, що в цьому році останній рік діє зелений тариф для промислових сонячних електростанцій, з 2020 року сонячна енергетика переходить на зелені аукціони. Тому інвестори постараються закінчити проекти, поки діє висока ціна на зелений тариф. Ось кілька найбільш великих і знакових об'єктів, які будуть здані в 2019 році.

В результаті проведеного аналізу було з'ясовано, що в Україні основними забудовниками СЕС є такі компанії: UDP Renewables, яка спільно з іспанською Acciona Energia планують побудувати сонячну електростанцію потужністю 57 МВт, обсяг інвестицій – 53,7 млн євро. Крім того, UDP Renewables планує в 2019 році відкрити три сонячні електростанції: «Скіфія Солар -2» – потужністю 33 МВт, «Скіфія Солар – 1» – потужністю 13 МВт, «Порт Солар» – потужністю 8,4 МВт

Також компанія TIU Canada, яка з осені минулого року в Миколаївській області зводить сонячну електростанцію потужністю 13,5 МВт на загальній площі 20 га. Початковим планом передбачалася здача об'єкта в кінці 2018 року, але поки вона відкладена. При цьому канадська компанія вже приступила до реалізації ще двох проектів в Одеській області.

Компанія Scates Solar- норвезька компанія, яка приступила до будівництва сонячної електростанції потужністю 25 МВт біля міста Кам'янка (Черкаська обл).

Компанія Main Group Ukraine, яка являє собою спільне українсько-французьке підприємство-отримало в оренду на 25 років ділянку землі площею 175 га на околиці Дніпропетровська. Планується побудувати сонячна електростанція потужністю 85 МВт, чого буде достатньо, щоб забезпечити електроенергією 80 тисяч домогосподарств.

Компанія Еко-Оптіма у минулому році в рамках створення енергоострова вже запустила сонячну електростанцію потужністю 36 МВт. У цьому році планується запуск другої черги станції – це ще 36 МВт

Однією з найбільш привабливих областей для розвитку сонячної енергетики залишається зона відчуження навколо Чорнобильської АЕС. У жовтні 2018 року спільна компанія – українська Rodina і німецька Enerparc AG – почали експлуатацію сонячної електростанції потужністю 1 МВт. У перспективі компанія планує наростити потужність СЕС до 100 МВт. [2]

За даними НКРЕКП, упродовж восьми місяців 2018 було підключено за «зеленим» тарифом 239,92 МВт сонячних електростанцій, і ще 119,53 МВт потужностей знаходяться у процесі завершення будівництва та отримання «зеленого» тарифу. Варто зазначити, що особливий розвиток спостерігається в галузі дахових промислових сонячних електростанцій. [3]

Висновки

Проаналізовані дані про розвиток сонячної енергетики в Україні, показують, що на даний момент в Україні відбувається стрімке будівництво сонячних електричних станцій. Динаміка розвитку даних станцій в різних областях країни різна. Окрім того, одним з найважливіших чинників процесу росту сонячної енергетики не лише в Україні, а й у всьому світі є щорічне зниження вартості на основне обладнання сонячних електростанцій. Ідеться про фотомодулі та інвертори. Так, з початку року вартість сонячних модулів знизилася на 12%, а в структурі собівартості проекту сонячні модулі становлять майже 50%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бекиров Э. А. Анализ качества электрической энергии, генерируемой солнечной электростанцией в энергосистему. [Текст] / Бекиров Э. А., Романовский И. В. // Строительство и техногенная безопасность. – 2011. – Вып. 40. – С. 106-115.
2. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/news/sonyachna-energetyka-v-ukrayini-2019/>.
3. Аналіз проведених робіт по будівництву сонячних електричних станцій за 2018 рік [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812

Науковий керівник: **Остра Наталя Вікторівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: natalyaotra@ukr.net

Мостовий Владислав Іванович— студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2e15b.mostovyi@gmail.com

Supervisor: **Ostra Natalya V.**- Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: natalyaostro@ukr.net

Mostovyi Vladislav I. - student, Vinnitsa National Technical University, student of the department of electric power stations and systems; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: 2e15b.mostovyi@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ РЕТОМ В ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ»

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі доводиться доцільність використання випробувального обладнання RETOM під час проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики електричних систем», аналізуються функціональні можливості діагностичних систем для діагностування мікропроцесорних реле та терміналів вітчизняного та закордонного виробництва.

Ключові слова: лабораторні роботи, навчальна дисципліна, основи релейного захисту та автоматики електричних систем, RETOM, REF-615, REST, Redut LX120, MP3C-05, PC 83.

FEATURES OF DIAGNOSTIC EQUIPMENT APPLICATION FOR THE DIAGNOSTICING OF THE RELAY OF PROTECTION IN LABORATORY PRACTICE OF EDUCATIONAL DISCIPLINE "BASES OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATICS OF ELECTRICAL SYSTEMS"

Abstract

The expediency of using the test equipment of RETOM during laboratory work on the academic discipline "Fundamentals of Relay Protection and Automation of Electrical Systems" is proved, the functional capabilities of diagnostic systems for diagnosing microprocessor relays and terminals of domestic and foreign production are analyzed.

Keywords: laboratory work, educational discipline, basics of relay protection and automatic systems of electronic systems, RETOM, REF-615, REST, Redut LX120, MRZS-05, RS 83.

Вступ

Надійність роботи електроенергетичних систем в значній мірі визначається правильністю роботи пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА), що досягається вдосконаленням методів та засобів, як релейного захисту так і належною якістю технічного обслуговування при відповідній кваліфікації персоналу, що експлуатує пристрої РЗА. Відповідно до вимог ПТЕ ЕС і М (п.12.9.1) силове електроустаткування електростанцій, підстанцій, теплових мереж, повітряних та кабельних ліній електропередавання повинне бути захищене пристроями релейного захисту від коротких замикань і порушень нормальних режимів.

Таким чином **метою роботи** є аналіз існуючих засобів релейного захисту електричних систем та дослідження доцільності використання засобів випробувань мікропроцесорних реле та терміналів в лабораторному практикумі вищих навчальних закладів.

Результати досліджень

Прикладом вдосконалення засобів релейного захисту є все ширше використання мікропроцесорних захистів. Основна перевага мікропроцесорних терміналів захистів обладнання – це їх багатофункціональність [1, 5]. Крім основних функцій, а саме реалізації захисту устаткування і роботи автома-

тичних пристроїв, мікропроцесорні термінали здійснюють точний вимір електричних величин, їм притаманні такі властивості, як компактність [2], зручність фіксації несправностей, можливість підключення до системи SCADA. Недолік мікропроцесорних пристроїв - їх висока вартість, вартісне обслуговування, вузький діапазон робочих температур, періодичні збої в програмному забезпеченні.

В наш час поряд зі значною кількістю електромеханічних РЗА все ширше використовуються мікропроцесорні реле та термінали, причому показник правильної роботи пристроїв РЗА стабільний і становить 99,5% [3], що можна віднести за рахунок трьох факторів:

- оптимальної структури побудови та методології використання пристроїв РЗА;
- відпрацьованої системи експлуатації та технічного обслуговування пристроїв РЗА;
- значних витрат часу персоналу на експлуатацію та технічне обслуговування.

Останній фактор впливає на розподіл випадків неправильних спрацьовувань по умовних причин. За останні роки спостерігається тенденція збільшення випадків неправильної роботи пристроїв РЗА через їх незадовільний технічний стан і помилок персоналу служб РЗА при технічному обслуговуванні, що, в свою чергу, при досконалої системі обслуговування вказує на фізичний знос пристроїв РЗА і можливе зниження кваліфікації персоналу.

Налагодження і технічне обслуговування пристроїв РЗА здійснюється на підставі нормативно-технічних документів відповідно до Методичних вказівок і Інструкцій з налагодження і технічного обслуговування на окремі види реле і пристроїв релейного захисту.

Надійність роботи пристроїв релейного захисту багато у чому визначається якістю перевірки їх характеристик в умовах експлуатації на енергооб'єктах. Такі перевірки проводяться регулярно, використовуючи спеціальні прилади, які генерують струми і напруги, необхідні для перевірки пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗіА). Враховуючи наявність великої кількості релейних пристроїв в енергосистемах, їх перевірка вимагає значних витрат часу і високої кваліфікації персоналу.

Тому широко впроваджуються сучасні засоби автоматизації процесу випробовувань та налаштування не лише електромеханічних, а і мікропроцесорних реле та терміналів таких, як Реле Тестер-05, Ретом, Omicron CMC-356 та інші.

Сучасні програмно-технічні вимірювальні комплекси та системи призначені для:

- вимірювання сили постійного і змінного струму;
- вимірювання напруги постійного і змінного струму;
- осцилографування струму і напруги;
- вимірювання часових характеристик пристроїв релейного захисту за допомогою програмного секундоміра;
- генерації незалежного і регульованого трифазного струму і трифазного напруги;
- генерації постійного струму і напруги;
- регулювання частоти генерованого трифазного струму і трифазного напруги;
- регулювання кута фазового зсуву;
- перевірки характеристик і параметрів настройки електромеханічних, напівпровідникових, мікропроцесорних реле, панелей релейного захисту, в режимах реальних пошкоджень в різних галузях промисловості та реалізації ще багатьох інших функцій.

Користувач за допомогою персонального комп'ютера (ПК) задає необхідні режими роботи, ПК зраховує ці режими і передає всю необхідну інформацію на внутрішній контролер (ВК) пристрою РЕТОМ-51. За отриманою інформацією ВК визначає цифрові вибірки струмів і напруг і передає їх в інтерфейсний модуль (ІМ), потім на силові цифро-аналогові перетворювачі (Силові ЦАП), а сформований ними сигнал - на відповідні підсилювачі. Силові ЦАП масштабують аналогові сигнали струмів ІА, ІВ, ІС і напруг UA, UB, UC до заданих значень і забезпечують необхідний рівень потужності. Зазначені сигнали передаються на входи контрольованого релейного захисту.

Виходи контрольованого пристрою мікропроцесорного захисту (контактні або потенційні) підключаються до дискретних входів пристрою РЕТОМ. Отримані сигнали передаються в ВК, де проводиться первинна обробка та синхронізація з реальним часом. Отримана інформація передається в ПК для остаточного аналізу і оформлення протоколу випробувань, який може бути виведений на дисплей або на принтер.

ПК керує також тими реле, які встановлені в діагностичному комплексі, наприклад, РЕТОМ (виходи контактні), і обробляє інформацію, отриману від АЦП (входи аналогові).

Системи РЗА на базі електромеханічних і мікроелектронних реле за рахунок невисокої вартості будуть знаходити застосування ще тривалий період часу, у першу чергу при реалізації відносно про-

тих алгоритмів виявлення пошкоджень [4]. При цьому варто враховувати те, що подальший розвиток подібних пристроїв РЗА (підвищення технічної досконалості, надійності, удосконалювання організації контролю, діагностування з метою виявлення поточного технічного стану) може здійснюватися тільки нарощуванням додаткових апаратних засобів, що приведе до збільшення вартісних показників і зниженню експлуатаційної надійності [5].

Отже роль фахівця, що експлуатує сучасне обладнання РЗА, зростає і буде зростати. Велику роль у підготовці таких спеціалістів відіграють і вищі навчальні заклади. Так Вінницькому національному технічному університеті приділяється увага вивченню можливостей електромеханічних, мікроелектронних та мікропроцесорних реле та терміналів, (REF 615, REST, Редут LX-120, РС-83, МРЗС 05 та інших) (рис. 1), а також їх випробовувальному обладнанню [6].



Рис.1. Зовнішній вигляд лабораторного стенду для дослідження параметрів мікропроцесорного захисту та протипаралельної автоматики

Висновки

На тлі численних переваг мікропроцесорних пристроїв, їх недоліки не є суттєвими

Впровадження мікропроцесорних технологій в підприємства електроенергетичної галузі доцільно і обґрунтовано безліччю незаперечних переваг.

Вивчення характеристик, методів налаштування та випробовувань сучасних мікропроцесорних реле та терміналів під час навчання у вищих навчальних закладах є доцільним та сприяє якісній підготовці майбутніх спеціалістів-електриків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Transformer protection RET670. : Application manual [Electronic resource], Sweden, Substation Automation Products. – June 2010, – 641 p. Access mode: https://library.e.abb.com/public/2438fda2e88df80bc1257769004550fb/1MRK504089-UEN_C_en_Application_manual_Transformer_Protection_IED_RET_670_1.1.pdf
2. Рубаненко О. Є. Мікропроцесорний релейний захист ліній електропередач : Лабораторний практикум: /О. Є Рубаненко, О. Ф. Гончарук, О. О. Рубаненко – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 111 с.
3. Кузнецов В. Д. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей/ В. Д. Кузнецов, Белотелов А. К. Под ред. Б. А. Алексева. – Ч. 1: Электромеханические реле. – М.: НЦ ЭНАС, 2000.–96 с.
4. Кідиба В. П., Релейний захист електричних систем: підручник. / В. П. Кідиба – Львів: «Львівська політехніка», 2015.–533 с.
5. Яндульський О. С., Дмитренко О. О., Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : Навчальний посібник/ О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.

6. Кутін В. М. Релейний захист та системна автоматика: лабораторний практикум / Кутін В.М., Рубаненко О.Є. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 130 с.

Мельник В.С. – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: melnik.v1983@ukr.net.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Melnik Vadim - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: melnik.v1983@ukr.net.

Supervisor: **Rubanenko O.E.** – PhD, assistant professor of electric stations and systems department, Vinnitsa National Technical University, asprofessor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: rubanenkoae@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ОЛИВИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі звертається увага на те, що під час здійснення процедур аналізу трансформаторної оливи, необхідно враховувати вимоги до лабораторії, обладнання та кваліфікації фахівців для проведення випробувань. Раннє діагностування силового оливо наповненого електричного обладнання є однією з важливих та актуальних задач для запобігання аварій в енергосистемах. Завдяки своєчасному аналізу трансформаторної створюються передумови для зменшення неочікуваних ремонтних витрат.

Ключові слова: трансформаторна олива, діагностика, аналіз, методи діагностики, розчинені гази, механічні домішки.

STUDY OF DIAGNOSTIC METHODS TRANSFORMER OIL

Abstract

The attention is drawn to the fact that during the implementation of the analysis of transformer oil, it is necessary to take into account the requirements for the laboratory, equipment and qualifications of experts for testing. Early diagnostics of power oil filled electrical equipment is one of the important and urgent tasks for preventing accidents in power systems. Due to the timely analysis of the transformer, prerequisites are created to reduce unexpected repair costs.

Key words: transformer oil, diagnostics, analysis, diagnostic methods, dissolved gases, mechanical impurities.

Вступ

В даний час результати діагностування оливи прийнято вважати основними при аналізі технічного стану силових трансформаторів і прогнозуванні причин наявних дефектів. Прогнозування причин дефектів здійснюється на підставі експериментальних досліджень і побудованих на їх основі емпіричних залежностей. У багатьох країнах застосовуються різні методи і критерії оцінювання стану трансформаторної оливи.

Таким чином **метою роботи** є аналіз методів діагностування трансформаторної оливи.

Результати досліджень

Олива в трансформаторі використовується як діелектрик і в якості теплоносія. Діелектричні властивості оливи досліджуються шляхом вимірювання її фізичних характеристик. На фізичні характеристики оливи впливають вода і присутні в ній гази, а також продукти розпаду твердої ізоляції і домішки. Методики і критерії оцінювання стану оливи по всім параметрам в комплексі широкого застосування в практиці досліджень не отримали через відсутність необхідної для цього функції якості. Разом з тим розробка такої функції, методик і критеріїв оцінки по ній якості оливи є перспективним напрямком досліджень.

Для того, щоб вчасно провести діагностування оливи і запобігти її повного окислення, а, разом з тим, і виявити можливі причини аварій оливо наповненого електричного вартісного обладнання, олива піддається випробуванням. Відносно свіжа олива або тільки залита в обладнання (після регенерації) олива підлягає аналізам та випробуванням, які поділяються на три види:

- випробування на електричну міцність, які містять визначення пробивної напруги, наявності води, а також проводиться візуальне визначення вмісту механічних домішок;
- скорочений аналіз, додатково передбачає визначення кислотного числа, визначення вмісту водорозчинних кислот, визначення температури спалаху і кольору оливи;

– випробування в обсязі повного аналізу а саме: всі випробування скороченого аналізу з урахуванням визначення тангенса кута діелектричних втрат ($\tan \delta$), стабільності проти окислення і кількісного визначення вмісту вологи і механічних домішок та ін.

Однією зі складових повного аналізу трансформаторної оливи є *хроматографічний аналіз* розчинених у оливі газів, який набрав популярності на ринку оливних технологій і проводиться на високо-технологічному обладнанні для перевірки олив на промислових підприємствах. Даний метод призначений спеціально для виявлення пошкоджень високовольтного обладнання та дефектів його окремих конструктивних вузлів, твердої ізоляції і т.п. Однак, такий аналіз дає недостатньо інформації про якість та стан самої оливи.

Незважаючи на це, він дозволяє стежити за розвитком процесів в трансформаторі, передбачити пошкодження, які не можна виявити традиційними методами, характеризує пошкодження і допомагає орієнтуватися під час визначення їх місця пошкодження. Сам хроматографічний аналіз займає близько 30 хвилин. Комплекс обладнання складається з декількох (для великої кількості і повного переліку аналізу оливи) або з одного хроматографа (для невеликої кількості і неповного обсягу досліджуваних параметрів оливи), містить допоміжне обладнання разом з витратними матеріалами, за допомогою яких здійснюється аналіз оливи та її діагностування [1].

Скорочений аналіз трансформаторної оливи орієнтований на огляд її зовнішній вигляду та кольору; на перевірку наявності механічних домішок і вільної води (візуально), пробивної напруги, кислотного числа і температури спалаху, а також на дослідження реакції водної витяжки.

На відміну від скороченого, *повний аналіз* крім вже названих випробувань під час скороченого аналізу, характеризує такі показники: тангенс кута діелектричних втрат при 90 ° С; кількісний вміст механічних домішок; кількісний вміст води; загальний відсоток газівмісту; наявність розчиненого шламу (осаду); вміст антиокисної присадки іонол; стабільності оливи проти окислення.

Повний аналіз трансформаторної оливи проводиться на підставі обчислень скороченого аналізу, тобто даних одного або декількох показників робочого стану оливи, і лише тоді, якщо їх норма перевищена. За допомогою повного аналізу готується прогноз тривалості експлуатації оливи, виявляються причини забруднення, і підбирається необхідна методика для відновлення його експлуатаційних властивостей.

Для вимірювання вмісту механічних домішок і води під час випробувань оливи застосовують *якісний і кількісний методи*.

При кількісній оцінці вмісту механічних домішок в оливі вона спочатку пропускається через сухий та чистий, попередньо зважений паперовий фільтр. Потім фільтр висушується і зважується, а різниця у вазі дає масу механічних домішок. Якісне визначення вмісту вологи в оливі здійснюють шляхом нагрівання оливи до 130 °С. Наявність води підтверджується, якщо під час всипювання трансформаторної оливи не менше двох разів чути тріск.

Наявність в оливі водорозчинних кислот, які є досить агресивними сполуками, викликає корозію металів і прискорює старіння твердої ізоляції. Визначення вмісту водорозчинних кислот і луг ґрунтується на їх вилученні з оливи за допомогою води або водного розчину спирту. Так само для виявлення луг використовують 1%-ий спиртовий розчин фенолфталеїну, який змінює свій колір при наявності шкідливих компонентів. Згодом під час виявлення водорозчинних кислот і лугів здійснюється регенерація оливи.

Для виявлення дефектів високовольтного обладнання, проводять аналіз температури спалаху трансформаторної оливи. Якщо температура, при якій пари оливи, що нагрівається в закритій посудині, утворюють з повітрям суміш, яка спалахує при піднесенні до неї полум'я, знижується більш, ніж на 5 °С, то тоді потрібне комплексне обстеження трансформатора для виявлення причини цього зниження [2].

Огляд методів, що застосовуються під час діагностування трансформаторної оливи, яка знаходиться в баку силових трансформаторів та їх РПН, представлений в [3]. Відповідно до цього огляду, для аналізу технічного стану оливи використовуються відношення розчинених в оливі газів CH_4 / H_2 , $\text{C}_2\text{H}_4 / \text{C}_2\text{H}_6$, $\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$ і в якості допоміжного аналізу, для оцінювання старіння паперу, визначають відношення CO_2 / CO та відношення $\text{C}_2\text{H}_2 / \text{H}_2$, для оцінювання проникнення газів з баку РПН в бак трансформатора, якщо це можливо за конструкцією трансформатора.

Також оцінювання стану оливи проводиться за трьома співвідношеннями концентрацій газів, а саме: $\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$, CH_4 / H_2 , $\text{C}_2\text{H}_4 / \text{C}_2\text{H}_6$, без врахування попередніх вимірювань і передісторії. Оцінювання виконується порівняння отриманих значень з граничними значеннями цих відношень. Під ча-

соціювання технічного стану оливи розглядаються відношення CH_4 / H_2 , $\text{C}_2\text{H}_6 / \text{CH}_4$, $\text{C}_2\text{H}_4 / \text{C}_2\text{H}_6$, $\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$.

Висновки

1. Під час здійснення процедур аналізу трансформаторної оливи, необхідно враховувати вимоги до лабораторії, обладнання та кваліфікації фахівців для проведення випробувань.
2. Раннє діагностування силового оливо наповненого електричного обладнання є однією з важливих та актуальних задач для запобігання аварій в енергосистемах.
3. Завдяки своєчасному аналізу трансформаторної створюються передумови для зменшення неочікуваних ремонтних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Manjeet S. T. A review on prognosis and diagnosis of transformer oil quality using intelligent techniques based on dissolved gas analysis // Manjeet Singh Taneja , Kamlesh Pandey , Sumeet Sehrawat / 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE) 17-19 Nov. 2016. ISSN: 2160-3170;
2. Gradnik M. K. Physical-chemical oil tests, monitoring and diagnostics of oil-filled transformers / M. K. Gradnik / Proceedings of 2002 IEEE 14th International Conference on Dielectric Liquids. ICDL 2002 (Cat. No.02CH37319) 12-12 July 2002.
3. Алексеев Б. А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. (Основное эл-тробладрания в энергосистемах: обзор отечественного и зарубежного опыта) М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.

Брацлавський В. Л. – студент групи 1Е-15б , Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Олександр Євгенійович Рубаненко** – к.т.н., професор, доцент кафедри електричних станцій та систем, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Viacheslav L. Bratslavsky – student of the group 1E-15b of the Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisor: **Oleksandr E. Rubanenko** – Cand. Sc. (Eng), professor, assistant professor of the Department of Electric Stations and Systems, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: rubanenkoae@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація:

В роботі виконано аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел в питанні дослідження існуючих систем пожежегасіння силових трансформаторів. Зокрема, було розглянуто сучасно систему попередження пожежі на силових трансформаторах SERGY Transformer Protector

Ключові слова: силовий трансформатор; системи пожежегасіння; SERGY Transformer Protector.

Abstract:

The current state of fire extinguishing systems on energy objects has been analyzed, the analysis of the main provisions concerning power transformers has been carried out.

Key words: power transformer; fire extinguishing of the transformer; modern Sergio system.

Вступ

Електроенергетична система будь-якої сучасної держави - це фундамент для забезпечення її економічної незалежності і розвитку. Ефективне використання природних енергетичних ресурсів і всього потенціалу енергетичного сектора веде до стійкого зростання економіки і якості життя населення країни та сприяє зміцненню її зовнішньоекономічних позицій. Тому забезпечення безпеки, а зокрема пожежної, критично важливих енергетичних об'єктів - один з основних пріоритетів в системі національної безпеки держави.

Пожежі на трансформаторних підстанціях можуть серйозно вплинути на процес енергопостачання споживачів і, відповідно, доходи і активи енергопостачальної компанії.

Також пожежі створюють загрозу для здоров'я і життя персоналу, аварійних бригад та і людей, які випадково опинилися поблизу. Розуміння причин виникнення пожежі та прийняття необхідних протипожежних заходів - зокрема установки протипожежної сигналізації на об'єкті - дозволяють вчасно виявити загоряння, зупинити його і, таким чином, пом'якшити наслідки пожежі. Саме тому системи протипожежних сигналізацій повинні обов'язково враховуватися при проектуванні будь-яких трансформаторних підстанцій.

Результати

Сучасні системи пожежегасіння та сигналізації призначені для виявлення пожежі в його початковій стадії, включення автоматичних стаціонарних установок пожежегасіння, та повідомлення про місце виникнення пожежі. Ця система являє собою сукупність різних установок, змонтованих на одному об'єкті і постійно контрольованих з пожежного поста [1-2].

Широка програма досліджень по теплових процесах, що відбуваються в баку силового трансформатора, під час коротких замикань була проведена компанією SERGI-France (Франція) [3]. Був проаналізований механізм пробою масла при термічному впливі, в результаті була отримана магнітна термогідролічна модель (МТМ). Проведені дослідження дозволили розробити концепцію попередження вибуху і пожежі силового трансформатора. МТМ була також використана для аналізу утворення газів і розрахунку підвищення тиску. Перед імітацією розриву баку трансформатора результати перевірялися при номінальних і режимах перевантаження силових трансформаторів.

КЗ імітувалися в точній геометрії трансформатора для кожної потужності і конструкції:

- Кількість витків, розмір обмотки і геометрія.
- Діелектричні компоненти масла, характеристики потоку та системи охолодження
- Розміри трансформатора, включаючи РПН і вводи.

Захист трансформатора, був розрахований так, щоб уникнути вибуху баку трансформатора при різних видах КЗ. Досліди також були важливими для:

- розрахунку виникнення вибухових газів;
- розрахунку подальшого підвищення тиску в баці трансформатора;
- розрахувати систему, яка дозволяє усунути гази та масляні суміші без контакту з повітрям.

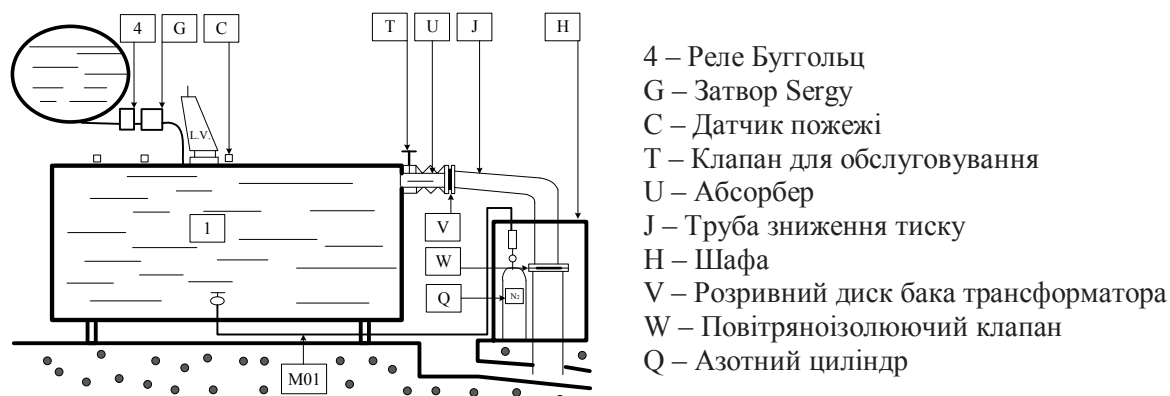


Рисунок 1– Схема системи пожежогасіння SERGY Transformer Protector.

Висновок

Проаналізовано існуючі види вітчизняних та зарубіжних систем пожежогасіння силових трансформаторів. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що останнім часом широкого поширення набула система Transformer Protector від SEGRI-FRANCE. Ця система дозволяє не допустити пошкодження трансформаторів та іншого обладнання внаслідок пожежі, дозволяє не допустити забруднення навколишнього середовища за рахунок локалізації зливу трансформаторної оливи, виключає ризик для життя експлуатуючого персоналу Система спрацьовує протягом 0,5-20 секунд в залежності від місця виникнення дуги та розмірів трансформатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. РД 34.49.101-87. Инструкция по проектированию противопожарной защиты энергетических предприятий (с учетом Извещений № 1 и № 2 УПБ и ВОХР Минэнерго СССР от 24.11.88 и 03.10.89 гг.). - М.: Информэнерго. 1987.
2. Рекомендации по выбору и применению приборов, оборудования и других изделий в проектах установки пожаротушения и пожарной сигнализации. - М.: Теплоэлектропроект, 1985.
3. SERGI TRANSFORMER PROTECTOR [Електронний ресурс]. – Принцип роботи системи SERGI TRANSFORMER PROTECTOR. – Режим доступу: <http://www.sergi-tp.com/ru>

Затхей Максим Вікторович— студент групи 1EE-166, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: maxzathey@gmail.com.

Науковий керівник: **Гулько Ірина Олександрівна** – к.т.н., старший викл. кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
 email : iryna_hunko@ukr.net.

Zathey Maksim V. - student of 1EE-16B, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maxzathey@gmail.com

Supervisor: **Hunko Irina Oleksandrivna** – Ph.D., lecturer of stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;
 email : iryna_hunko@ukr.net

ОЦІНКА СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА НЕДОСТАТНЬОЮ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕВИМІРЮВАНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано проблему недостатньої кількості телеметричних даних в мережах високої напруги. Надано характеристику концепції оцінки стану, її основні складові та переваги.

Ключові слова: оцінка стану, телеметричні дані, мережі високої напруги.

Abstract

The problem of insufficient number of telemetric data in high voltage networks is analyzed. Provided the characteristic of the concept of state evaluation, it's main components and advantages.

Key words: state estimation, telemetric data, high voltage networks.

Вступ

Відоме відключення, яке відбулося в північно-східній частині Сполучених Штатів у 1965 році, стало великою проблемою в роботі складних електроенергетичних систем. В наслідок цього протягом минулих десятиліть прості ізольовані системи почали процес взаємозв'язку, намагаючись забезпечити безпеку (взаємна допомога при непередбачених обставинах) і заощадити гроші (обмін дешевою енергії). Однак, незабаром було зрозуміло, що керувати такими гігантськими мережами досить непросто, і що широкомасштабні відключення електроенергії можуть відбуватися, якщо стан мережі не відстежувався належним чином у реальному часі. Таким чином сформувалася проблема розрахунку поточних режимів роботи електричної мережі 110-750 кВ в умовах повної відсутності телевимірів ПС 110 кВ електропостачальних організацій та наявності електричних станцій, що працюють на ВДЕ і приєднані до ПС-110 кВ.

Результати досліджень

З появою простих цифрових комп'ютерів були впроваджені перші системи контролю та збору даних (SCADA) у різноманітних складних промислових установках (залізничні системи, атомні станції і т.д.) Що стосується центрів керування електричними мережами, то такі системи включають кілька спеціалізованих функцій, крім типових завдань моніторингу, таких як автоматичне керування генерацією (АКГ) та економічна диспетчеризація, для яких необхідно постійно контролювати частоту та потужність генератора.

Відключення 1965 року та інші серйозні інциденти, які слідували, свідчили про необхідність приділяти більше уваги питанням безпеки, що вимагало більш складного середовища SCADA. Таким чином, багато інших вимірювань, включаючи перетоки потужності лінії, були захоплені в коротші інтервали, розроблені

нові комп'ютерні функції, засновані на інструменті навантаження. Зрештою, ці інструменти дозволяють операторам правильно оцінити втрати мережі, безпеку (неприпустимі напруги та потоки лінії), ризик нестабільності тощо.

Однак початкові спроби отримати стан мережі за допомогою потоку навантаження в режимі реального часу зазнали труднощів через відсутність або непослідовність вимірювань. Концепцію оцінки стану (ОС) вперше запропонував Фред Швеппе, який був професором електротехніки, для вирішення цих питань. ОС вже застосовувалися для менших проблем в системах управління [1,2]. Обчислювальні розробки, що розробилися після цієї новаторської роботи [3], дуже скоро зробили ОС стандартною функцією в кожному центрі управління.

Оцінка стану забезпечує повну та надійну базу даних, яка є життєво важливою для правильного виконання всіх функцій в режимі онлайн, які використовуються при експлуатації та контролі енергосистеми, починаючи з питань, пов'язаних із безпекою [4]. Рішення, яке надає ОС, також має важливе значення для багатьох офлайнних програм, які пов'язані з планування системи (прогнозування навантаження, надійність, розширення мережі тощо), а також ринків електроенергії. Всі ці програмні засоби та досягнення в області комп'ютерних архітектур призвели до розвитку декількох поколінь так званих систем управління енергією (CUE), наступників примітивних SCADA.

Оцінка стану включає в основному такі функції [5,6,7]:

1. Попереднє фільтрування вимірювань: для виявлення та відсіювання вимірювань, які є явно неправильними (негативні величини напруги, потоки потужності від діапазону тощо). Тут має місце реалізований набір елементарних перевірок послідовності.
2. Топологічний процесор: на основі статусу комутаційних пристроїв і фізичного розташування підстанцій побудувати модель електричної мережі (електричні вузли, зв'язок, неенергетичні острови тощо).
3. Аналіз спостережень: визначає, чи можна отримати стан системи за допомогою доступних вимірювань для всієї мережі. Якщо спостерігається лише підмножина вузлів, то вона ідентифікує спостережувані острови.
4. Оцінка стану: обчислює статистично оптимальний стан мережі або стан, що найкраще підходить для віддалено захоплених вимірювань для даного набору параметрів мережі та підключення до мережі. В якості побічного продукту він також надає оціночні вимірювання.
5. Виявлення випадкових помилок у наборі вимірювань на основі певних статистичних властивостей оцінки.

Сучасні оцінювачі також здатні виявляти помилки топології та оцінювати покращені значення підозрілих мережевих параметрів, таких як трансформаторні відводи. Рисунок 1 показує функціональні зв'язки та обмін даними між цими блоками.



Рис. 1

Висновки

Підсумовуючи, можна сказати, що ОС служить в якості великомасштабного фільтра між віддаленими вимірюваннями та додатками високого рівня. Мета статичної оцінки стану полягає в оцінці складних процесів в даній енергосистемі. Це здійснюється шляхом обробки та вимірювань поточкорозподілів, інжекції шини, величини струму напруги та лінії, а також інформація про стан вимикачів, вимикачів, трансформаторних відводів і параметрів ліній електропередачі. Типи вимірювань, розташування та точність відрізняються в залежності від індивідуальної енергосистеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. F. Schweppe and B. Douglas, Power system static-state estimation, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-89, 1970, 120–135.
2. F. Schweppe and E. Handschin, Static state estimation in electric power systems, Proceedings IEEE, 62, July 1974, 972–983.
3. R. Larson, W. Tinney, L. Hajdu, and D. Piercy, State estimation in power systems. Part II: Implementation and applications, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-89(3), March 1970, 353–362.

Науковий керівник: **Бурикін Олександр Борисович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mr.burykin@mail.ru

Повстянко Катерина Олександрівна — студент групи 1EE-16б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com

Supervisor: **Burykin Oleksander B.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : mr.burykin@mail.ru.

Povstyanko Kateryna O. - student of 1EE-16B, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ АДЕКВАТНОЇ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ОТРИМАНИХ АМПЛІТУДО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано існуючі методи та засоби визначення технічного стану обмоток силових трансформаторів (СТ) та визначена рекомендована кількість вимірювань для адекватної оцінки результатів отриманих амплітудо-частотних характеристик (АЧХ) СТ, з метою підвищення точності визначення технічного стану СТ, під час інтерпретації результатів проведених вимірювань.

Ключові слова: діагностування, пошкодження, силовий трансформатор, частотний аналіз, обмотки, планування, експеримент.

DETERMINATION OF QUANTITY OF MEASUREMENTS FOR ADEQUATE EVALUATION OF THE RESULTS OF RECEIVED AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF POWER TRANSFORMERS

Abstract

The work analyzes the existing methods and means of determining the technical state of power transformer windings (ST) and determines the recommended amount of measurements to adequately assess the results of the amplitude-frequency characteristics (AF) of the CT in order to improve the accuracy of the determination of the technical state of the CT during the interpretation of the results carried out measurements.

Key words: diagnosis, damage, power transformer, frequency analysis, winding, planning, experiment.

Вступ

Силовий трансформатор, у сучасних електроенергетичних системах, відіграє важливу роль. Пошкодження такого агрегату, тягне за собою збитки для електроенергетичного підприємства, оскільки виведення з експлуатації такого агрегату значно погіршує показники надійності та призводить до економічних втрат підприємства. Крім того пошкодження СТ під час їх експлуатації в ЕЕС [1,2] зменшує надійність та збільшує ймовірність відмови іншого обладнання, тому для визначення поточного технічного стану та залишкового ресурсу силового обладнання.

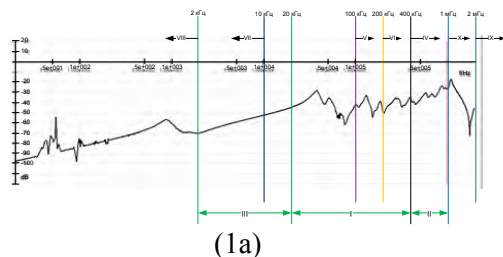
В нас існує велика кількість інструментів для діагностування СТ, однак статистика пошкоджуваності, показує, що таке обладнання продовжує пошкоджуватись, і змушує електроенергетичні підприємства змінювати режим роботи електроенергетичної мережі, що призводить до економічних втрат. Одним із нових методів сучасного діагностування СТ є аналіз частотної відповіді FRA.

Хоча цей метод тестового контролю СТ є відносно простим з моменту створення спеціального обладнання FRA, інтерпретація результатів залишається вузькоспеціалізованою та потребує кваліфікованого персоналу та належної технічної документації, для визначення виду та можливого розташування пошкодження.

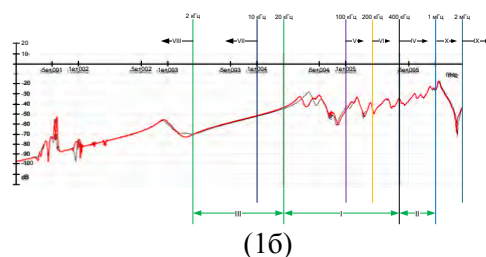
Одним із немало важливих факторів під час проведення вимірювання діагностичних параметрів обладнання є кількість проведення вимірювань, та відповідна інтерпретація отриманих результатів. Адже належне подання отриманих експериментальних результатів разом із визначеними похибками дозволяє іншим людям судити про якість проведеного експерименту. Тому виправданою є визначення кількості проведення вимірювань, під час діагностування СТ, враховуючи вартість та важливість такого елементу електроенергетичного підприємства.

Якісні АЧХ СТ можна отримати з використанням приладу FRAnalyzer виробництва фірми Omicron. Для цього були виміряні АЧХ СТ ПАТ «ВІННИЦЯОБЛЕНЕРГО» па Південно-Західної

електроенергетичної системи ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» на рисунку 1 показана АЧХ СТ ТМ-100/10/0,4 кВ (рисунк 1а) та ТМН-6300/35/10 кВ (рисунк 1б).



(1а)



(1б)

Рисунок 1а – АЧХ досліджуваного СТ ТМ-100/10/0,4 кВ, 1б – АЧХ досліджуваного СТ ТМН-6300/35/10 кВ

З метою визначення інформативної кількості дослідів пропонуємо поділити АЧХ на діапазони, та описати рівнянням передатної функції:

$$k_u(f) = 20 \cdot \log_{10} \left[\frac{U_1(f)}{U_2(f)} \right], \text{дБ} \quad (1)$$

де U_1 – напруга тестового сигналу на виході FRAnalyzer; U_2 – напруга тестового сигналу на вході FRAnalyzer, яка є напругою сигналу відгуку на тестовий сигнал; f – частота тестового сигналу на виході FRAnalyzer.

В результаті розрахунків в роботі отримано поліноміальне рівняння яке має вигляд:

$$\eta = F_1^0 \cdot t_2^0 \cdot 68,188 + F_1^1 \cdot t_2^0 \cdot 4,554 - F_1^2 \cdot t_2^0 \cdot 0,087 + F_1^1 \cdot t_2^1 \cdot 0,015 + F_1^0 \cdot t_2^1 \cdot 2,783 - F_1^0 \cdot t_2^2 \cdot 0,048 \quad (2)$$

Похибка апроксимації складає 1,7 %.

Експериментальні плани, що визначають програму досліджень для знаходження математичного опису об'єкта, будуються виходячи з різних критеріїв оптимальності.

Висновки

Дослідження існуючих методів та засобів діагностування технічного стану СТ, показали, що не зважаючи на велику їх кількість, обладнання на електроенергетичних підприємствах, продовжує пошкоджуватись, тому потрібно впроваджувати нові методи та засоби діагностування СТ.

Під час визначення необхідної кількості вимірювань, доведено що для адекватної оцінки стану СТ, при інтерпретації результатів вимірювань АЧХ, необхідно спланувати проведені вимірювання та визначити необхідну кількість вимірювань. Розрахунок на конкретному прикладі показав, що на заданому проміжку АЧХ, потрібно провезти 10 вимірювань, для адекватної оцінки стану СТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рубаненко, О. Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів / О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Гришук // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07.
2. S. Tenbohlen, F. Vahidi, P. Müller, J. Gebauer, M. Krüger: "Zuverlässigkeitsbewertung von Leistungstransformatoren" (em inglês), Proc. Stuttgarter Hochspannungssymposium, 2012. pp. 61-70.
3. Лежнюк, П. Д. Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН / П.Д.Лежнюк,О.Є.Рубаненко,О.І.Казьмірук//Наукові праці ВНТУ.–2012.– №4.– 9 с.

Гришук М. О. – аспірант групи АС – 16, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net

Науковий керівник Рубаненко О. Є. – к.т.н., професор, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Grishuk Maksim - postgraduate student of the AC group - 16, faculty of electroenergy and electro mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net

Scientific supervisor Rubanenko Alexander - Cand. Sc. (Eng), Prof., Assistant Professor of the department department of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ФЕС

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі аналізувалися можливості мікропроцесорних захистів вітчизняного виробництва для забезпечення надійної роботи силових трансформаторів фотоелектричних станцій. Викладені принципи формування диференційного захисту силового трансформатора, наведено приклад розрахунку уставки.

Ключові слова: фотоелектрична станція, трансформатор, мікропроцесорний захист, якість електроенергії.

FEATURES OF APPLICATION OF MICROPROCESSOR PROTECTION OF POWER TRANSFORMERS FES

Abstract

The work analyzed the capabilities of microprocessor protectors of domestic production to ensure the reliable operation of power transformers photovoltaic stations. The principles of formation of differential protection of the power transformer, the given example of calculation of installations are stated.

Key words: photoelectric station, transformer, microprocessor protection, electric power quality.

Вступ

Часто ФЕС під'єднані до розподільних електричних мереж енергопостачальних компаній враховуючи пошкоджуваність обладнання електричних мереж часті перехідні процеси ввімкнення вимкнення інверторів ФЕС. Актуальною постає задача використання сучасних мікропроцесорних релейних захистів такого відповідального обладнання ФЕС як силовий трансформатор. Виправданим є використання реле для захисту силових трансформаторів вітчизняного типу МРЗС 05 [1]. Використання мікропроцесорних реле додає порівняно з відомими електромеханічними захистами багато нових функцій;

- максимальна 2-х ступінчаста струмовий захист (МСЗ). Перший ступінь - з незалежною витримкою часу; другий ступінь - з незалежною витримкою часу або з залежною струмо-часовою характеристикою;
- захист від замикань на землю по струму $3I_0$ (ЗЗ);
- автоматичне одноразове повторне включення (АПВ);
- блок прискорення МСЗ для швидкого відключення приєднання при включенні його на коротке замикання;
- блок включення, яка формує сигнал певної тривалості на включення вимикача;
- блок відключення, яка формує сигнал певної тривалості на відключення вимикача.

У пристрої МРЗС також передбачені додаткові функції, забезпечуючи його зручним в експлуатації.

Додаткові функції включають в себе:

- реєстрацію та зберігання трьох останніх аварій з реєстрацією аварійних струмів;
- експлуатаційний контроль струмів;
- обумовлену функцію.

Водночас, експлуатація мікропроцесорних захистів вітчизняного виробництва сприяє накопиченню досвіду експлуатації вітчизняних захистів виявленню їх недоліків та слабких місць з метою швидкого вдосконалення розробки виготовлення та впровадження в експлуатацію нових захистів адаптованих до умов експлуатації в вітчизняних електричних мережах, які характеризуються застарілим обладнанням, випадками погіршення показників якості електроенергії [2].

Для захисту силових трансформаторів застосовується диференційний струмовий захист на основі мікропроцесорного терміалу МРЗС 05. У цьому захисті для формування диференціальних і гальмівних струмів, а також для оцінки рівня другої гармоніки і постійної складової, використовуються значення величини першої гармоніки в струмах плечей захисту [3].

Для можливості порівняння струмів, що надходять в диференційний захист (диф. захист, або ДЗ) з різних сторін трансформатора (плечей захисту), струми наводяться до величини, пропорційної (з однаковим коефіцієнтом для обох сторін) номінального струму своєї сторони трансформатора, тобто вирівнюються.

Гальмування здійснюється струмом тієї фази, в якій гальмівний струм виявився найбільшим.

Принцип, який реалізований в терміналах, які випускаються на сьогоднішній момент передбачає те, що у кожній фазі струми плечей захисту сторони вищого (ВН) і сторони нижчого (НН) напружень формуються при направленні обчислення струмів від шин до трансформатора відповідності до наступних виразів (1,2):

$$\underline{I}_{пл.вн} = \frac{\underline{I}_{вн} \cdot \underline{I}_{вир.вн}}{I_{ном}}, \quad (1)$$

$$\underline{I}_{пл.нн} = \frac{\underline{I}_{нн} e^{j\varphi} \cdot \underline{I}_{вир.нн}}{I_{ном}}, \quad (2)$$

де:

$\underline{I}_{пл.вн}$, $\underline{I}_{пл.нн}$ – перші гармоніки струмів плечей захисту, відповідно вищої і нижчої напруги;

$\underline{I}_{вн}$, $\underline{I}_{нн}$ – перші гармоніки вторинних струмів відповідно сторін вищої і нижчої напруги, що надходять на захист;

φ – кут повороту вектора $\underline{I}_{нн}$;

$I_{ном}$ – номінальний струм терміналу (5А);

$\underline{I}_{вир.вн}$, $\underline{I}_{вир.нн}$ – уставки по струмах вирівнювання, розрахункові значення яких визначаються за виразом (3):

$$I_{вир.роз} = \frac{K_{ТТ} I_{ном}^2}{I_n \cdot K_{сх}}, \quad (3)$$

де:

I_n – номінальний струм сторони силового трансформатора, для якої визначається струм вирівнювання;

$K_{ТТ}$ – коефіцієнт трансформації ТС сторони, для якої визначається струм вирівнювання;

$K_{сх}$ – коефіцієнт схеми. Для з'єднання вторинних обмоток в «зірку» $K_{сх} = 1$, при з'єднанні в «трикутник»

$K_{сх} = \sqrt{3}$.

Висновки

Аналіз іноземних та вітчизняних літературних джерел дозволяє зробити висновок; для захисту силових трансформаторів, на основі мікропроцесорного терміналу МРЗС 05, застосовується диференційний струмовий захист. У цьому захисті для формування диференціальних і гальмівних струмів, а також для оцінки рівня другої гармоніки і постійної складової, використовуються величини першої гармоніки в струмах плечей захисту. Методичні підходи до визначення параметрів диференційного захисту трансформаторів на основі терміналу МРЗС 05 полягають у визначенні уставок спрацювання двоступеневого максимального струмового захисту за струмом і часом; захисту від замикань на землю струмом нульової послідовності, часу спрацювання автоматичного повторного включення приєднання після його відключення від пристроїв захисту, частоти та часу спрацювання автоматичного частотного розвантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Яндульський О. С., Дмитренко О. О., Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : Навчальний посібник/ О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.
2. Устройство микропроцессорное дифференциально – фазовой защиты трансформатора МРЗС – 05 – 05. Руководство по эксплуатации РСГИ. 466452.007 – 05РЭ, 2007 г.
3. Дифференциальная защита 7UT613. Версия 4.0. Руководство по эксплуатации 7UT613, 7UT633, 7UT635. – 583 с.

Романов П.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ecm18m.romanov@gmail.com.

Науковий керівник Рубаненко О. Є. – к.т.н., професор, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Romanov P.O. - student, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ecm18m.romanov@gmail.com.

Scientific supervisor Rubanenko Alexander - Cand. Sc. (Eng), Prof., Assistant Professor of the department department of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПЕРСПЕКТИВНА СИСТЕМА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено огляд конструкцій грозозахисту ліній електропередачі. Був зроблений висновок про технічні можливості, переваги та перспективи систем блискавко захисту ліній електропередачі в Україні.

Ключові слова: блискавкозахист, ізолятори-розрядники мультикамерні.

PERSPECTIVE SYSTEM LIGHTNING PROTECTION LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSION

Abstract

In the work the review of the lightning protection of transmission lines is carried out. A conclusion was made about the technical capabilities, advantages and prospects of lightning protection systems in Ukraine.

Keywords: lightning protection, insulators-artillery multi-chamber.

Вступ

Удари блискавки в лінії електропередачі або поблизу них призводять до появи імпульсних перенапруг, небезпечних як для ізоляції самих ліній, так і для електрообладнання підстанцій. Значний матеріальний збиток пов'язаний і з непрямым впливом грозових розрядів. Він обумовлений порушеннями технологічних процесів внаслідок виходу з ладу систем технологічного управління, мікропроцесорних та комп'ютерних пристроїв управління, регулювання, вимірювання, сигналізації тощо [2].

Основною причиною виходу з ладу ізоляції об'єктів електроенергетики, перерв в електропостачанні і витрат на його відновлення до теперішнього часу є ураження блискавкою об'єктів електроенергетики.

Захисту об'єктів електроенергетики від прямих ударів блискавки і від перенапруг завжди приділялася велика увага. З метою такого захисту використовуються блискавковідводи, обмежувачі перенапруг, розрядники, відповідні системи заземлення. Блискавковідводами обладнуються також інші важливі об'єкти, такі як житлові і виробничі будівлі, склади і т.д. Мета цих заходів - запобігти безпосередні удари блискавки в захищені об'єкти і організувати протікання струмів блискавки по безпечному шляху.

Блискавкозахист - це обов'язкова частина будь-якої будівлі. Блискавкозахист потрібний для захисту від прямого удару блискавки в будинок, захисту від вторинних її проявів, таких як перенапруги.

Захист устаткування підстанцій від прямих ударів блискавки забезпечується стрижневими блискавковідводами. Крім того, необхідний захист від хвиль, що виникають на лініях та підходять до підстанції, при ударах блискавки в троси або опори цих ліній. Для захисту ліній електропередач та устаткування підстанцій від перенапруг використовують троси і заземлення опор на лініях, рокові розрядники, трубчасті розрядники на контактній мережі, конденсатори для зниження грозових перенапруг.

Результати дослідження

Традиційно захист ліній електропередачі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою заземлених тросів. Проте в умовах, коли традиційні заходи блискавкозахисту не дають бажаного ефекту (локально висока інтенсивність грозової активності, великі переходи через

водоймища і інші великі перешкоди) і число грозових відключень є неприпустимо великим, з'являється необхідність відмовитися від застосування грозозахисних тросів. Одним з рішень для забезпечення блискавкозахисту ПЛЕП без застосування грозотросу є застосування ізоляторів-розрядників з мультикамерною системою (ІРМК) [1].

Розрядники ІРМК (ізолятори-розрядники мультикамерні) – принципово новий апарат, який поєднує в собі властивості ізолятора і розрядника одночасно (рисунок 1).



Рисунок 1 – Ізолятор-розрядник з мультикамерною системою

При використанні розрядників ІРМК можливо забезпечити грозозахист повітряних ліній (ПЛ) будь-якого класу напруги, оскільки із збільшенням класу напруги зростає кількість ізоляторів в гірлянді і, відповідно, збільшується номінальна напруга і дугогасяча здатність пристрою [3].

Основу ІРМК складають звичайні ізолятори (скляні, фарфорові або полімерні), що масово випускаються, на яких спеціальним чином встановлена мультикамерна система (МКС), установка МКС не призводить до погіршення ізоляційних властивостей ізолятора, але завдяки ній він набуває властивість розрядника. Тому у разі застосування ІРМК на ПЛ не потрібно застосування грозозахисного тросу. При цьому знижується висота, маса і вартість опор, а також вартість усієї ПЛ в цілому, забезпечується надійний грозозахист ліній, різко скорочується число відключень ліній, зменшуються витрати від недовідпуску електроенергії і експлуатаційні витрати. Дуже перспективним представляється захист контактної мережі залізниць від прямих ударів блискавки за допомогою ІРМК.

Висновки

МКС випробувані на електродинамічну стійкість імпульсами струму з максимальним значенням 100-110 кА. Зразки МКС витримали 10 дій вказаних імпульсів без руйнування. Таким чином, МКС можна застосовувати для захисту ПЛ від прямих ударів блискавки (ПУБ). Після закінчення імпульсу грозової перенапруги до розрядника залишається прикладена напруга промислової частоти.

При використанні ІРМК для захисту від грозових перенапруг знижується висота, маса і вартість опор, а також вартість усієї ПЛ в цілому. ІРМК забезпечують надійну грозозахист ліній, тобто скорочення кількості відключень ліній, зменшення збитку від недовідпуску електроенергії, а також скорочення експлуатаційних витрат. ІРМК може забезпечити надійний захист ПЛ 6-35 кВ і вище як від індукованих перенапруг, так і від прямих ударів блискавки [1,3]. Дуже перспективним представляється впровадження ІРМК на території України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. https://www.streamer.ru/streamer_products/lightning-protection/multikamernaya-sistema-mks
2. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006, NEQ): ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – Введений 01.01.2009. - Київ: Держстандарт України, 2008. - 65 с.
3. Ліщак І. В. Сучасний грозозахист розподільчих повітряних ліній 6, 10 кВ довго-іскровими розрядниками (РДІ) / І. В. Ліщак, Т. В. Бінкевич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2012. – № 736 : Електроенергетичні та електромеханічні системи. - С. 75-80.

Піскунічев Є.А. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, 2 курс, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:1e15b.piskunichev@gmail.com

Проценко Л.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, 2 курс, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:surr ridge908@gmail.com

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: netrebskiy@ukr.net

Piskunichev E. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: e-mail:1e15b.piskunichev@gmail.com

Prochenko L. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: e-mail:surr ridge908@gmail.com

Supervisor: Netrebskiy V. V. – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: netrebskiy@ukr.net

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

^{1, 2} Вінницький національний технічний університет

Анотація Розглянуто стан систем моніторингу високовольтних вимикачів, проаналізовано системи моніторингу високовольтних вимикачів, що застосовуються на території України; представлено систему моніторингу елегазових вимикачів, яка не залежить від конкретного виробника вимикачів, наведено загальний опис та структурну схему представленої системи;

Ключові слова: системи моніторингу, елегазовий вимикач, електроенергетика.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF MONITORING SYSTEMS OF SF6 CIRCUIT BREAKER

Abstract State of monitoring systems for high voltage circuit breakers, Operation details of monitoring systems for high voltage circuit which are utilized in Ukraine are disclosed, Monitoring system for SF6 circuit breakers made without associating to any exact manufacturer of existing circuit breakers is introduced; general description and structure chart are represented.

Keywords: systems of monitoring, SF6 circuit breaker, electroenergy.

Вступ

Основним обладнанням розподільчих мереж є комутаційні апарати, від роботи яких залежить надійність усіх підстанцій, ліній електропередач та розподільчих пристроїв у всіх режимах експлуатації [1].

Високовольтні вимикачі схильні до старіння і зносу на протязі їх експлуатації. Тому, щоб збалансувати цей ефект, протягом їх терміну служби здійснюються різні види технічного обслуговування і ремонту. Крім того, термін експлуатації комутаційного обладнання важко визначити заздалегідь, так як це залежить від багатьох факторів, таких як технологія виготовлення, електрична напруга, умови довкілля і механічні навантаження, температурні режими.

Дослідження підвищення ефективності експлуатації елегазових вимикачів при застосуванні сучасних систем моніторингу.

Використання сучасних систем моніторингу та діагностування надає широкі можливості для збору різних аналогових та дискретних сигналів стану силового обладнання системи електропостачання. Наприклад, для елегазових вимикачів такими сигналами можуть бути: тиск елегазової суміші, температура в середині та зовні бака, струми соленоїдів включення та відключення, хід контактної групи, час відключення, положення вимикача на поточний момент часу [2].

Моніторинг вимикачів використовується для вирішення двох основних завдань. Перше – контроль нормального режиму роботи, що дозволяє ефективніше використовувати ресурс вимикача та попереджати його аварійний стан своєчасним виведенням в ремонт. Друге – збір інформації про положення вимикача для систем керування та автоматизації електроенергетичного об'єкта. Найбільш ефективним є комплексний моніторинг, який дає змогу інтегрувати рішення зазначених завдань в єдину автоматизовану систему керування технологічними процесами (АСК ТП) [4].

В даний час провідними виробниками систем моніторингу, що пропонують свої рішення є: OLM у ABB (виробництво Elcon), CBWatch у Areva, CBM у Siemens. На жаль, ці системи працюють лише з вимикачами конкретного виробника. Протягом експлуатації таких систем моніторингу в електричних системах України було виявлено деякі недоліки їхньої роботи [3].

В Україні система моніторингу високовольтних елегазових вимикачів, що не залежить від конкретного їх виробника, реалізована підприємством «АНІГЕР». У цій розробці застосовано комбінований підхід щодо обрання технічних та програмних заходів, використано рішення від ABB та власні розробки. Це дає змогу використовувати перевірені часом засоби від відомого в світі

виробника та при цьому не залежати від його системних рішень. Структурна схема такої системи представлена на рисунку 1.

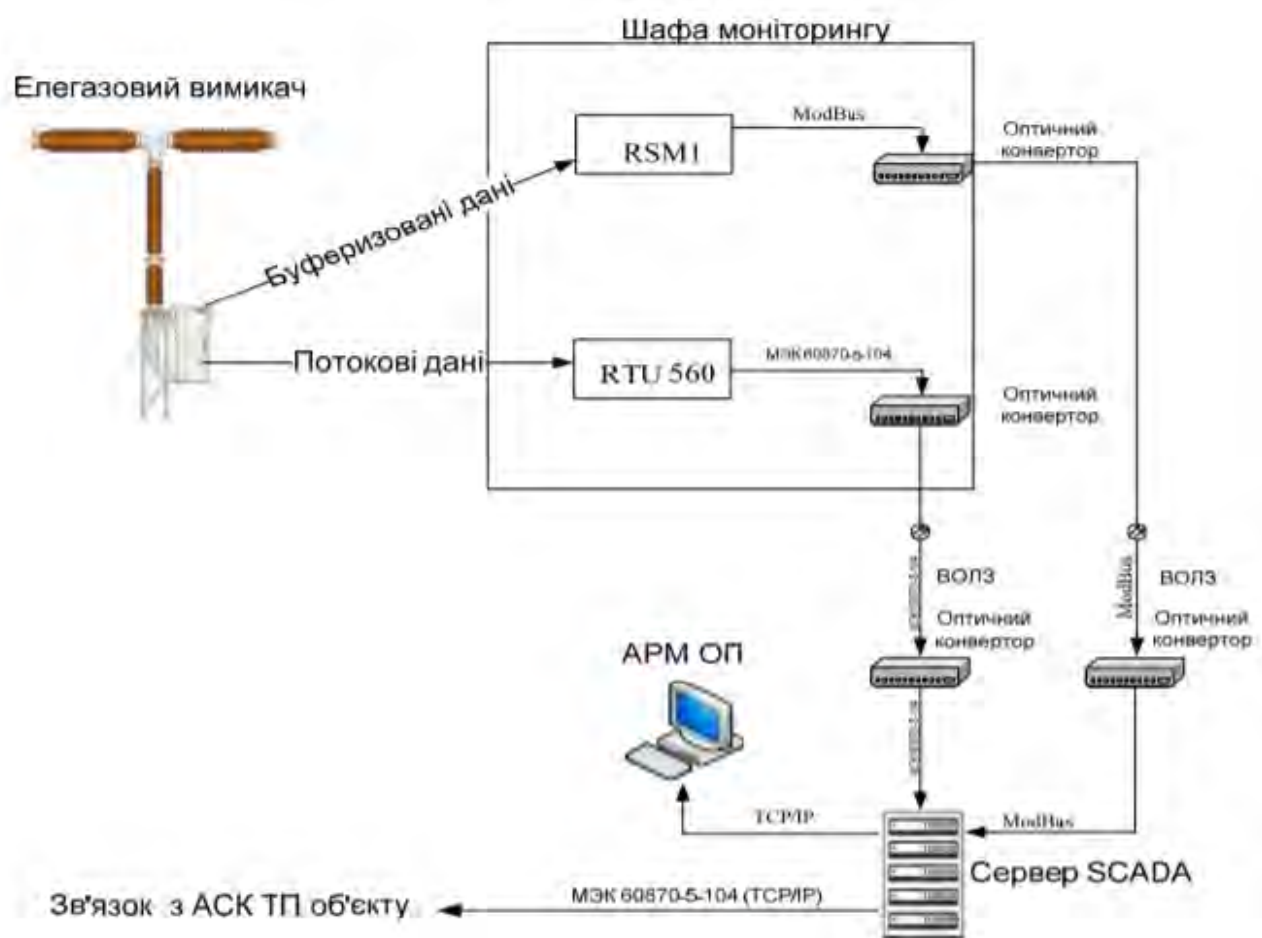


Рисунок 1. - Структурна схема розподілення буферизованих та поточкових даних.

Системи такого типу встановлені на підстанціях Західноукраїнська 750 кВ, Вінницька 750 кВ, Дніпровська 750 кВ, Запорізька 750 кВ, Північноукраїнська 750 кВ, Донбаська 750 кВ та Південнодонбаська 750 кВ.

На процес вибору конкретної системи моніторингу комутаційних апаратів впливає багато різних чинників:

- економічні (вартість самої системи, її ремонту та модернізації);
- експлуатаційні (простота експлуатації, інформативність для оперативного персоналу, зручність налаштування);
- системні (можливість інтеграції в інші системи, у тому числі в АСК ТП енергетичного об'єкта, підтримка різних протоколів передачі даних, підтримка обладнання різних виробників, отримання інформації системного рівня та організація роботи з цими даними).

Система моніторингу елегазових вимикачів, розроблена МПП «АНІГЕР», не залежить від виробника вимикачів, дає змогу використовувати будь-які сигнали, отримані з вимикачів, має свої алгоритми аналізу отриманої інформації, використовує міжнародні телемеханічні протоколи зв'язку IEC 60870-5-104 та Modicon ModBus RTU, файли осцилограм записуються у стандартному форматі COMTRADE. Завдяки цьому інтеграція системи моніторингу в інші системи енергетичних об'єктів, у тому числі АСКТП, не викликає труднощів. Дана система вирішує завдання контролю стану високовольтного обладнання з визначенням поточних параметрів та прогнозного розрахунку основних технологічних величин [4].

Завдяки цьому інтеграція системи моніторингу в інші системи енергетичних об'єктів, у тому числі АСКТП, не викликає труднощів. Дана система вирішує завдання контролю стану високовольтного обладнання з визначенням поточних параметрів та прогнозного розрахунку основних технологічних величин [4]. З впровадженням системи зростає якість обслуговування елегазових вимикачів, що призведе до більш надійної роботи обладнання. Реалізація функцій

прогнозування дозволить вчасно попередити несправності вимикача. Детальний аналіз кожного відключення вимикачем струму короткого замикання, отримання достовірних даних про час роботи вимикача та величину струму короткого замикання, дозволить в автоматичному режимі розрахувати комутаційний ресурс вимикача. Аналіз порівняння з попередніми відключеннями дозволить прослідкувати динаміку швидкості комутаційної операції та визначитись з необхідністю проведення ремонтних робіт [5].

Висновки

Отже, система моніторингу елегазових вимикачів в режимі реального часу, дозволяє здійснювати технічне обслуговування програм більш надійним економічно ефективним способом:

- 1) Забезпечує формування програми технічного обслуговування, використовуючи дані, які безперервно збираються в режимі реального часу.
- 2) Своєчасне інформування, сигналізацію в разі виявлення проблем, які пов'язані з неправильним використанням або порушенням нормальної роботи вимикача.
- 3) Надає розрахунки з питань відстрочення планового технічного обслуговування.

Проаналізувавши, можна сказати, що з використанням систем моніторингу розробленими МПП «АНІГЕР» зросте якість та ефективність обслуговування елегазових вимикачів, що призведе до більш надійного електропостачання споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Электрическая часть станций и подстанций / ред. А.А. Васильева. – М. : Энергия, 1980. – 602 с.
2. Кутін, В. М. Визначення діагностичних параметрів оцінки технічного стану високовольтного вимикача [Текст] / Кутін В. М. Рубаненко О.Є., Мисенко С. В. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №3. – С. 33-39. ISSN 1813-5420.
3. Михайлюк, Р. І. Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у ПівденноЗахідній енергетичній системі [Текст] / Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко // Енергетика та електрифікація – 2014. – №3. – С. 34–37.
4. IEEE Standard C37.1-1994 // IEEE Standard Definition, Specification, and Analysis of Systems Used for Supervisory Control, Data Acquisition, and Automatic Control.
5. Кутін, В. М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів [Текст] / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №1. – С.109–113.

Володимир Васильович Нетребський — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: netrebskiy@ukr.net.

Євгеній Олександрович Смажний — студент гр. ЕС-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: smazhnyi.jenia@gmail.com.

Netrebskiy V. Vasylovych — Ph.D., Associate Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : netrebskiy@ukr.net.

Yevheniy O. Smazhnyi —student of ES-18m group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : smazhnyi.jenia@gmail.com

Ю. В. Малогулко¹
В. В. Хавтирко²

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

^{1,2} Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі подано аналіз сучасного стану та подальшого розвитку системи технічного обслуговування і ремонту силових трансформаторів. Також розглянуто питання загальної стратегії розвитку сучасних методів технічної діагностики трансформаторів. Дана загальна оцінка перспективному методу діагностики (Метод частотного аналізу).

Ключові слова: силовий трансформатор, діагностика, прогнозування, моніторинг, метод частотного аналізу.

Abstract

In this work the analysis of the current state and further development of the system of maintenance and repair of power transformers is given. Also the questions of the general strategy of development of modern methods of technical diagnostics of transformers are considered. The general assessment of the perspective diagnostic method is given (Frequency Analysis Method).

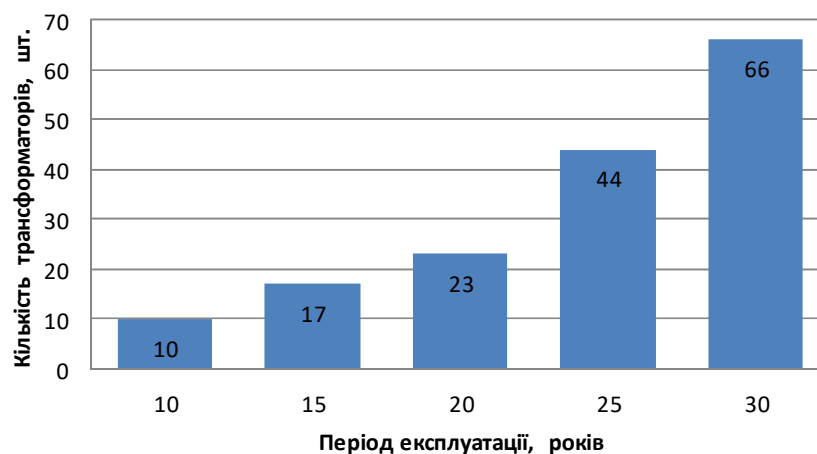
Keywords: Power transformer, diagnostics, prognostication, monitoring, frequency analysis method.

Вступ

Сучасні промислові підприємства працюють в циклі безперервного виробництва, перебої в роботі яких призводять до важких економічних втрат. Це накладає підвищені вимоги до систем виробництва і розподілу електричної енергії, а отже, і до елементів, що складають ці системи. Одним з найголовніших елементів систем розподілу електричної енергії є силові трансформатори. Своєчасне виявлення дефектів трансформаторів дозволяє запобігти виникненню аварійних ситуацій, а також ефективніше планувати вивід трансформаторів з роботи для проведення ремонтних робіт. В даний час існує безліч методів оцінки технічного стану трансформаторів. Кращими є ті методи діагностики, для здійснення яких не потрібно зняття робочої напруги[1].

Матеріал і результати дослідження

На малюнку 1 і 2 показано розподіл трансформаторів по роках експлуатації.



Малюнок 1 – Розподіл трансформаторів по рокам експлуатації

Аналіз представлених даних показує, що основна частина трансформаторів виробила нормативний термін служби, а протягом найближчих 5-10 років цей показник збільшиться ще на 25%. Характер пошкоджуваності трансформаторів по роках експлуатації показує, що основними причинами їх відмов є виткові замикання, знос і старіння обмоток, поганий стан трансформаторного масла, дефекти монтажу, заводський брак. Так як найближчим часом не очікується суттєвого оновлення парку трансформаторів, в зв'язку з цим стає актуальною проблема продовження їх експлуатації при існуючих навантаженнях.

Основним критерієм загальної оцінки стану трансформаторів є технічний стан ізоляції обмоток і трансформаторного масла. Так як основна частина трансформаторів розташовується на відкритому повітрі, істотний вплив на надійність ізоляції надають кліматичні умови експлуатації, такі як: перепади температури навколишнього середовища (протягом доби може становити 20-30 градусів), опади і т.д..

Одним з головних шляхів підтримки експлуатаційної надійності є організація якісного технічного обслуговування трансформаторів[2]. Актуальність розробки систем технічної діагностики полягає в наступному:

- зростання кількості трансформаторів з закінченим нормативним терміном експлуатації призводить до збільшення числа відмов;
- низька ефективність тестового контролю, що проводиться методами, регламентованими відповідними документами, не дозволяє забезпечити надійну роботу трансформаторів;
- рішення задачі - виявлення дефектів що швидко і повільно розвиваються на ранній стадії розвитку.

Один зі способів продовження експлуатації силових трансформаторів – технічна діагностика електрообладнання, в тому числі і силових трансформаторів, яка дозволяє:

- своєчасно попередити виникнення аварійних ситуацій;
- значно знизити витрати на ремонти;
- оцінити дійсний стан електрообладнання;
- підготувати до введення в роботу систем безперервної діагностики.

Як показали дослідження, основними причинами відмов у роботі трансформаторів є: знос силових обмоток, низька якість технічного обслуговування і ремонту, недотримання періодичності і обсягу виконання профілактичних заходів, недостатній рівень виконання засобів оцінки технічного стану та діагностики. Ефективність функціонування силових трансформаторів, забезпечення їх безвідмовності і довговічності пов'язані з аналізом і оцінкою показників надійності[3]. Для оцінки і підтримки необхідної надійності трансформаторів дуже важливим є моніторинг. Він включає в себе комплексне обстеження і діагностику, які допоможуть запобігати аварійним відмовам і дозволяють прогнозувати можливість подальшої безаварійної роботи силових трансформаторів. Одним із способів продовження експлуатації силових трансформаторів є діагностика технічного стану силових трансформаторів. Сучасні методи технічної діагностики силових трансформаторів дозволяють проводити діагностику без їх відключення. Значна частина відмов трансформаторів може бути попереджена шляхом використання сучасних методів діагностики технічного стану. Діагностика трансформаторів дозволяє: приймати оцінку стану функціонуючого електрообладнання на основі результатів вимірювань і випробувань; відслідковувати «лінію життя» електрообладнання та ін .. Оцінка стану трансформаторів виконується за допомогою замірів і випробувань[4].

Існуючі на сьогодні методи контролю безпечного стану внутрішньої ізоляції діляться на дві категорії – з періодичним або постійним методами діагностування параметрів ізоляції. Безсумнівно, в перспективі більшість трансформаторів будуть оснащені системами безперервного моніторингу, однак висока вартість обладнання, індивідуальне налаштування систем на кожен окремий трансформатор, сервісне обслуговування і т.д.[5]. ставлять під сумнів перспективу повсюдного впровадження таких систем найближчим часом. Не можна не враховувати і той факт, що в основу цих систем входять сучасні методи діагностування, що не завжди дають повне уявлення про процеси, що відбуваються. У методів періодичного контролю існуюча система аналізу не дозволяє виявляти дефекти що швидко розвиваються. У зв'язку з цим представляється необхідним модернізувати існуючі системи діагностики шляхом впровадження сучасних фізичних методів, що дозволить більш повно виявляти дефекти устаткування.

Досить перспективним в плані вдосконалення, є метод низьковольтного частотного аналізу, який використовується в якості чутливого діагностичного засобу для виявлення відхилень в геометрії обмоток до і після випробування, після КЗ, при транспортуванні і т.д.. Відмінною рисою цього методу є те, що діагностику можна проводити на працюючому обладнанні (економічний ефект).

МЧА передбачає подачу низьковольтного сигналу в широкому діапазоні частот певної форми для побудови діаграм спектральної щільності на предмет асиметрії обмоток. В результаті проведення кількох вимірювань для однієї схеми з'єднань, отримані спектри порівнюються пофазно і для обмоток кожної фази з метою визначення найбільш асиметричної обмотки аналізуються отримані результати. Виходячи, з ідентичності фазних обмоток трифазного трансформатора даний метод здатний визначити ненормальні відмінності обмоток під час пофазного порівняння з спектрограмою, а також відмінності обумовлені конструктивними особливостями. Будь-яка значна деформація призведе до збільшення значення асиметрії в порівнянні з показниками, отриманими для обмоток без деформацій. Зміна температури і стану масла не впливають на здатність визначати деформації обмоток, тому що дані зміни в рівній мірі впливають на всі обмотки. Багато діелектричних і механічних дефектів в силових трансформаторах викликані механічними змінами в структурі обмоток. Ці зміни зсуву провідників обмотки можуть бути результатом транспортування, впливом струмів КЗ або процесами старіння ізоляції. Визначення цих зсувів перш, ніж виникне дефект ізоляції, здатне зменшити позапланові експлуатаційні витрати і надати можливість підвищення надійності системи шляхом запобігання аварійних відключень. МЧА може розглядатися в якості найкращої методики для створення бази даних вимірювань, в зв'язку з тим, що спектрограми обмоток всіх трьох фаз можуть змінюватися з плином часу експлуатації через перепади температури і вмісту вологи[6].

Висновки

Регулярне проведення діагностування силових трансформаторів дозволяє виявити на ранньому етапі виникнення неполадок, більш ефективно планувати проведення ремонтних робіт і, як наслідок, збільшити термін служби дороговартісних силових трансформаторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баталыгин, С.Н. Комплексное обследование силовых трансформаторов/ С.Н. Баталыгин, Г.М. Михеев, В.М. Шевцов // Материалы XXVI сессии Всероссийского семинара «Кибернетика электрических систем по тематике «Диагностика электрооборудования». – Ч.І. – г. Новочеркасск, 2004. – С. 14-15.
2. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования [Текст]: АО "фирма ОРГРЭС". – Москва, 1998г. – 493с
3. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – №3. – С. 35-36.
4. Чичинский, М.И. Повреждаемость маслонаполненного оборудования электрических сетей и качество контроля его состояния/ М.И. Чичинский. – М.: Энергетик,-2000,-№11.
5. http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2011_02_2/pdf/094maskolenko.pdf?fbclid=IwAR1rvfcxZowBJCzW0oSwMEf8IeYbgShsh0HfSR7UW0HVouqmTZ2Ye5dLw50
6. Лежнюк П.Д., Зелінський В.І. Електричні апарати розподільчих установок. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 128 с.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., старший викладач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Хавтурко Віталій Васильович - студент гр. ЕС – 18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vertik97@i.ua.

Juliya V. Malogulko — Ph.D., Senior lecturer of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Vitaliy V. Havtyrko - student of PS – 18m group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: vertik97@i.ua.

ЗАЛУЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено автоматичний регулятор конденсаторних установок для управління реактивною потужністю конденсаторних батарей підприємств та відновлювальних джерел енергії.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, конденсаторні батареї, відновлювальні джерела електроенергії.

Abstract

An automatic regulator of condenser installations for control of reactive power of condenser batteries of enterprises and renewable energy sources was developed.

Keywords: reactive power compensation, condenser batteries, renewable energy sources.

Вступ

Компенсація реактивної потужності (КРП) є одним з ефективних шляхів зниження втрат електроенергії у розподільних електричних мережах (РЕМ). Але впровадження компенсуючих установок (КУ) в ці мережі проводиться повільно, що зумовлено значними затратами на установлення і експлуатацію КУ. КРП в РЕМ також можна проводити шляхом залучення потужностей відновлювальних джерел електроенергії, які установлені в РЕМ. Зокрема для цього можна використати технічні можливості вітрових та сонячних електричних станцій для регулювання коефіцієнту потужності в електричній мережі.

Результати дослідження

Найчастіше вітрові та сонячні електричні станції працюють у режимі видачі активної потужності з $\cos\varphi=1$, що зумовлено комерційними інтересами. Однак є технічна можливість регулювання реактивної потужності вітрових та сонячних електричних станцій, вимоги щодо якого зазначені в [1].

Для управління реактивною потужністю КУ підприємств та відновлювальних джерел електроенергії розроблено автоматичний регулятор КУ [2].

На рис.1 представлено блок-схему пристрою, на якій: $1_1, 1_2, \dots, 1_n$ – давачі реактивної потужності, встановлені у вузлах мережі, де розміщені конденсаторні батареї (КБ); 2 – обчислювальний пристрій; 3 – задавач уставки вхідної реактивної потужності (ВРП) на ввіді підприємства; 4 – давач фактичної ВРП; 5 – давач опорів ліній схеми заміщення підсистеми; 6 – давач базової напруги, до якої приведені опори віток схеми заміщення; 7 – пристрій задаючий конфігурацію мережі (матрицю шляхів); 8 – блок задання параметрів ВДЕ; $9_1, 9_2, \dots, 9_n$ – виконуючі органи для ввімкнення або вимкнення секцій КБ; $10_1, 10_2, \dots, 10_n$ – виконуючі органи для перемикання режимів роботи ВДЕ.

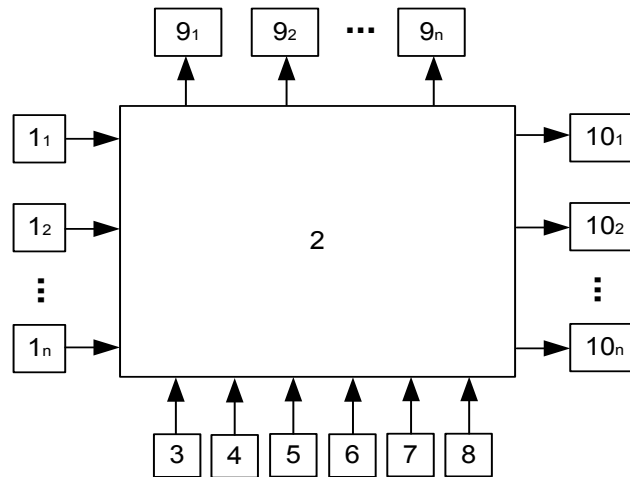


Рис. 1 – Блок схема пристрою

Висновки

1. Розроблений пристрій дозволяє підвищити ефективність використання реактивних потужностей КУ підприємств та залучення регулювальних можливостей відновлювальних джерел електроенергії для компенсації реактивної потужності.
2. Запропоноване управління реактивними навантаженнями КУ підприємств та відновлювальних джерел електроенергії дає можливість одержати додаткове зменшення втрат потужності у РЕМ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України / Стандарт підприємства. *Проект* // СОУ НЕК XX.XXX:2017. – Київ, 2017.
2. Пат. 127255. Україна, МПК G05F1/70. Автоматичний регулятор конденсаторних установок / П. Д. Лежнюк, О. Д. Демов, Ю. Ю. Півнюк; Вінницький національний технічний університет. - № u2018 01388; заявл. 12.02.2018; опубл. 25.07.2018; Бюл. № 14.

Півнюк Юрій Юрійович – асистент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pivnjuk-jurijj@rambler.ru.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Pivniuk Yuriy Yu. – assistant of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pivnjuk-jurijj@rambler.ru.

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — Dr. Sc.(Eng.), Professor, Head of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

РІВНІ ТА БАЗОВІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто енергоефективність підприємства, рівні енергоефективності на підприємстві та базові показники.

Ключові слова: енергетичний паспорт, рівні енергоефективності, базові показники.

Abstract

The energy efficiency of the enterprise is considered, energy efficiency levels at the enterprise and baseline indicators.

Keywords: energy passport, energy efficiency levels, baseline indicators.

Вступ

Енергоефективність – раціональне використання енергетичних ресурсів, економічне використання паливно-енергетичних ресурсів при дійсному рівні розвитку техніки та технології. Базовий рівень енергоефективності визначається для кожного місяця нормативного року (умовний рік, протягом якого температура та кількість робочих днів по місяцям відповідає усередненому показнику за 3 останні роки). Якщо інформація по всім або частині показників відсутня, то розрахунок базового рівня ведеться на основі енергетичних аудитів, паспортів та сертифікатів.

Результати дослідження

З початку 1970х років багато країн впроваджували політику і програми з підвищення енергоефективності. Сьогодні на промисловий сектор припадає майже 40% річного світового споживання первинних енергоресурсів і приблизно така ж частка світових викидів вуглекислого газу. Прийнято міжнародний стандарт ISO 50001, який регулює в тому числі енергоефективність. Наскільки енергоефективне підприємство можна побачити по його енергетичному паспорту, саме в ньому вказується клас енергоефективності. Клас А (А+, А++) – підприємство з найвищим показником енергоефективності, а клас G – з найнижчим показником енергоефективності. Енергетичний паспорт складається ще під час проектування підприємства. Також важливими є базові показники енергоефективності. Базовий рівень фіксує існуючий стан теплоспоживання підприємства за 3 роки та відповідає фактичному споживанню підприємства за умови дотримання санітарних вимог та перевищує фактичне споживання за умови недотримання.

Щомісячний базовий рівень енергоспоживання визначається як:

$$Q_{bi} = Q_{bi\,on} + Q_{bi\,gen} + Q_{bi\,vent}, \quad (1)$$

де Q_{bi} – базовий рівень споживання теплової енергії закладу, Гкал/місяць;

i – місяць, для якого розраховується базовий рівень;

$Q_{bi\,on}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби опалення, Гкал/місяць;

$Q_{bi\,gen}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання, Гкал/місяць;

$Q_{bi\,vent}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби вентиляції, Гкал/місяць

Щомісячний базовий рівень споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання для всіх місяців року визначається як:

$$Q_{bi\,gen} = K_1 \frac{m^{p.d.}}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i^{gen}}{m_i^{p.d.}} \right). \quad (2)$$

де $Q_{\bar{o}}^{gen}$ – базовий рівень споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання, Гкал/місяць;

K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення витрат теплової енергії на гаряче водопостачання в опалювальний період, $K_1=1,25$, в міжопалювальний $K_1=1$.

$m^{p.d.}$ – кількість робочих днів в місяці, для якого визначається базовий рівень споживання теплової енергії;

n – кількість місяців, по яким усереднювалось споживання теплової енергії на гаряче водопостачання;

Q_i^{gen} – споживання теплової енергії відповідно до нарахувань за i -тий місяць, Гкал/місяць;

$m_i^{p.d.}$ – кількість робочих днів в i -тому місяці, протягом яких відбувалося гаряче водопостачання (до робочих днів не відносяться період канікул в загальноосвітніх навчальних закладах).

Річний базовий рівень визначається як:

$$Q_{\bar{o}}^{pich} = \sum_{i=1}^{12} Q_{\bar{o}i} \quad (3)$$

де $Q_{\bar{o}}^{pich}$ – річний базовий рівень теплоспоживання, Гкал/рік;

$Q_{\bar{o}i}$ – базовий рівень для i -го місяця, Гкал/місяць.

Базові рівні потрібно переглядати не менше ніж раз на пів року, або після впровадження заходів, які впливають на енергоспоживання або зміни в режимі роботи закладу.

Висновок

Енергоефективність для підприємства це:

- зниження енергоємності продукції (зростає конкурентоспроможність продукції на ринках);
- отримання економії паливно-енергетичних ресурсів;
- сприяння збереженню навколишнього середовища;
- зменшення витрат підприємства, пов'язаних з придбанням енергоносіїв для виробничого процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ПРОЕКТ USAID “МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА РЕФОРМА В УКРАЇНІ” Режим доступу:

http://saee.gov.ua/sites/default/files/ENERGY_MANAGEMENT_14_08_2017.docx

2. Шкала енергоефективності. Режим доступу:

<http://e-dim.com.ua/standarty-ta-rivni-energoefektyvnosti/>

3. Енергетичний паспорт. Режим доступу:

<https://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/24>

Яна Анатоліївна Ясько – студентка групи 2ЕЕ-16б, факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yasohka14@gmail.com.

Науковий керівник: Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Yana A. Yasko – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yasohka14@gmail.com.

Supervisor: Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

СТИМУЛЮВАННЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація:

У роботі висвітлено теоретичні та методичні аспекти стимулювання енергозбереження з урахуванням специфіки електроспоживання промислових підприємств, які ґрунтуються на використанні зовнішніх і внутрішніх стимулюючих механізмів, що забезпечують заохочення до енергозбереження на підприємстві.

Ключові слова: енергозбереження, електроспоживання, стимулювання.

Abstract:

This article deals with the theoretical and methodological aspects of energy saving stimulation considering the specifics of the consumption of industrial enterprises, which are based on the use of external and internal stimulating mechanisms that provide incentives for energy saving in the enterprise.

Key words: energy saving, power consumption, stimulation.

Реалізація політики енергозбереження як на окремих підприємствах, так і в цілому на макрорівні вимагає комплексного та цілеспрямованого підходу, який повинен ґрунтуватися на запровадженні стимулюючих та заохочувальних важелів з одного боку та відповідальності з іншого.

Об'єктами управління в системі матеріального стимулювання є основні виробничі підрозділи, допоміжні підрозділи, енергетичне господарство та інші служби підприємства. Оскільки, як правило, певний потенціал енергозбереження існує на всіх ділянках підприємства, комплексність є головною вимогою до системи управління енергозбереженням. [1]

В результаті реалізації політики енергозбереження в частині підрозділів отримуватиметься пряма економія ПЕР або попереджено їх втрати. Інша частина служб та підрозділів впливатиме на процес енергозбереження непрямым чином, перш за все це відбуватиметься у вигляді створення необхідних умов для прямої економії ПЕР в усіх структурних одиницях підприємства.

До числа тих підрозділів, які, як правило, забезпечують непрямий вплив на економію ПЕР, можна віднести: відділи та служби, які зайняті виробничим плануванням, організацією і оплатою праці, матеріальнотехнічним постачанням, ремонтом, обліком та контролем використання ресурсів на підприємстві, а також управлінська ланка, лабораторії тощо.

З огляду на те, що на енергомістких виробництвах реалізація політики енергозбереження є стратегічним завданням для успішного існування на ринку, і це на фоні суцільної нестачі інвестиційних коштів на його реалізацію, доцільним видається акумулювання всіх коштів, зекономлених завдяки провадженню енергозберігаючих заходів, в спеціальному фонді енергозбереження на кожному окремому підприємстві, кошти якого також слугуватимуть джерелом фінансування подальших енергозберігаючих заходів. Так економія ресурсів сприятиме ще більшій економії і не буде допускатись розсіювання зекономлених на енергозбереженні коштів на вирішення безлічі інших завдань, які можливо не завжди відповідатимуть стратегічним цілям підприємства.

На промислових підприємствах організація та створення таких внутрішньогосподарських фондів енерго- та ресурсозбереження викликана необхідністю забезпечення економічної бази для організації робіт по енергозбереженню. [2]



Рисунок 1 - Блок-схема формування мотивації до впровадження енергозбереження у працівників промислових підприємств

Впровадження заходів з енергозбереження відбувається повільно, і це пов'язано в першу чергу з великими капітальними витратами на реалізацію зазначених заходів. Однак існує низка напрямків, які не потребують значних капітальних витрат або взагалі безкоштовні для підприємства і при цьому можуть дати значну економію коштів. Заходи, що потребують незначного інвестування, не можна віднести до організаційних, оскільки вони потребують коштів на впровадження, але їх величина для підприємства не є значною і може покриватися власними коштами. Зазвичай найбільшу проблему у реалізації заходів енергозбереження становить відсутність або обмеженість коштів у підприємства на дані потреби.

Використання залучених коштів потребує детального обґрунтування і збільшує вартість інвестиційного ресурсу. Тому основна перевага при впровадженні надається заходам, що можуть реалізовуватися без залучення стороннього капіталу. Визначення терміну «маловитратні заходи енергозбереження» можна навести таким чином: заходи енергозбереження, які реалізуються за власні кошти підприємства, для впровадження не потребують зупинки всього підприємства або його складових частин, і простий термін окупності яких не перевищує 1 року. В процесі дослідження необхідно здійснити розмежування на постійні та змінні енергетичні витрати. До постійних витрат належать витрати енергії на опалення, вентиляцію, освітлення, водопостачання, до змінних – витрати енергії і коштів на роботу технологічного обладнання. При впровадженні енергозберігаючих заходів велика частина ресурсів економиться саме з постійного блоку витрат. Це пов'язано з тим, що велика частка енергетичного споживання на підприємствах припадає саме на ці напрямки, а також з тим, що

реалізація заходів енергозбереження саме в цих сферах є технічно простішими, ніж у технологічних процесах.

Прийнято вважати, що найбільшу економічну вигоду дозволяють отримати заходи, які потребують капітальних вкладень. Але й безвитратні напрямки енергозбереження мають величезний потенціал і при цьому вимагають лише організаційних змін у структурі управління підприємством.

Реалізація безвитратних і маловитратних заходів потребує обґрунтування з позиції аналізу всіх можливих витрат і доходів, що можуть бути отримані. Відокремлювати маловитратні заходи від інших заходів можна, використовуючи такі умови реалізації маловитратних заходів:

$$\begin{aligned} 0 \leq I_1 \leq BOK; \\ \left[\frac{I_1}{D} \right] \leq 1, \end{aligned} \quad (1)$$

де BOK – власні кошти підприємства, грн.

Перша умова регламентує величину інвестицій в межах від нуля (організаційні заходи) до значення власних оборотних коштів. Друга умова вимагає, щоб термін окупності заходу не перевищував одного року. [3]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук: Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2008. - 110 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://burbelo.vk.vntu.edu.ua//file/512ea1f1747bccc448e76292343f2a42.pdf>
2. Сердюк Т. В. Організаційно-економічний механізм енергозбереження в промисловості / Т. В. Сердюк: Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. - 154 с.
3. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління/ Монографія. - Вінниця: ВНТУ, 2014. - 346 с.

Науковий керівник: **Михайло Йосипович Бурбело** – доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Попсуй Ліна Віталіївна – студентка групи ЕМ-18м, Вінницький Національний Технічний Університет, м. Вінниця.

Supervisor: **Mykhailo Y. Burbelo** - Doc. Sc. (Eng), Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Lina. V. Popsui - student of EM-18m group, Vinnytsa National Technical University, Vinnytsya.

ВПЛИВ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА КОМПЕНСАЦІЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація:

У роботі висвітлено теоретичні та методичні аспекти впливу конденсаторних установок промислових споживачів на компенсацію реактивної потужності в розподільних мережах.

Ключові слова: конденсаторні установки, реактивна потужність, розподільні мережі.

Abstract:

This article deals with the theoretical and methodological of the influence of condenser installations of industrial consumers on reactive power compensation in distribution networks

Key words: installations, reactive power, distribution networks.

Величина зменшення втрат від установлення КУ в мережах ЕК залежить не тільки від реактивних навантажень комунально-побутових споживачів, а від і реактивних навантажень промислових споживачів, які живляться від цих мереж. Причому величина реактивних навантажень цих споживачів на перспективу визначається неоднозначно, оскільки це зв'язано з загальним економічним станом споживачів, який в ринкових умовах однозначно не прогнозується. Тобто між ЕК та промисловими споживачами, які живляться від цих мереж, в процесі впровадження КУ складається «гральна ситуація». Це зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК.

На рисунку 1 показана залежність відносної величини втрат в живильних мережах $\Delta P_{\text{сп}}^{\text{ЕК}}$ від відносної величини реактивного навантаження промислового споживача $\Delta Q_{\text{пс}}^* = \frac{Q_{\text{пс}}}{Q_{\text{ек}}}$ за умови, що комунально-побутове реактивне навантаження постійне. У цьому випадку зменшення $\Delta P_{\text{сп}}^{\text{ЕК}}$ викликане тільки зменшенням $Q_{\text{пс}}$.

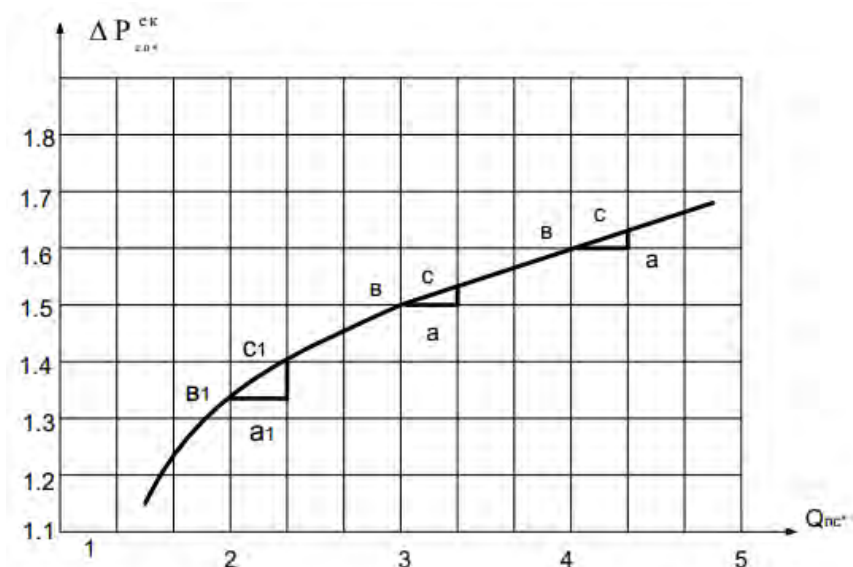


Рисунок 1 – Залежність відносної величини втрат, створених комунально-побутовим реактивним навантаженням, від величини реактивного навантаження промислового споживача

З графіка видно, що питоме зниження втрат, що створюються реактивним навантаженням комунально-побутових споживачів, за рахунок зменшення реактивного навантаження промислового споживача можна представити як $\varepsilon = \frac{a_c}{a_b}$.

Таким чином, зменшення втрат активної потужності, створених реактивними навантаженнями комунально-побутових споживачів, за рахунок компенсації реактивного навантаження промислового споживача відбувається тим ефективніше, чим більше відношення $\frac{Q_{ек}}{Q_{пс}}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Демов О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсуючих установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній / Монографія. - Вінниця: ВНТУ, 2016. - 98 с. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12510/Demov_monograph.pdf?sequence=3&isAllowed=y
2. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах / Ю. С. Железко. - М. : Энергоиздат, 1981. - 200 с.
3. Метод впровадження конденсаторних установок в районні електричні мережі / [А. А. Чаленко, А. О. Демов, О. Д. Демов, Хінді Айман Тахер] // Энергетика и электрификация. - 2003. - № 2. - С. 35-39.

Науковий керівник: **Демов Олександр Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Березовський Олександр Степанович – студент групи ЕМ-18м, Вінницький Національний Технічний Університет, м. Вінниця.

Supervisor: **Olexandr D. Demov** - Can. Sc. (Eng), Docent of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Olexandr. S. Berezovskyi- student of EM-18m group, Vinnytsa National Technical University, Vinnytsya.

ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто проблему енергоефективності підприємства та важливість заощадження енергоресурсів. Висвітлено основні показники енергетичної ефективності.

Ключові слова: енергозбереження, енергетична ефективність, промислове підприємство.

Abstract

The problem of energy efficiency of the enterprise and the importance of energy saving are considered. The basic indicators of energy efficiency are shown.

Keywords: energy saving, energy efficiency, industrial enterprise.

Вступ

Серед актуальних проблем, що стоять перед сучасними підприємствами різних галузей промисловості, можна виділити високу енергоемність виробничих процесів і нераціональність використання енергоресурсів. Сьогодні кожне підприємство намагається мінімізувати витрати ресурсів. Для того, щоб отримувати максимум прибутку необхідно ефективно використовувати паливно-енергетичні ресурси.

Результати дослідження

Згідно з нормативними документами визначено, що ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та динаміку розвитку підприємства при впровадженні системи енергозбереження можна обчислювати на основі розрахунку низки показників [1-3]:

– питома енергоемність продукції, т у п./шт;

$$W = \frac{M}{\Pi}, \quad (1)$$

де M – маса умовного палива всіх ПЕР, тонн;

Π – кількість продукції, випущеної підприємством, шт.;

– фінансова енергоемність продукції – відношення споживання всіх видів ПЕР у т у. п. до річного випуску продукції у грн, т у. п./грн:

$$W_p = \frac{M}{\Pi_p}, \quad (2)$$

де Π_p – вартість всієї виробленої продукції за рік;

– енергетична складова собівартості продукції у відсотках;

– рівень втрат ресурсів, значення ККД інші технічні показники;

– вартість умовного палива на підприємстві, грн/ т у п

$$C = \frac{Z}{M}, \quad (3)$$

де Z – фінансові витрати на споживання всіх видів ПЕР та вартість утилізації відходів палива;

– питома витрата ПЕР на випуск продукції:

$$Y_i = \frac{C_i}{C \cdot V_i}, \quad (4)$$

де C_i – собівартість i -того виду продукції, грн;

V_i – річний обсяг випуску i -тої продукції, шт.

Здійснення оцінки економічної ефективності використання енергоресурсів потребує розрахунку коефіцієнту енергоефективності, який обчислюється за формулою:

$$K_{\text{вн}} = \frac{R}{C}, \quad (5)$$

де R – результат або ефект від здійснення енергозберігаючих заходів, грн.;

C – витрати капіталу або обсяг інвестиції для реалізації енергоефективного проекту, грн.

Розраховуючи цей показник підприємство ставить перед собою три оптимізаційні завдання [2, 4]:

1. Досягнення оптимального співвідношення між витратами і результатами виробництва (або оцінка співвідношення між витратами C і результатами R) при заздалегідь нефіксованих витратах і результатах.

2. Мінімізація витрат при заданих результатах (або оцінка витрат при заданих результатах), тобто $\min$.

3. Максимізація результатів при заданих витратах (або оцінка результатів при заданих витратах), тобто $\max$.

Показники енергоефективності можуть бути прямі, тобто такі, які безпосередньо визначають ефективність використання ПЕР, і непрямі, в яких ефективність використання ПЕР прямо не відображається, але значною мірою залежить від рівня та структури використання ПЕР.

До непрямих показників відносяться [2]:

1. Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн/т у. п.
2. Енергоємність основних виробничих фондів, т у. п./грн.
3. Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн.
4. Частка витрат на ПЕР в обсязі проміжного споживання (випуску), %.
5. Частка витрат ПЕР у собівартості продукції, робіт, послуг, %.
6. Коефіцієнт енергоозброєності праці.

Висновки

Система запропонованих показників надає можливість оцінити, яку теоретичну частку енергії становить теоретичний потенціал в загальній структурі енергоспоживання та характеризує частку від спожитої енергії підприємством, яку теоретично можна залучити у виробництво шляхом впровадження енергозберігаючих заходів. Основне призначення системи показників енергоефективності – оптимальне використання ПЕР під час виробництва товарів та послуг, тобто використання їх в економіці підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Єпіфанова І. Ю. Оцінювання ефективності споживання енергетичних ресурсів промислових підприємств / І. Ю. Єпіфанова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://epifanova.vk.vntu.edu.ua/file/monograph/f623f63a5e11d8f14a6b954a82871827.pdf>.
2. Маслікевич М. Р. Сутність оцінки енергоефективності підприємства / Маслікевич М. Р., Сердюк Б. М. // Актуальні проблеми економіки та управління: збірник наукових праць молодих вчених. – 2011. – Вип. 5. – С. 110–114.
3. Лір В. Е. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні / В. Е. Лір, У. Є. Письменна; НАН України; Ін-т екон. та прогнозів. – К.: Ін-т екон. та прогнозів, 2010. – 208 с.
4. Холмський Д. В. Методи обоснования параметров систем электроснабжения / Д. В. Холмський – К.: Наукова думка, 1993. – 157 с.
5. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України // Відп. ред. А.К. Шидловський / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.

Манжак Надія Олександрівна – студент групи 2ЕЕ-166, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nadiamanzhak1998@gmail.com

Науковий керівник: Шулле Юлія Андріївна - кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Manzhak Nadia Aleksandrovna - student group 2EE-166 Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nadiamanzhak1998@gmail.com

Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПРИСТРОЇ ДИНАМІЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА БАЗІ СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

Компенсація реактивної потужності (КРП) є одним з ефективних заходів зниження втрат електроенергії в розподільних мережах енергопостачальних компаній (ЕК). Реактивні навантаження цих мереж створюють промислові та комунально-побутові споживачі. Величина останніх спів розмірна з реактивними навантаженнями промислових споживачів, що зумовлює необхідність їх компенсації.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, розподільна мережа, зниження втрат електроенергії.

Abstract

Jet Potential Compensation (PFC) is one of the effective measures to reduce electricity losses in distribution networks of energy supply companies (EC). The reactive loads of these networks are created by industrial and municipal consumers. The magnitude of the latter is proportional to the reactive loads of industrial consumers, which necessitates their compensation.

Keywords: reactive power compensation, distribution network, reducing energy losses.

Вступ

Застосування КУ в задачах, де потрібне швидкодіюче регулювання реактивної потужності, часте перемикання секцій БК практично неможливе через систематичні кидки струму і перенапруги, що виникають при комутаціях БК звичайними вимикачами. Для обмеження цих явищ, практично їх усунення, в 60-х роках ХХ ст. у МЕІ були запропоновані способи, що дозволили знизити кидки струму при вмиканні БК і перенапруги при їх вимиканні. Це дозволило зняти обмеження за частотою комутацій БК і надати пристроям такі властивості, при яких їх стало можливо застосовувати в задачах компенсації реактивної потужності з метою поліпшення статичної і динамічної стійкості електропередач, компенсації коливальних напруги, спричинених роботою різкозмінним навантаженням. Вказаний ефект досягнутий за рахунок застосування замість звичайних вимикачів тиристорних ключів, що забезпечують комутацію БК в певний момент часу.

Метою роботи є оптимізація компенсації реактивної потужності на базі статичних тиристорних компенсаторів.

Результати дослідження

СТК є джерелами реактивної потужності, побудованими на принципі непрямого регулювання конденсаторних батарей без можливості форсування. Плавність та швидкодія регулювання в них досягається шляхом тиристорного регулювання шунтових реакторів в складі СТК.

Тиристорний ключ складається з двох тиристорів, увімкнення зустрічно-паралельно, як показано на рис.1.

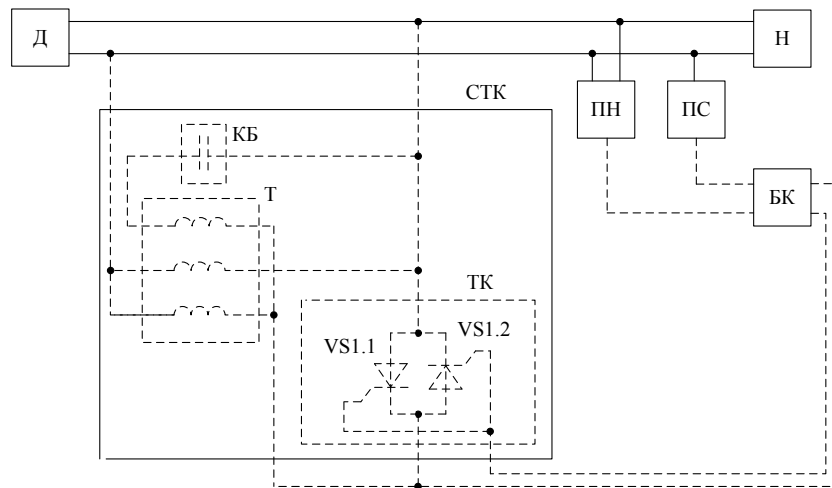


Рис.1.- Пристрій для КРП з використанням СТК

Пристрій працює таким чином. Реактивна потужність, яка генерується СТК, в залежності від зміни кута α відкриття тиристорів VS1 тиристорного ключа ТК в діапазоні від 0 до $\pi/2$, змінюється від максимальної величини до нуля. З виходів перетворювачів напруги ПН і струму ПС подаються напруга мережі і струм навантаження, які зміщені на кут ϕ . При зміні споживання реактивної потужності навантаженням Н від мінімальної величини до максимальної змінюється кут ϕ від 0 до $\pi/2$. При цьому блок керування БК формує імпульси керування в діапазоні від $\pi/2$ до π , що змінює кут відкриття тиристора VS1 від $\pi/2$ до 0 і відповідно змінює реактивну потужність, генеровану СТК, від нуля до максимальної величини. В пристрої імпульси керування формуються безпосередньо від кута зсуву ϕ , тобто від зміни реактивної потужності навантаження Н.

На рис.2. запропоновано пристрій для компенсації реактивної потужності з використанням СТК рис.1., який складається з тиристорно-реакторного кола ТРК, трифазного силового фільтра СФ, та регулятора Р. Тиристорно-реакторне коло ТРК складається з кіл, з'єднаних трикутником і утворених послідовно з'єднаними реакторами $L1...L3$ і зустрічно-паралельно ввімкненими тиристорами $VS1...VS3$. Трифазний силовий фільтр СФ виконаний з трьох кіл, які ввімкнені зіркою і утворені з послідовно з'єднаних конденсаторів $C1...C3$ і фільтрових реакторів $L4...L6$.

Пристрій СТК містить контур керування тиристорно-реакторною групою компенсатора за відхиленням. Регулятор Р складається з вимірювального каналу та системи імпульсно-фазового керування. Вимірювальний канал складається з вимірювального перетворювача напруги ПН, що містить три однофазних трансформатори напруги, двох вимірювальних перетворювачів струму ПС1 та ПС2, що містять трансформатори струму відповідно мережі та тиристорно-реакторного кола, пристрою віднімання ПВ та двох вимірювальних перетворювачів потужності ПП1 і ПП2. Система імпульсно-фазового керування складається з пристрою коректування ПК, задавача зони керування ЗЗК та трифазного формувача імпульсів ФІ.

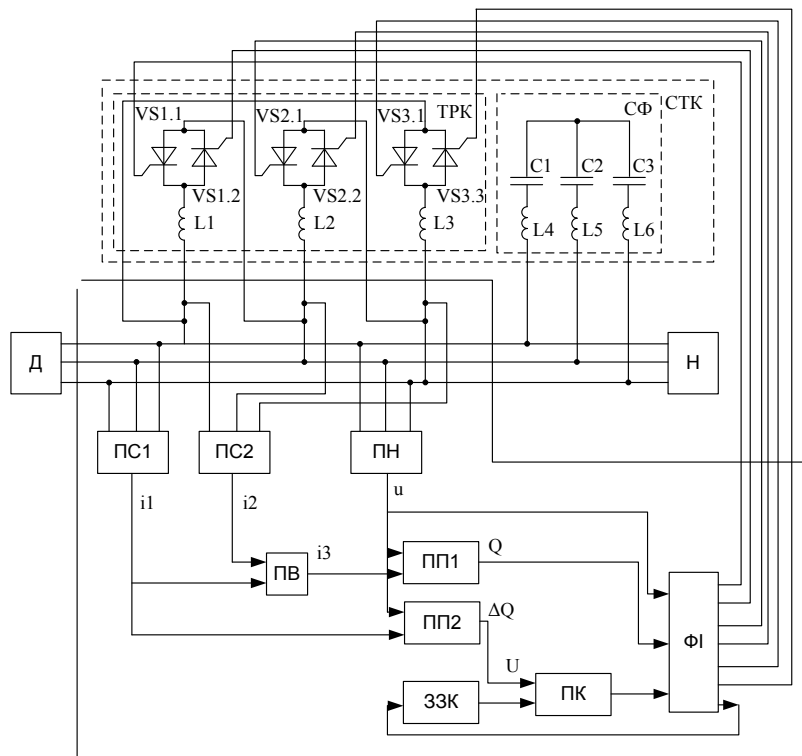


Рис.2.- Пристрій для КРП з використанням СТК

Пристрій працює таким чином. Кожний трифазний силовий фільтр СФ компенсатора СТК шунтує струми вищих гармонік зі спектру навантаження Н і тиристорно-реакторного кола ТРК тієї частоти, на яку він налагоджений, причому конденсатори С1...С3 силових фільтрів є джерелами реактивної потужності Qф. В компенсаторі СТК на компенсуючий реактор кожної фази L1...L3 тиристорно-реакторного кола ТРК подається відповідна лінійна напруга при вмиканні відповідних тиристорів VS1...VS3. Кути керування γ тиристорів відраховуються від додатного максимуму анодної напруги на тиристорах і змінюються від нуля до π/2. При цьому реактивні потужності зсуву основної гармоніки Q, які споживаються компенсуючими реакторами L1...L3 фаз АВ, ВС і СА відповідно тиристорно-реакторного кола ТРК, описується виразом:

$$Q = \frac{U_{\max}^2}{2\omega L} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha}{\pi} \right). \quad (1)$$

де $U_{\max}$ – амплітуда лінійної напруги.

Реактивна потужність компенсатора СТК залежить від кута керування тиристорів VS1...VS3. Керування фазами тиристорно-реакторного кола ТРК виконується згідно з інтегральними виразами:

$$\begin{aligned} Q_{AB} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\int_{t_n}^{t_n+T/2} (U_{BC}i_{3A} + U_{CA}i_{3B} + U_{AB}i_{3C}) dt}{T/2}, \\ Q_{BC} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\int_{t_n+T/6}^{t_n+2T/3} (U_{CA}i_{3B} + U_{AB}i_{3C} + U_{BC}i_{3A}) dt}{T/2}, \\ Q_{CA} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\int_{t_n+T/3}^{t_n+5T/6} (U_{AB}i_{3C} + U_{BC}i_{3A} + U_{CA}i_{3B}) dt}{T/2}. \end{aligned} \quad (2)$$

де t_n – момент максимуму півхвилі лінійної напруги U_{AB} ; i_{3A} , i_{3B} , i_{3C} – миттєві струми в спільних шинах живлення.

Реалізації СТК для мереж з ізольованою нейтраллю зі схемою з'єднання „трикутник” показана на рис.3.

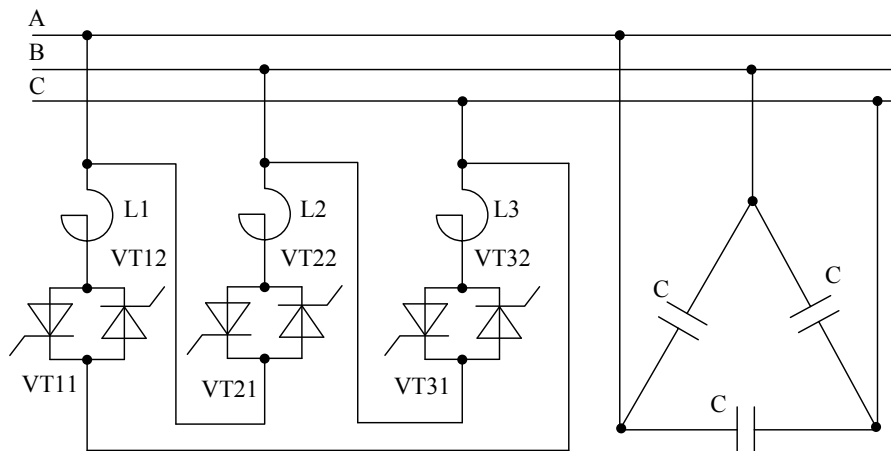


Рис.3.- СТК зі схемою з'єднання ТРР в „трикутник”

В СТК зі схемою з'єднання тиристорно-регульованих реакторів (ТРР) в „трикутник” рис.3. струм через бітиристорний ключ в кожній фазі не залежить від струму інших фаз. Тому властивості та енергетичні характеристики СТК можна виявити, розглядаючи однофазний ТРР [22].

Кожна фаза компенсатора містить реактор, індуктивність якого становить L_p , активний опір R_p , і бітиристорний ключ, тиристори якого з'єднані зустрічно-паралельно.

Висновки

Було розглянуто установки динамічної компенсації реактивної потужності на базі СТК. Проаналізовано принцип їх дії та основні властивості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зорин В. В. Особенности определения мест установки и мощности батарей конденсаторов в узлах городской сети. / Зорин В. В., Демов А. Д. // Республиканский межведомственный научно-технический сборник: Электрические сети и системы. – Львов: Высшая школа, 1981, вып.17, С. 108 – 112
2. Зорін В. В. Підвищення пропускної здатності кабельних ліній електропередач напругою 6-10 кВ за допомогою компенсації реактивної потужності / В. В. Зорін, О. М. Майстренко // Енергетика. - 2014. - № 1. - С. 71-79.

Вадим Дмитрович Григоренко — студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e14b.grigorenko@gmail.com;

Науковий керівник: **Михайло Йосипович Бурбело**— Професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Hrihorenko Vadim D. — Department of of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : 3e14b.grigorenko@gmail.com;

Supervisor: **Burbelo Mikhail Y.** — Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ АСПЕКТІВ ПОБУДОВИ
МАЛИХ СЕС

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі було розглянуто перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. Проаналізовано її вплив на об'єднану енергетичну систему. Досліджено економічні аспекти впровадження сонячної електростанції і підтримку відновлюваної енергетики з боку держави. Опрацьовано звіт ДП «Укренерго» з цього питання. Наведені величини «зелених» тарифів для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії. За результатами роботи було зроблено висновки, наведені варіанти збалансування енергетичної системи.

Ключові слова: «зелений» тариф, Об'єднана енергетична система (ОЕС), сонячна електростанція, Оптовий ринок електроенергії (ОРЕ), ДП «Укренерго», сонячна електростанція (СЕС), кредитування.

Abstract

The prospects of solar energy development in Ukraine were considered in the work. Its influence on the united energy system is analyzed. The economic aspects of the implementation of the solar power plant and the support of renewable energy from the state are explored. The Ukrenergo Statement on this issue has been processed. The values of "green" tariffs for electricity generated using alternative energy sources are given. According to the results of the work, conclusions were made, options for balancing the energy system are presented.

Keywords: green "tariff", United Energy System (UES), solar power station, Wholesale Electricity Market (WEM), SE «Ukrenergo», Solar Power Plant (SES), Lending

Вступ

Актуальність дослідження: Найбільш розповсюджені джерела альтернативної енергії в Україні – сонячні батареї та вітряні генератори. Причому застосовувати їх можна не тільки щоб забезпечити своє підприємство електрикою власної генерації і стати незалежним від постачань електроенергії її постачальниками, а ще і як хороший спосіб зберегти свої вкладення та отримувати прибуток у майбутньому. А країні це дозволить економити традиційні енергоресурси: газ, вугілля та мазут.

За розрахунками Укренерго, максимальна встановлена потужність СЕС та ВЕС, яку може прийняти ОЕС України без серйозних відхилень в роботі, – 3000 МВт. І ця величина буде досягнута вже у грудні 2019 року [1].

Результати дослідження

Було розраховано рентабельність будівництва сонячної електростанції потужністю 30 кВт. В таблиці 1 зображується порівняння доходу станції за 25 років експлуатації при різних величинах власного внеску, з використанням кредитної програми від АТ «Укргазбанк». Вона характеризує рентабельність кожного варіанту. В середньому окупність проекту з вартістю 24 300 USD становить 7 років. В розрахунку враховувалась річна інсоляція для Вінницької обл. (3.11 кВт/м²/день) [2]. Також було взято до уваги, що з кожним роком експлуатації ККД сонячних панелей зменшується на 0,5 %, термін служби фотоелектричних модулів представлений заводом-виробником становить 25 років.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика загальних даних

	15%	30%	50%
Початкові інвестиції	4 264,7 USD	7 800,3 USD	12 514,5 USD
Наступні інвестиції	9 609,53 USD	3 255,53 USD	0 USD
Окупність	7,7 років	7,1 років	6,4 років
Середній прибуток за місяць до 2030 року	435 USD/міс	435 USD/міс	435 USD/міс
Сума прибутку за 25 років	54 426 USD	57 245 USD	61 003 USD
Рентабельність інвестицій ROI	292 в % за 25 р.	418 в % за 25 р.	387 в % за 25 р.

Висновки

Єдиний можливий на сьогодні варіант для балансування СЕС без обмеження генерації з ВДЕ – створення сучасних високоманеврових потужностей (газопоршневі станції, ГАЕС, накопичувачі енергії тощо). До 2025 року необхідно побудувати 2.5 тис. МВт таких балансуючих потужностей. Це дозволить уникнути обмеження ВДЕ і мінімізувати зростання тарифів а електроенергію для споживачів усіх категорій [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Укренерго пропонує план «С» для розвитку “зеленої” генерації. Режим доступу: <https://ua.energy/osnovni-podiyi/ukrenergo-proponuye-plan-s-rozvytku-vde/>
2. Річна інсоляція для міст України. Режим доступу: <https://www.solar-battery.com.ua/karta-solnechnoy-aktivnosti-v-ukraine/>
3. «Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей», НЕК «Укренерго», 2017. Режим доступу: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/plan-rozvytku-oes-ukrayiny/zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej/>

Боберський Андрій Іванович — студент групи групи Е-18мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: aboberskiy@gmail.com.

Науковий керівник: **Лобода Юрій Васильович** — аспірант кафедри ЕСЕМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Andriy Ivanovich Boberskiy — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: aboberskiy@gmail.com.

Supervisor: Yuri Vasilievich Loboda — postgraduate student of the ESEEM, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

КОНЦЕПЦІЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА БАЗІ СИСТЕМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На даному етапі науково-дослідної роботи розглянуто основні підходи до реалізації та види систем «розумних» будинків. За результатами роботи зроблено висновки, щодо актуальності розглянутого питання.

Ключові слова: електричні мережі, силова електроніка, енергетична мережа, електрична енергія, енергозбереження, енергетичний аудит, економія, освітлення, датчик, розумний будинок.

Abstract

At this stage of research work the main approaches to implementation and types of systems of "smart" houses are considered. According to the results of work, conclusions are made regarding the relevance of the issue under consideration.

Keywords: electrical networks, power electronics, power grid, electric power, energy saving, energy audit, economy, lighting, sensor, smart home.

Вступ

Найбільшими споживачами електроенергії у комунально-побутовому господарстві є житлові будинки. Вони щороку споживають в загальному 400 кВт*год на людину, із яких приблизно 280 кВт*год споживається в середині квартири на освітлення і побутові пристрої різного призначення і 120 кВт*год – в установках інженерного устаткування й освітлення будинкових приміщень. Квартирне споживання становить приблизно 900 кВт*год на рік у розрахунку на середню міську квартиру з газовою плитою і 2000 кВт*год – з електричною плитою. Тому актуальним є питання економії енергоресурсів у будинках.

Метою дослідження є аналіз можливостей застосування енергозберігаючих технологій в розумних будинках за для підвищення їх енергоефективності

Результати дослідження

«Розумний Дім» – це система інтелектуальної автоматики для управління інженерними системами сучасної будівлі.

Будь-якій людині в будинку, в квартирі або в офісі важливо відчувати себе комфортно і в безпеці. Саме ці два завдання плюс естетика зовнішнього вигляду пристроїв і є основні цільові установки, на які орієнтовані системи «Розумний Дім». Інтелектуальна автоматика управляє всіма інженерними системами в будинку, дозволяє людині централізовано встановлювати комфортні для себе – температуру, вологість, освітленість в кімнатах, зонах, і забезпечує безпеку.

Система «Розумний Дім» включає в себе наступні об'єкти автоматизації:

- Управління освітленням;
- Управління електроприводами;
- Клімат контроль;
- Управління системою вентиляції;
- Централізоване управління системами:
- Домашнього кінотеатру;
- Мультірум;
- Системи відеоспостереження;
- ОПС (охоронно-пожежна сигналізація);
- СКД (системи контролю доступу);

- Контроль навантажень і аварійних станів;
- Управління інженерним обладнанням з сенсорних панелей;
- Сервер управління.

У відсутності людини розумний будинок буде підтримувати оптимальним чином постійний мікроклімат, зберігаючи тим самим затишок, кімнатні рослини і меблі. Вона вимкне не потрібне світло або навпаки буде створювати видимість вашої присутності, включаючи і вимикаючи освітлення в тій або іншій кімнаті час від часу. Розумний будинок дозволить спокійно і безтурботно відпочивати.

Загальний алгоритм роботи системи «Розумний Дім»

1) По власній мережі управління інформація від датчиків або інтерфейсів надходить до центрального процесора управління.

2) Програмне забезпечення центрального процесора обробляє отриману інформацію і генерує команди для керуючих пристроїв.

Команди надходять як з власної мережі, так і по допоміжної. Способи генерації команд, а також форма і склад відображуваної інформації про стан систем закладається на етапі розробки програмного забезпечення з урахуванням вимог проекту.

Висновки

Проведено огляд та аналіз систем розумного дому. Вони почали набирати темпи розвитку нещодавно, але основні положення були сформульовані досить давно, оскільки за відсутністю необхідного програмного та апаратного забезпечення неможливо створити системи подібного рівня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Е.А. Тесля. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире / Е.А. Тесля – Санкт Петербург, 2008. – 224с.
2. Т. Р. Элсенпитер, Дж. Велт. «Умный Дом строим сами» / Т. Р. Элсенпитер, Дж Велт/ КУДИЦ-ОБРАЗ. 2005. – 384с.
3. В.Н. Харке «Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникаций в жилищном строительстве» / В.Н. Харке– М.: Техносфера, 2006. – 292с.

Терепа Олександр Олександрович — студент групи 2ЕЕ-166, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Бабенко Олексій Вікторович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Terepa Aleksandr Aleksandrovich - Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya.

Supervisor: **Babenko Alexei Viktorovich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Electrical Systems and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya Technical University, Vinnytsya

ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Робота присвячена аналізу управління пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Даний метод управління дозволяє зменшити відхилення трьохфазної напруги, рівнів несиметрії по зворотній та нульовій послідовностях і враховує відхилення фазних напруг, що є досить актуальним для постачання електроенергії до однофазних споживачів.

Ключові слова: відхилення напруги, несиметрія напруги, регулювання напруги, утопічна точка.

Abstract

The article is devoted to the analysis of the control of the device of the TPN of a power transformer operating in a network with deaf earthed neutrality. This control method allows to reduce the deviation of the three-phase voltage, the levels of asymmetry in reverse and zero sequences and takes into account the deviation of phase voltages, which is very relevant for the supply of electricity to single-phase consumers.

Keywords: voltage deviation, voltage asymmetry, voltage regulation, utopian point.

Вступ

Характерною рисою сьогодення є загострення проблеми підвищення економічності та надійності роботи обладнання, що експлуатується промисловими підприємствами України. З цієї проблемою тісно пов'язане питання зниження рівнів показників якості електричної енергії (ПЯЕ), що характеризують відхилення та несиметрію напруг в розподільних електричних мережах (РЕМ). Тому задача розробки нових методів та засобів зниження рівня цих ПЯЕ як, з одного боку, були б досить ефективними, а з іншого – не вимагали б значних капіталовкладень є досить актуальною.

Результати дослідження

У даній роботі розглянуто регулювання напруги у електричній мережі, яка працює з глухозаземленою нейтраллю. Описано особливості мереж з глухозаземленою нейтраллю.

Зниження несиметрії напруг розглянуто в роботах [1-4]. В даних роботах показано регулювання напруги по різних критеріях та у різних технологічних виконаннях. Проте в даних моделях управління регулювання напруги не враховуються значення відхилення напруг окремих фаз мережі.

Враховавши відхилення напруг окремих фаз мережі шукали координати утопічної точки за наступною формулою:

$$\begin{cases} 0, \text{sign} \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{min}})^i \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{max}}); \\ \left| \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{min}}) \right|, \text{sign} \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{min}}) = \text{sign} \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{max}}) = -1, \\ \left| \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{max}}) \right|, \text{sign} \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{min}}) = \text{sign} \Delta U_{\text{min}}(K_{\text{max}}) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

де $K_{\text{min}} = (k_{A\text{min}}, k_{B\text{min}}, k_{C\text{min}})$, $K_{\text{max}} = (k_{A\text{max}}, k_{B\text{max}}, k_{C\text{max}})$ – вектори коефіцієнтів трансформації трансформатора (мінімальних і максимальних);

ΔU_{min} – відхилення напруги прямої послідовності.

В роботі [2] показано, що найбільш доцільним методом знаходження кінцевого розв'язку задачі оптимізації регулювання напруги, що заснований на мінімізації чебишевської відстані до утопічної точки. Для задачі (1) даний метод знаходження кінцевого розв'язку можна записати у вигляді:

$$\Delta U_{i_{yT}} \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \varphi_1 \left| \frac{\Delta U(K) - \Delta U_{yT}}{\chi_1} \right|, \varphi_2 \left| \frac{\Delta U(K) - \Delta U_{2yT}}{\chi_2} \right|, \varphi_3 \left| \frac{\Delta U(K) - \Delta U_{3yT}}{\chi_3} \right|, \right. \\ \left. \varphi_4 \left| \frac{\Delta U_{A\phi}(K) - \Delta U_{AyT}}{\chi_4} \right|, \varphi_5 \left| \frac{\Delta U_{B\phi}(K) - \Delta U_{ByT}}{\chi_5} \right|, \varphi_6 \left| \frac{\Delta U_{C\phi}(K) - \Delta U_{CyT}}{\chi_6} \right| \right\} \\ K \in \Omega \end{array} \right. \min ,$$

де χ_i – коефіцієнти, що враховують різномірність критеріїв (зазвичай приймаються рівними максимальному відхиленню відповідного критерію);
 φ_i – вагові коефіцієнти, що враховують важливість кожного з критеріїв.

Висновки

В результаті проведеного дослідження:

1. Описана математична модель управління пристроєм РПН силового трансформатора, яка враховує відхилення фазних напруг.
2. Описано метод розв'язку даної задачі оптимізації шляхом наближення до утопічної точки в просторі критеріїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плешков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм. / П. Г. Плешков, В.В. Зінзура, М. В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 24.Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. –С. 164-173.
2. Зінзура В.В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 25.Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012.- С. 350-360.
3. Плешков П.Г. Оптимальне керування пристроєм РПН силового трансформатора, що працює в мережі з глухозаземленою нейтраллю. / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 117 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 97-99.
4. Бурбело М. Й. Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 76 – 79.

Володимир Сергійович Бажура — студент групи 2ЕЕ-16б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: BazhuraWolodymyr@ukr.net;

Олексій Вікторович Бабенко — кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Wolodymyr S. Bazhura— Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : BazhuraWolodymyr@ukr.net;

Aleksey V. Babenko – candidate of technical sciences, associate professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто світлодіодні лампи як найновітніші та найекономічніші джерела світла. Розраховано зведений економічний ефект від впровадження.

Ключові слова: освітлення, світлодіод, джерела світла, лампа.

Abstract

LED bulbs are considered as the newest and most economical sources of light. The combined economic effect of the implementation is calculated.

Keywords: lighting, light-emitting diode, light source, lamp.

Загальні положення:

Однією з причин для проведення заходу з енергозбереження на підприємстві, є зниження витрат і підвищення економічної ефективності на виробництві. На даний момент на промислових підприємствах відсоток енергетичних витрат у витратах становить 10-15%, при цьому споживання електроенергії на освітлення промислових підприємств безперервно зростає і становить в середньому по галузях промисловості 10% їх загального споживання. Так само необхідно враховувати, що крім прямих витрат на електроенергію необхідно враховувати непрямі витрати пов'язані витратами на закупівлю нових ламп, утримання експлуатаційного персоналу, утилізацію ламп, що вийшли з ладу і т.д. При цьому електричне освітлення (поряд з іншими пристроями технічного оснащення виробничих приміщень) створює комфортні умови для виробничої праці, рівень освітленості значно впливає на продуктивність.

Знизити витрати на електричне освітлення і підвищити його якість можна шляхом проведення модернізації освітлювального обладнання: заміною люмінесцентних ламп освітлення на світлодіодні світлові труби без заміни справних корпусів освітлювальних приладів. Це дозволить в стислі терміни домогтися зниження витрат на електроенергію на потреби освітлення в 2,5 рази, виключити витрати на утилізацію люмінесцентних ламп і підвищити якість системи освітлення[1].

Технологічні аспекти:

Установка світлодіодних труб типу Т8 проводиться в стандартні світильники з цоколем G13. Установка проводиться після невеликої модернізації світлового приладу. Процес модернізації займає близько 5-10 хвилин і може проводитись без переривання виробничого процесу[2].

Таблиця 1 - Зведений економічний ефект від впровадження.

Тип лампи	К-ть ламп	Витрати (електроенергія) за 24 міс., грн	Витрати (заміна) за 24 міс., грн	Економічний ефект, грн
Люмінесцентна Т8 1200 мм	10000	11 368 800	602 328	+ 11 971 128
Світлодіодна Т8 1200 мм	10000	4 548 000	-	- 4 548 000
Разом економія за 24 місяці:				+ 7 423 128

Висновки

Світлодіодна лампа Т8 1200 мм забезпечує значну економію споживання електроенергії порівняно із люмінесцентною лампою Т8 1200 мм. Із розрахунку видно, що впровадженні світлодіодні лампи забезпечують економію 7 423 128 грн за 24 міс.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коган Л.М. Техніко-економічні питання використання світло діодів / Л.М. Коган. М.: Светотехника, 2017 – 289 с.
2. Медведєв Ю. LEDніковий період / Медведєв Ю, Борисов К. // «Ілюмінатор», 1 (3) – 2015. – С. 54 – 58.

Нечуя Владислав Сергійович – студент групи ЕМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vlad-nech2@mail.ru

Науковий керівник: **Кравець Олександр Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСЕМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Nechuya Vladislav Sergeevich – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vlad-nech2@mail.ru

Scientific supervisor: **Kravets Oleksandr Nikolaevich** - Cand. tech Sciences, associate professor of the ESEEM Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ Й ОБЛІКУ ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІЇВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуті основні напрямки рішення задач економії енергетичних ресурсів поряд із створенням енергозберігаючих технологій і устаткування. До них відноситься вдосконалення контролю й обліку витрат енергоносіїв на промислових підприємствах. Від ефективності контролю залежить якість оперативного керування енергоспоживанням, можливість одержання об'єктивних даних для розрахунків, зв'язаних з упорядкуванням енергобалансів, нормуванням витрат енергоресурсів. За результатами роботи зроблено висновки, щодо актуальності розглянутого питання.

Ключові слова: енергозбереження, контроль енергоносіїв, облік витрати енергоносіїв, нормування енерговитрат.

Abstract

The main directions of solving the problems of energy resources saving along with the creation of energy saving technologies and equipment are considered. These include improving the control and accounting of energy costs for industrial enterprises. The quality of operational management of power consumption, the possibility of obtaining objective data for calculations related to the ordering of energy balances, and the rationing of energy costs depend on the effectiveness of control. The results of work make conclusions regarding the relevance of the issue under consideration.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy balances, energy efficiency rationing.

Вступ

За останні роки на підприємствах різних галузей зросло використання приладів контролю витрат енергоносіїв. Все більше розповсюдження одержують автоматизовані системи керування енергозбереженням.

Витрата електричної енергії, а також відпуск на сторону електричної енергії промисловими підприємствами оцінюється розрахунковим обліком. Використання електроенергії окремими виробничими підрозділами й енергоємними споживачами промислового підприємства визначається технічним (контрольним) обліком. Необхідність і доцільність установки приладів технічного обліку залежить від об'єму електроспоживання і комплексу взаємозалежних робіт, спрямованих на підвищення ефективності енерговикористання, включаючи нормування. Доцільність установки приладів, що вимірюють витрату електроенергії для технічного обліку, визначається розрахунковим або дослідно-розрахунковим способом.

Результати дослідження

Вирішення питання раціональної організації обліку витрати енергоресурсів на промислових підприємствах можливо лише на основі системного підходу, в комплексі з іншими елементами раціональної організації енерговикористання (впорядкуванням і аналізом енергобалансів підприємства, окремих цехів і найбільше енергоємних агрегатів, розробкою і проведенням організаційно-технічних заходів щодо поліпшення енерговикористання; організацією діючої системи матеріального заохочення за раціональне використання й економію енергії).

Сьогодні на підприємствах впроваджується тризонна система обліку. Зони обліку електроенергії представлені нижче на рисунку 1.

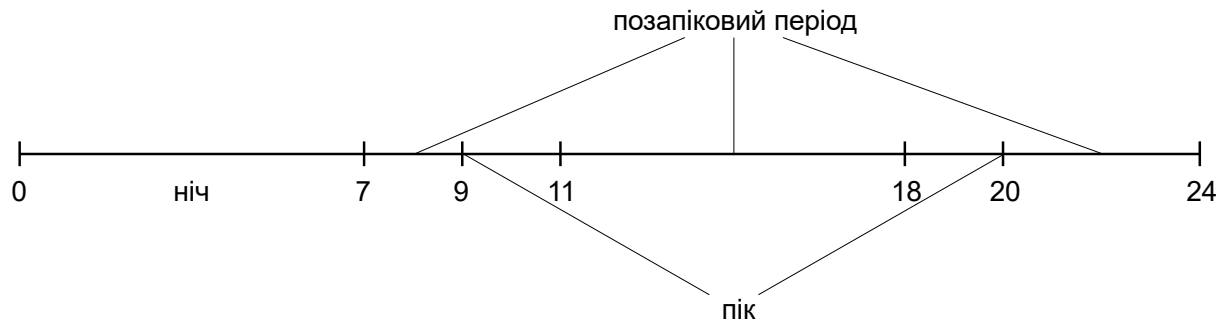


Рисунок 1 – Зони обліку електроенергії

Існуючий тариф – 200 коп/кВт·год;
 ніч – 136 коп/кВт·год;
 пік – 227 коп/кВт·год;
 позапіковий період – 200 коп/кВт·год.
 Економічна ефективність впровадження тризонного тарифу:

$$Z^{\text{до}} = W \cdot T, \quad (1)$$

де $Z^{\text{до}}$ – витрати до впровадження системи;
 W – кількість спожитої електроенергії;
 T – тариф.

$$Z^{\text{після}} = W_1 \cdot T_1 + W_2 \cdot T_2 + W_3 \cdot T_3 + B_{\text{сист.об.}}, \quad (2)$$

де $Z^{\text{після}}$ – витрати після впровадження системи;
 W_1, W_2, W_3 – кількість електроенергії, що споживається в нічний, піковий та позапіковий час;
 B – вартість системи обліку.

Висновки

Багатотарифні лічильники рахують спожиті кіловати диференційовано – за двозонним або тризонним тарифами. Двоступінний тариф окремо рахує за періодами часу споживання електроенергії – денним і нічним. З 19 до 23 години споживання електроенергії дешевше на 50%. Тризонний тариф в нічний час економить ще більше – 60%, адже ціна за кіловат 40% від повної вартості. Також тризонний тариф окремо обліковує використану енергію в напівпіковій та піковій години. Щодо останніх, то треба пильнувати, щоб не використовувати електроенергію в час, коли навантаження електросистеми максимальне, так переплачується у 1,5 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 4472:2005 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59375
2. Комплексное проектирование объектов электроснабжения, электросилового оборудования, автоматизированных систем управления, решение проблем энергосбережения и качества напряжения на предприятиях. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://электроснабжение.com.ua/promelektro.html>

Гилун Микола Борисович – студент групи 4Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 4e14b.hylun@gmail.com

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Gilun Nikolay Borisovich – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 4e14b.hylun@gmail.com

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод підвищення рівнів показників електричної енергії з застосуванням механічного пристрою регулювання під навантаженням (РПН).

Ключові слова: *оптимізація, регулювання напруги, управління РПН, зниження рівнів несиметрії.*

Abstract

The method of raising the levels of electric energy indices with the use of a mechanical control device under load (RUL) is proposed.

Keyword: *optimization, voltage regulation control of the RUL, reduction of asymmetry levels.*

Вступ

Сучасний розвиток електропостачання вимагає підвищення якості показників електричної енергії для того, щоб зменшити втрати електричної енергії в мережі, збільшити термін служби ізоляції, мінімізувати похибки в системах обліку електричної енергії. Для покращення якості електричної енергії використовують додаткові технічні засоби. Найбільш поширеним є пристрій регулювання напруги під навантаженням (РПН). В наш час використовують безконтактні пристрої РПН які позбавлені багатьох недоліків. В якості комутуючих елементів використовують напівпровідникові (транзисторні або теристорні) ключі. Такі пристрої РПН мають ще одну можливість змінювати коефіцієнт трансформації трансформатора в кожній фазі окремо, не залежно від інших. Це дозволяє впливати не лише на усталене відхилення напруги, а й одночасно знижувати рівні несиметрії напруг по зворотній та нульовій послідовностях.

Результат дослідження

Дослідження, проведені в роботі присвячені вибору методів для розрахунку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання режиму роботи силового трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізольованою нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/«зустрічний зигзаг») [1].

З формальної точки зору, розв'язком задачі багатокритеріальної оптимізації є множина точок, що характеризуються тим, що кожна точка цієї множини, поступаючись іншим точкам по декількох критеріях, переважає їх хоча б по одному з критеріїв [2]. Така множина точок називається множиною ефективних, або паретооптимальних розв'язків. Але такий розв'язок не може задовольнити через те, що для більшості задач необхідно знайти єдиний розв'язок (очевидно, що він буде належати множині паретооптимальних розв'язків). Для остаточного розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації завжди необхідно ввести додаткову інформацію, за допомогою якої проводиться вибір кінцевого розв'язку із множини ефективних розв'язків [3].

Існує декілька методів розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації [4]:

1. Метод головного критерію;
2. Метод лінійного згортання;
3. Мінімаксні методи;
4. Адаптивний метод;
5. Лексикографічна оптимізація.

Запропоновані методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, заснованого на наближенні до утопічної точки в просторі критеріїв. Даний метод якомога краще враховує вимоги ГОСТ 13109-97 до значень показників якості електричної енергії. Він може бути покладений в основу законів регулювання автоматичних систем управління силовим трансформатором з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізолюваною нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/«зустрічний зигзаг»).

Висновки

Таким чином, здійснено аналіз існуючих методів розв'язків задач багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах, який найбільш повно враховує вимоги ГОСТ 13109-97 стосовно нормально допустимих значень показників якості електричної енергії. Було проаналізовано існуючі методи розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації, які можуть бути покладені в основу роботи автоматичних систем регулювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плешков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, М. В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / Вип. 24, ч. 2. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 164-173.
2. Нетушил А. В., Балтрушевич А.В., Бурляев В.В. и др. Теория автоматического управления: нелинейные системы, управление при случайных воздействиях: учебник для вузов / Под ред. Нетушила А.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1983 – 432 с.
3. Растрингин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.
4. Машунин Ю. К. Методы и модели векторной оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 141 с.
5. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

Лещенко Олександр Русланович – студент групи 2ЕЕ-16б, факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sasha.leshchenko@gmail.com

Олексій Вікторович Бабенко — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net

Leshchenko Oleksandr Ruslanovich - student group 2EE-16b, Faculty of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sasha.leshchenko@gmail.com

Babenko Oleksii V. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net

ФАКТОРИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз ефективності функціонування сонячних електростанцій промислових та комунальних об'єктів з врахуванням впливу енергозберігаючих заходів.

Ключові слова: сонячна електростанція, енергозберігаючі заходи, сонячні панелі, термін окупності.

Abstract

The analysis of efficiency of functioning of solar power plants of industrial and municipal objects with taking into account the influence of energy saving measures is carried out.

Keywords: solar power station, energy saving measures, solar panels, payback period.

Вступ

Розвиток економіки України посилює залежність населення від безперебійного електропостачання. До електричних мереж стає приєднаними все більше підприємств, для яких власні генеруючі потужності дозволяють зменшити вартість приєднання, та надають можливості додаткового прибутку за рахунок продажу електроенергії в систему по «зеленому» тарифу [1]. Процес вдосконалення та встановлення сонячних електростанцій різко зріс за останні роки. Причина такого зростання одна: з появою нових технологій і вдосконалення сонячних панелей різко знизилася вартість останніх.

Метою дослідження є аналіз впливу заходів з енергозбереження на ефективність використання сонячних електростанцій промислових підприємств та комунальних об'єктів.

Результати дослідження

Дослідження, проведені в роботі присвячені аналізу показника ефективності встановлення сонячної електростанції, потужністю 10 кВт – терміну окупності. При спільній роботі з електричною мережею, енергія, отримана від сонячних панелей є пріоритетною. Це означає, що при достатній освітленості енергія з зовнішньої електромережі не споживається взагалі, всі надлишки згенерованої енергії віддаються в загальну електромережу по «зеленому» тарифу. При недостатній освітленості та, відповідно, меншій, кількості енергії, що виробляється сонячною електростанцією, з зовнішньої мережі береться рівно стільки енергії, скільки не вистачає споживачам.

Термін окупності сонячної електростанції на теперішній час все ще є не малим, тому актуальною постає задача пошуку шляхів його зниження. Одним з факторів вказаного зниження є максимальне зниження потужності споживача шляхом впровадження енергозберігаючих технологій [2]. Було проведено розрахунки терміну окупності сонячної електростанції в залежності від показника зниження енергоспоживання внаслідок впровадження заходів з енергозбереження на об'єкті. При розрахунку терміну окупності електростанції враховувалось також те, що власнику впродовж всього часу не доведеться витратити кошти на оплату електроенергії з мережі. За даними розрахунків було побудовано графік залежності терміну окупності $T_{ок}$ від показника економії електроенергії E (рис. 1).

На графіку (рис. 1) по осі ординат – термін окупності сонячної електростанції, що є побудована відповідно в 2017, 2020 та 2025 роках, а по осі абсцис – показник відносної економії електроенергії. Графік показує, що з кожним роком зростає термін окупності, оскільки все більше осіб мають бажання отримувати власний прибуток завдяки «Зеленому» тарифу, який зменшується. Однак, з впровадженням енергозберігаючих заходів, він знижується.

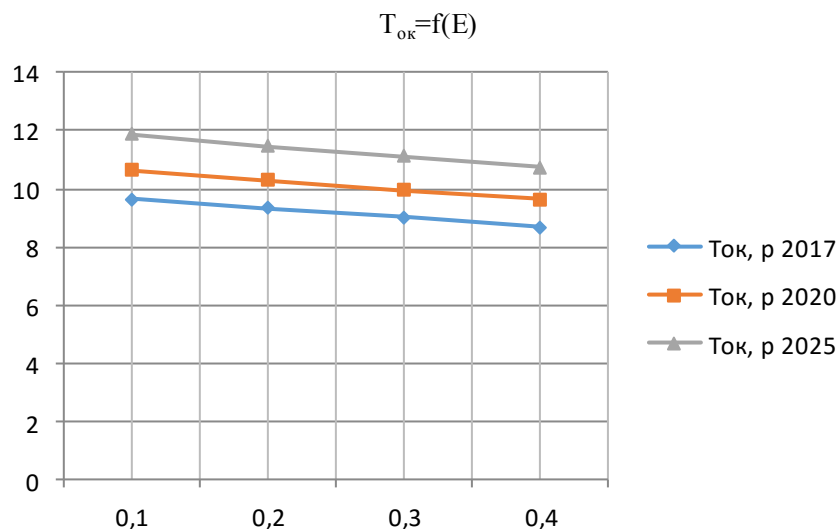


Рис. 1. Зниження терміну окупності сонячних електростанцій

Висновки

Проведено розрахунок показників ефективності встановлення сонячної електростанції, потужністю 10 кВт. За даними розрахунків та побудованому графіку можна побачити, що якщо буде зекономлено електроенергії на об'єкті дослідження від 10% до 40%, то термін окупності сонячних електростанцій знизиться, що дасть змогу споживачу незабаром отримувати чистий прибуток протягом багатьох років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калькулятор прибутку від сонячної електростанції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://life.pravda.com.ua/projects/solar/2018/10/24/233639/> (дата звернення 05.03.2019). — Назва з екрана.
2. Мамалига В. М. Служба енергоменеджменту промислового підприємства / Мамалига В. М., Ямко М. П. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2002. – 118 с.

Олексій Вікторович Бабенко — к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Іванішин Олександр Володимирович — студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ivanischyn@ukr.net.

Aleksey V. Babenko - Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Ivanishin Alexander Vladimirovich - student of group EEE-18m, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: ivanischyn@ukr.net.

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз економічних характеристик конденсаторних установок (КУ), що дозволяє порівнювати ефективність інвестування КУ з іншими напрямками інвестування. Показано, що впровадження КУ доцільно характеризувати величинами економічної ефективності і прибутком.

Ключові слова: конденсаторні установки; електричні мережі, прибуток.

Abstract

The analysis of economic characteristics is carried out, which allows comparing the efficiency of investing condenser installations with other investment areas. It is shown that the introduction of condenser installations should be characterized by economic efficiency and profit.

Keywords: condenser installations, electrical networks, profit.

Вступ

В умовах ринку придбання конденсаторних установок (КУ) промисловим підприємством є одним з варіантів виробничого інвестування. Економічну ефективність такого інвестування доцільно визначати по абсолютній економічній ефективності капітальних вкладень і очікуваному прибутку виробництва реактивної енергії за допомогою КУ. Такий підхід потребує економічної оцінки КУ шляхом їх економічного порівняння з інвестуванням інших виробничих і комерційних операцій.

Результати дослідження

Підприємство вкладає в КУ кошти тільки в тому випадку, якщо вони забезпечують ефективність вище, ніж ефективність вкладення цих коштів в основні виробничі і комерційні операції. При розрахунках необхідно враховувати, що збільшення ступеня компенсації реактивної приводить до зменшення вказаної ефективності. Відповідно підприємство встановлює таку величину КУ, яка відповідає економічним можливостям підприємства. Показано, що економічну доцільність впровадження КУ необхідно характеризувати величиною економічної ефективності. При установленні в і-ом вузлі заводської мережі, заданої матрицями активних вузлових опорів $\mathbf{R}$ і середніх реактивних навантажень $\mathbf{Q}_c$, КУ потужністю Q_{ki} ця величина розраховується як

$$p_{ki} = \frac{\alpha T}{U_n^2 c_k} (2Q_{ci}R_{ii} - Q_{ki}R_{ii} + 2\sum_{j=1}^n Q_{cj}R_{ij}) + \frac{\beta T}{c_k} - p, \quad (1)$$

де α , β - тарифи на активну і реактивну енергії; c_k - питома вартість КУ; T - тривалість роботи КУ протягом року; p - частка відрахувань на амортизацію, обслуговування і ремонт КУ; U_n - номінальна напруга мережі; R_{ii} - вхідний опір і-ого вузла R_{ij} - спільний опір і-ого вузла та j-ого вузлів; Q_{ci} - середнє реактивне навантаження і-ого вузла [1].

КУ забезпечує процес виробництва реактивної енергії. Економічну доцільність такого виробництва характеризує величина прибутку. Використання КУ для виробництва реактивної потужності приводить до зменшення плати за електричну енергію, що дає зниження собівартості продукції і відповідно збільшення прибутку від реалізації цієї продукції. Тобто під прибутком виробництва реактивної енергії за допомогою КУ будемо розуміти ту частину прибутку від реалізації основної продукції, що обумовлена вказаним зменшенням плати за електричну енергію.

Величина вказаного прибутку визначається як

$$P_i = \frac{\beta T}{U_n^2} (2Q_{ci} Q_{ki} R_{ii} - Q_{ki}^2 R_{ii} + 2Q_{ki} \sum_{j=1}^n Q_{cj} R_{ij}) + (\alpha T - c_k p) Q_{ki}. \quad (2)$$

Одержана залежність величини річного прибутку від потужності КУ в відносних одиницях

$$P_i^* = 2Q_{ki}^* - Q_{ki}^{*2}, \quad (3)$$

де $P_i^* = \frac{P_i}{P_i^{\max}}$; $Q_{ki}^* = \frac{Q_{ki}}{Q_{ki}^{onm}}$ $P_i^{\max}$, Q_{ki}^{onm} - відповідно максимальне значення прибутку і оптимальне значення потужності КУ.

Аналіз приведеної залежності показав, що п'ятипроцентне відхилення потужності КУ від оптимального значення приводить до зменшення прибутку на 0,25% і відповідно оптимальне рішення можна вважати економічно стійким.

Висновки

Оптимальне значення функції прибутку від потужності конденсаторних установок є економічно стійким, що дає можливість вибирати їх в зоні економічної стійкості вказаної функції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Демов О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсувальних установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 98 с.

Лебедь Деніс Юрійович – студент групи 4Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Сивопляс Микола Ігорович – студент групи 4Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Denis J. Lebed – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Nikola I. Sivoplas – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisor: **Olexandr D. Demov** – Cand. Sc. (Eng), assistant professor, assistant professor of the Department of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано існуючі методи розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації, які можуть бути покладені в основу роботи автоматичних систем регулювання. Запропоновано метод розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, заснованого на наближенні до утопічної точки в просторі критеріїв.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація, розв'язок, регулювання, пристрій РПН, ізолювана нейтраль, системи управління

Abstract

The existing methods of solving multicriteria optimization problems which can be the basis of the work of automatic control systems are analyzed. The method of solution of the problem of multicriteria optimization of voltage regulation, based on the approach to the utopian point in the criteria space, is proposed.

Keywords: multicriterion optimization, solution, regulation, tester, isolation neutral, control system.

Вступ

В сучасних системах електропостачання нерідко спостерігаються перевищення допустимих показників якості електричної енергії. Це призводить до ряду негативних наслідків: збільшення втрат електричної енергії в електричних мережах, передчасне зношення електричної ізоляції електроприймачів та вихід їх з ладу, поява похибок в системах обліку електричної енергії та ін. Метою роботи є дослідження методів розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах.

Результати дослідження

Метою даної статті є вибір та обґрунтування методу розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах, що містять трансформатор з безконтактним пристроєм РПН.

Задачу багатокритеріальної оптимізації регулювання режиму роботи силового трансформатора з безконтактним пристроєм РПН, що працює в мережі з ізолюваною нейтраллю або зі схемою з'єднання обмоток Δ/Z («трикутник»/ «зустрічний зигзаг») можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} Q_1(K) = |\Delta U_1(K)| \rightarrow \min; \\ Q_2(K) = U_2(K) \rightarrow \min; \\ K \in \Omega \end{cases} \quad (1)$$

де $Q(K) = (Q_1(K), Q_2(K), Q_3(K))$ – вектор критеріїв управління;

$K = (k_a, k_b, k_c)$ – вектор коефіцієнтів трансформації трансформатора у фазах А, В, С (вектор управління);

$\Delta U_1(K)$ – різниця значень модуля напруги прямої послідовності та номінальної напруги (пропорційний відхиленню напруги);

$U_2(K)$ – напруга зворотної послідовності;

$\Omega = \{K \in \mathbb{R}^3 | k_{i \min} \leq k_i \leq k_{i \max}, i = a, b, c\}$ – область допустимих значень вектора коефіцієнтів трансформації трансформатора, яка визначається регулювання коефіцієнта трансформації (допустимий простір управління);

$k_{i \min}, k_{i \max}, i = a, b, c$ – відповідно мінімальне та максимальне значення коефіцієнту трансформації трансформатора для кожної з фаз.

З формальної точки, розв'язком задачі багатокритеріальної оптимізації є множина точок, що характеризується тим, що кожна точка цієї множини, поступаючись іншим точкам по декількох критеріях, переважає їх хоча б по одному з критеріїв. Така множина точок називається множиною ефективних, або паретооптимальних зв'язків. Але такий розв'язок не може задовольнити через те, що для більшості необхідно знайти єдиний розв'язок (очевидно, що він буде належати множині парето-оптимальних розв'язків). Для остаточного розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації завжди необхідно ввести додаткову інформацію, за допомогою якої проводиться вибір кінцевого розв'язку і множити ефективних розв'язків.

Існує декілька груп методів розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації:

- методи, засновані на накладенні обмежень на критерії;
- методи, засновані на лінійному згортанні критеріїв;
- методи, засновані на пошуку компромісного розв'язку;
- методи інтерактивного програмування;
- методи цільового програмування.

Розглянемо найбільш поширені методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації на прикладі задачі

Висновки

В результаті проведеного дослідження:

1. Проаналізовано існуючі методи розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації, які можуть бути покладені в основу роботи автоматичних систем регулювання.
2. Запропоновано метод розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги, заснованого на наближенні до утопічної точки в просторі критеріїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Формування математичних моделей вимірювальних систем установок симетрування / М.Й. Бурбело, О.В. Бабенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. - №6. – С. 242 – 251
2. Бурбело М. Й. Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / М.Й. Бурбело, А.М. Волоцький, О.В. Бабенко, О.В. Салій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. №6. – С. 76 – 79.
3. Плешков П. Г. Теоретичні засади оптимально керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм / П.Г. Плешков, В.В. Зінгура, М.В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 24, ч. 2. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 164 – 173.

Завадецький Сергій Костянтинович – студент групи 2ЕЕ-16б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Левицький Сергій Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Zavadetsky Sergey Konstantinovich - Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya.

Supervisor: **Levytsky Sergey Mikhailovich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Electrical Systems and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya Technical University, Vinnytsya

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено лабораторний стенд для систем управління «Розумний дім», що дозволяє регулювати параметри мікроклімату та освітлення у приміщенні. Автоматизоване керування системою відбувається за допомогою електрообладнання фірми Larnitech.

Ключові слова: будинок, електрообладнання, керування, мікроклімат, система, Larnitech.

Abstract

A laboratory stand for "Smart Home" control systems was developed, which allows to regulate the parameters of the microclimate and indoor lighting. Automated control of the system is carried out with the help of electrical equipment from Larnitech.

Keywords: house, electrical equipment, control, microclimate, system, Larnitech.

Вступ

На сьогоднішній день сучасне житло обладнується великою кількістю інженерних систем, комунікацій та побутової техніки. Об'єднання всіх розрізнених між собою електросистем в єдину систему управління, яка вирішує питання контролю та управління всіма системами та приладами в помешканні, знайшло відображення у концепції «Розумний дім». Вивчення принципу організації та функціонування подібних систем є важливим етапом у процесі підготовки кадрів з напрямку системна інженерія. Якісне вирішення цього питання можливе при створенні відповідного лабораторного обладнання.

Системи автоматизації будівель набувають все більшої популярності, адже вони дозволяють підпорядкувати рутинні дії людини, особливості образу життя та вимоги сучасного світу таким чином, щоб людина могла виконувати повсякденні справи у комфортному середовищі, тому вивчення принципів побудови, налаштування, тестування таких систем є актуальними для підготовки фахівців [1].

Результати дослідження

Даний стенд дає нам можливість вивчення технології «Розумний дім». За способами використання стенди поділяються на фізичний, віртуальний та комбінований. Фізичний стенд орієнтований на вивчення принципів монтажу компонентів системи управління з подальшим їх програмуванням та демонстрацією роботи, як правило, в ручному режимі за допомогою пульта дистанційного керування або дисплейної панелі. Недоліком даного стенду є велика вартість реалізації та відсутність можливості функціонування системи в автоматичному режимі, що обумовлюється складністю організації зворотного зв'язку від датчиків. Віртуальний стенд, навпаки, орієнтований на вивчення функціонування системи в автоматичному та ручному режимах, але не дозволяє працювати з фізичним обладнанням. Комбінований стенд на практиці майже не використовуються через складність реалізації та високої собівартості [2].

На основі проведеного аналізу в даній роботі пропонується структура стенда-імітатора об'єкта управління освітленням за допомогою спрацювання датчика руху використання якого в поєднанні з вбудованою системою управління дає можливість реалізувати технологію «Розумний дім» для автоматизації побутового процесу освітлення. Імітатор представлений стендом, що керується власною платою на основі мікроконтролера і має клемами вхідних та вихідних сигналів для приєднання зовнішньої системи автоматичного управління. Він моделює роботу всіх датчиків та виконавчих приладів системи управління, зібраних за фіксованою принциповою схемою [3].

Висновки

В результаті роботи нами було зроблено стенд, що імітує квартиру у якій розташовано датчики руху, освітлення, відкривання дверей ,терморегулятора і т. д., а також дозволяє вивчати принципи організації і програмування технології «Розумний дім». Дане програмне забезпечення дозволяє системі вирішити проблему організації багатозадачності та виробити єдину структуру роботи. Особливість побудови програмного забезпечення дозволяє полегшувати її модифікацію в разі потреби подальшого доповнення у системі керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Larnitech-Розумний дім. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.larnitech.com/ru/>
- 2.U.S. Department of Energy. Smart Grid / Department of Energy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid>
- 3.Standards For Transmission and Distribution System Integration: Towards «plug and play» of UtilityApplications // SISCO, Inc., 2003. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.sisconet.com/downloads/Utility_PnP_08.pdf

Слівінський Владислав Васильович - студент групи ЕМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Войтюк Юрій Петрович** - канд. техн. наук, ст.викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vladislav V. Slivinsky - Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Yuri P. Voytyuk** - Cand. Sc. (Eng), Sen.Teacher of the Department of Electrical Engineering Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИВАННЯ ПОВЕРХОНЬ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз результатів випробування пристрою для вимірювання коефіцієнтів відбивання поверхонь з метою визначення можливості його застосування для світлотехнічних досліджень.

Ключові слова: коефіцієнт відбивання, освітленість, світловий потік.

Abstract

The analysis of test results of the device for measuring the reflection coefficients of surfaces was carried out in order to determine the possibility of its application for light engineering researches.

Keywords: reflection coefficient, illumination, light flux.

Вступ

Для світлотехнічних розрахунків, зокрема для визначення кількості, потужності світильників та їх місць розташування необхідно мати інформацію про коефіцієнти відбивання поверхонь [1]. Дані коефіцієнти наявні в довідниках. Однак, трапляються поверхні приміщень, дані про коефіцієнти відбивання яких відсутні або неточні. Тому постає потреба експериментального визначення вказаних показників в приміщеннях.

Метою дослідження є визначення ефективності пристрою для вимірювання коефіцієнта відбивання поверхонь для його застосування під час світлотехнічних досліджень.

Результати дослідження

Розроблений пристрій призначений для визначення коефіцієнта відбивання будь-яких поверхонь. Він складається із двох трубок, що розташовані одна відносно одної під кутом 90° і відносно вимірюваної поверхні під кутом 45° (рис. 1). Трубки зафіксовані в корпусі, що забезпечує їх нерухомість. В місці перетину труб є зріз, що забезпечує щільне прилягання до поверхні. На початку першої трубки кріпиться джерело світла, а другої трубки – давач люксметра типу Ю-116.

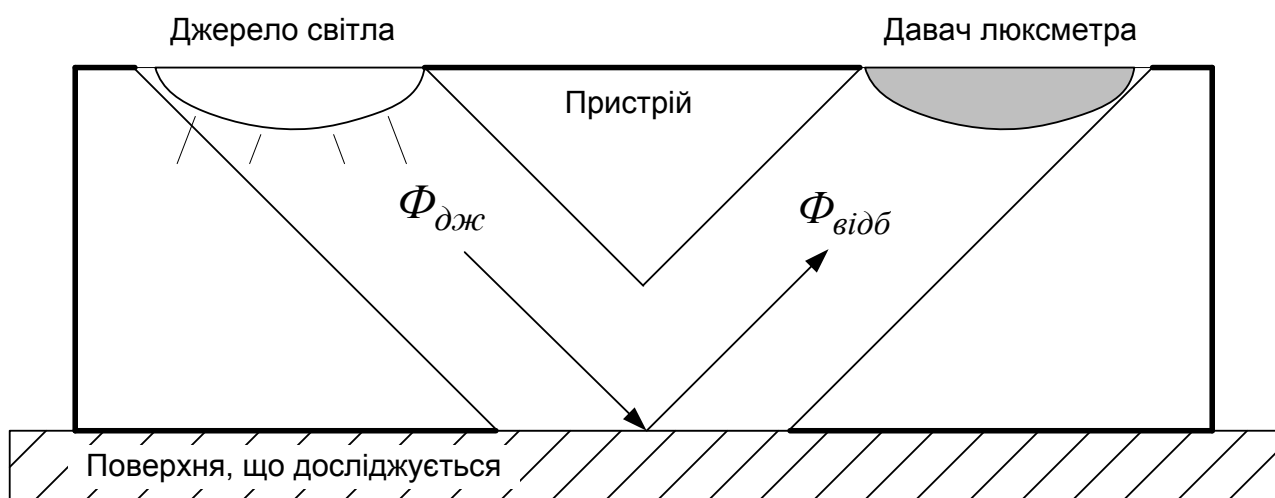


Рисунок 1 – Схема роботи пристрою для вимірювання коефіцієнтів відбивання поверхонь

Вимірювання відбувається наступним чином: промені світла від джерела світла падають на вимірювальну поверхню, відбиваються від неї та потрапляють на давач люксметра. Покази люксметра показують освітленість давача від відбитого світлового потоку. Для визначення світлового потоку джерела світла необхідно виміряти величину, що пропорційна цьому потоку – освітленість давача люксметра, яка створюється під час відбивання світлового потоку від поверхні, що має коефіцієнт відбивання, близький до 1. Цією поверхнею є дзеркало.

Коефіцієнт відбивання визначається за формулою [2]:

$$\rho_{\text{експ}} = \frac{\Phi_{\text{відб}}}{\Phi_{\text{дж}}} = \frac{E}{E_{\text{дз}}}, \quad (1)$$

де $\Phi_{\text{відб}}$ – світловий потік, що відбивається від поверхні, лм.;

$\Phi_{\text{дж}}$ – світловий потік джерела, що падає на поверхню, лм.;

E – освітленість давача люксметра під час відбивання світлового потоку від поверхні, що досліджується, лк.;

$E_{\text{дз}}$ – освітленість давача люксметра під час відбивання світлового потоку від дзеркальної поверхні, лк.

В таблиці 1 наведені результати вимірювань коефіцієнтів відбивання деяких поверхонь, а також розрахована відносна похибка отримання інформації про ці коефіцієнти з довідників.

Таблиця 1 – Результати вимірювання коефіцієнтів відбивання

Матеріал	Едз, лк	Емат, лк	$\rho_{\text{експ.}}, \%$	$\rho_{\text{дов.}}, \%$	$\delta, \%$
Парта вільха	120	60	0,5	0,45	10
Побілена стіна	120	81	0,7	0,75	7,1
Паркет темний	120	40	0,3	0,2	33,3
Дзеркало	120	120	1	1	0

Рис. 1. Зниження терміну окупності сонячних електростанцій

Висновки

Результати випробування пристрою для вимірювання коефіцієнтів відбивання поверхонь показали його можливість і необхідність використання під час світлотехнічних розрахунків. Необхідність пояснюється тим, що довідникові дані не завжди дають точні результати. Про це говорить, наприклад, значення похибки 33% для темного паркету (табл. 1). Така похибка зумовлена тим, що паркет в приміщенні, що досліджується, хоча є темним, однак не такий, який міг бути під час досліджень, які слугували основою для довідникових даних. Отже, вказаний пристрій може підвищити точність отримання інформації і якість проведення світлотехнічних розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
2. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.

Олексій Вікторович Бабенко – к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Падун Андрій Васильович – студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: padun2013@ukr.net.

Aleksey V. Babenko – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Padun Andriy Vasylovych – student of group EEE-18m, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: padun2013@ukr.net.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОНОМІКИ ДЕРЖАВИ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз основних елементів «розумного будинку» з метою визначення важливих факторів розвитку енергоефективної економіки нашої держави.

Ключові слова: світло, електроприлади, клімат, вентиляція, безпека.

Abstract

The analysis of the main elements of "smart home" was conducted in order to determine the important factors of development of the energy-efficient economy of our country.

Keywords: light, electrical appliances, climate, ventilation, safety.

Вступ

Система «розумний будинок» виконує завдання, які ставить господар завдяки багатьом технологіям, які пов'язані між собою. Жити в розумному будинку приємно, зручно, безпечно і економічно вигідно.

Дана система об'єднує всі підсистеми житла в одне ціле. Вона здійснює керування всім домашнім господарством, заощаджуючи час, енергоносії і фінанси власника.

Метою роботи є визначення впливу технологій, що використовуються в «розумного будинку» на розвиток енергоефективності економіки.

Результати дослідження

Якщо взяти до уваги звичайний житловий об'єкт, то для того, щоб мати комфорт, спокій, безпеку, потрібно докладати значну кількість сил і часу. При цьому необхідно відрегулювати роботу кожного пристрою і засобу, який виконує певні функції і споживає визначений обсяг енергоносіїв, а також постійно все контролювати. Аналіз результатів, які може отримати господар «розумного» будинку показали, що в даному випадку усім процесами функціонування здійснює єдина система автоматизації. Господар будинку лише повинен використовувати зручні і нескладні інструменти управління цією системою.

Зазначимо основні фактори зручності систем «розумного будинку»:

- наявність єдиної панелі керування ресурсами будинку;
- усі системи будинку працюють самостійно за заданим налаштуваннями. При цьому забезпечується контроль робочого процесу, його корекція та усунення збоїв;
- усі процеси в будинку організовуються за сценаріями, які прописані користувачем;
- управління системою можна здійснювати на відстані з мобільного телефону або за допомогою інших мультимедійних засобів.

Дослідження впливу систем «розумного будинку» на енергоефективність об'єкта можна провести на прикладі систем освітлення та електроспоживання побутовими приладами.

Якщо розглядати систему освітлення, то по заданому господарем сценарію здійснюються комутації усіх світлових приладів будинку. У визначений час вмикається освітлення а вночі системи керування освітленням самі вимикають освітлення де воно було увімкнене. Сценарій можна скласти з врахуванням діючого тарифу на електроенергію, за яким здійснюється електропостачання. У випадку, коли кількість спожитої електроенергії підходить до заданого ліміту, то система може надсилати господарю попередження і забезпечити вмикання тільки самих необхідних і економічних світлових приладів.

У випадку керування електропостачанням електроприладів, то керування кожним з них може бути здійснено відповідно до найкращого графіку використання електроенергії. Наприклад, пральна машина може вмикатися в період з 00.00 до 6.00 ранку, коли електроенергія, у випадку використання диференційованого тарифу, є найдешевша.

Висновки

Результати аналізу систем функціонування «розумного будинку» показали їх ефективність в підвищенні енергоефективності як окремих будинків так і усього комунального сектору економіки у випадку поширення цих систем. Економія може стосуватися не тільки електроенергії, що споживається освітленням та побутовими приладами, але і газу та води. Дані результати забезпечують інтелектуальні системи розумного будинку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розумний будинок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.smarthouse.ua/ua/umnyj_dom.html (дата звернення 09.03.2019). — Назва з екрана.
2. Розумний дім [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sutem.com.ua/7smartbus.php> (дата звернення 09.03.2019). — Назва з екрана.

Олексій Вікторович Бабенко – к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Омельянчук Михайло Сергійович – студент групи 3Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: misha.omelianchuk@gmail.com.

Aleksey V. Babenko – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Omel'yanchuk Mykhaylo Serhiyovych – student of group 3E-15b, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: misha.omelianchuk@gmail.com.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз умов вибору оптимальних перетворювачів частоти для підвищення ефективності використання електроприводів на підприємстві.

Ключові слова: електропривод, частотний перетворювач, підприємство.

Abstract

The analysis of the conditions for the selection of optimal frequency converters for increasing the efficiency of the use of electric drives in the enterprise is carried out.

Keywords: electric drive, frequency converter, enterprise.

Вступ

Застосування регульованого електропривода забезпечує енергозбереження та дозволяє отримати нові якості систем та об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується за рахунок регулювання будь-якого технологічного параметру. Якщо це конвеєр, то можна регулювати швидкість його руху. Якщо це насос чи вентилятор – можливо підтримувати тиск чи регулювати продуктивність. Якщо це станок, то можна плавно регулювати швидкість подачі чи плавного регулювання. Особливий економічний ефект від використання перетворювачів частоти дає застосування частотного регулювання на об'єктах, які забезпечують транспортування рідин. До цих пір найпоширенішим способом регулювання продуктивності таких об'єктів є використання регульованих клапанів, але сьогодні доступним стає частотне регулювання асинхронного двигуна, який приводить в рух, наприклад, робоче колесо насосного агрегату чи вентилятора.

Метою дослідження є аналіз умов вибору оптимальних систем керування швидкістю електроприводів для підвищення ефективності використання останніх на підприємстві.

Результати дослідження

Популярність перетворювачів частоти обумовлена рядом переваг, які з'являються при їх використанні, серед яких:

- оперативне автоматичне чи ручне керування швидкістю або параметром, який залежить від швидкості;
- економія електроенергії за рахунок високого ККД перетворювача та оптимізації роботи приводного двигуна із конкретним навантаженням;
- широкий діапазон регулювання швидкості;
- зниження пускових струмів до мінімального рівня, який необхідний для реалізації пуску;
- зниження ударних навантажень на механізм при пуску;
- комплексний захист двигуна та механізму.

Умови вибору перетворювача частоти:

$$\begin{cases} P_{ПЧ} \geq P_{дв.сп}, \\ I_{ПЧ} \geq I_{дв.н}, \end{cases} \quad (1)$$

де $P_{дв.сп}$ – споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі, кВт; $I_{дв.н}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному режимі:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos \varphi}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$); $P_{\text{дв.н}}$ – номінальна потужність приводного двигуна, кВт; $\eta_{\text{дв.н}}$ – номінальний ККД приводного двигуна; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності приводного двигуна.

Досвід експлуатації компресорів на даному підприємстві показує, що робота приводного двигуна характеризується важкими умовами пуску. Тому перетворювач частоти необхідно додатково перевірити за умовами:

- необхідна робоча потужність перетворювача частоти:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{ПЧ}}}, \quad (3)$$

де $P_{\text{дв.пуск}}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт; $\lambda_{\text{ПЧ}}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{\text{ПЧ}} = 1,2 \dots 1,7$);

- пускова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{дв.пуск}} \approx 1,5 P_{\text{н}} \quad (4)$$

Як приклад було вибрано частотний перетворювач для компресора з двигуном, потужністю 22 кВт. Параметри: частотний перетворювач SIEMENS MicroMaster 430 характеристиками $P_{\text{ПЧ}} = 30$ кВт, $I_{\text{ПЧ}} = 104$ А, $I_{\text{ПЧ}} = 150$ А.

Висновки

Здійснено аналіз процесу вибору оптимального перетворювача частоти для живлення електропривода компресора. Встановлено, що на потужність перетворювача частоти і інші його параметри впливають: потужність двигуна споживача, пусковий струм двигуна, перевантажувальна здатність двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник / В. В. Прокопенко, О. М. Закладний, П. В. Кульбачний. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с..
2. Гримитлин А. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий. Учебное пособие / Гримитлин А. М., Иванов О. П., Пухкал В. А. – СПб : Издательство «АВОК Северо-Запад», 2006. – 203 с.

Олексій Вікторович Бабенко — к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Акопов Владислав Дмитрович — студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Aleksey V. Babenko - Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Akopov Vladislav Dmitrievich - student of group EEE-18m, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia.

ВПЛИВ ТЕПЕРІШНЬОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто закон України про енергетичну ефективність будівель. Досліджено основні організаційні засади діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель.

Ключові слова: закон, будівлі, енергозбереження, енергія, ефективність.

Abstract

The law of Ukraine on energy efficiency of buildings is considered. The main organizational principles of activity in the field of energy efficiency of buildings are investigated.

Keywords: law, buddhist, energy saving, energy, efficiency.

Вступ

Закон про енергетичну ефективність будівель регулює відносини, що виникають у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель, з метою підвищення рівня енергетичної ефективності будівель з урахуванням місцевих кліматичних умов та забезпечення належних умов для проживання та/або життєдіяльності людей у таких будівлях.

Метою роботи є визначення основних можливостей підвищення енергоефективності об'єктів на основі закону «Про енергетичну ефективність будівель» [1].

Результати дослідження

Основні засади державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель регулюються відповідно до вимог закону [1] (рис. 1).



Рис. 1. Напрями державної політики у сфері забезпечення енергоефективності

Енергетична ефективність будівель визначається відповідно до методики, що розробляється з урахуванням вимог актів законодавства Європейського Союзу, Енергетичного Співтовариства, гармонізованих європейських стандартів у сфері енергетичної ефективності будівель та затверджується центральним органом виконавчої влади [2].

У процесі визначення енергетичної ефективності будівель обов'язково враховується інформація про:

- 1) місцеві кліматичні умови;
- 2) призначення, архітектурно-планувальне та конструктивне рішення будівлі;
- 3) геометричні, теплотехнічні та енергетичні характеристики будівлі, а також енергетичний баланс будівлі;
- 4) нормативні санітарно-гігієнічні та мікрокліматичні умови приміщень будівлі;
- 5) нормативний строк експлуатації огорожувальних конструкцій та елементів (у тому числі обладнання) інженерних систем;
- 6) технічні характеристики інженерних систем;
- 7) використання відновлюваних джерел енергії, пасивних сонячних систем та систем захисту від сонця, а також енергії, виробленої шляхом когенерації.

Основні заходи із забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності будівель:

1. Стимулювання та сприяння підвищенню рівня енергетичної ефективності будівель:
 - здійснення обстеження інженерних;
 - здійснення сертифікації енергетичної ефективності.
2. Енергетична ефективність будівель може забезпечуватися шляхом:
 - підвищення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель;
 - встановлення засобів обліку та регулювання споживання енергетичних ресурсів;
 - впровадження автоматизованих систем моніторингу і управління;
 - підвищення енергетичної ефективності інженерних систем будівлі;
 - використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії та видів палива;
 - застосування акумуляційного електронагріву в години мінімального навантаження;
 - здійснення інших заходів із забезпечення енергетичної ефективності будівель.
3. Термо модернізація будівель здійснюється без розроблення проектної документації, отримання документів, що дають право на виконання будівельних робіт, та прийняття такого об'єкта в експлуатацію при виконанні робіт із:
 - існуючими заповненнями віконних, балконних та дверних блоків або інженерними системами;
 - огорожувальними конструкціями об'єктів із незначними наслідками (CC1);
 - заміни покриття покрівель будівель, які не передбачають втручання в огорожувальні та/або несучо-огорожувальні конструкції;
 - приєднання та підключення індивідуальних житлових будинків, садових, дачних будинків до інженерних мереж.
4. Під час вибору джерел енергопостачання об'єкта будівництва пріоритет надається таким високоефективним альтернативним джерелам енергопостачання:
 - системи децентралізованого теплопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії;
 - когенераційні установки;
 - системи централізованого теплопостачання та холодопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії;
 - теплові насоси.

Висновки

Встановлено, що енергоефективність будівель безсумнівно являється дуже важливою складовою не тільки на рівні будинку чи підприємства, а і на рівні держави. І Україна керується з урахуванням гармонізованих стандартів Європейського Союзу у сфері енергетичної ефективності будівель, що веде як до матеріальних заощаджень так і до збереження навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення 09.03.2019). — Назва з екрана.

2. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр> (дата звернення 12.12.2012). — Назва з екрана.

Олександр Сергійович Матат – студент групи ЕМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e14b.matat@gmail.com

Олексій Вікторович Бабенко – к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Oleksandr S. Matat– Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e14b.matat@gmail.com

Aleksey V. Babenko - Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз обчислювальної ефективності симплекс методу лінійного програмування та методу динамічного програмування для знаходження оптимального варіанту увімкнення окремих секцій керованої батареї статичних конденсаторів за однією із відомих математичних моделей.

Показано, що оптимальний варіант реалізується мінімальною кількістю комутацій, що позитивно позначиться на роботі комутаційного обладнання, а кінцевий результат розрахунку за методом динамічного програмування можна отримати, виконавши мінімальну кількість елементарних арифметичних дій.

Ключові слова: батареї статичних конденсаторів; системи електропостачання; комутації.

Abstract

The analysis of simple simplicity of the linear programming method and dynamic programming method for the optimal variant of activation of separate sections of a controlled battery of static capacitors is carried out in one of the known mathematical models.

It is shown that the optimal variant is implemented with a minimum number of commutations, which will positively affect the operation of switching equipment, and the final result of the calculation by the method of dynamic programming can be obtained by executing a minimum number of elementary arithmetic operations.

Keywords: static capacitors; power supply systems; switching.

Вступ

Одним із найефективніших заходів зменшення активних втрат електроенергії на її передачу є компенсація реактивних навантажень шляхом установки батарей статичних конденсаторів (БСК) в мережах споживачів електроенергії. Оскільки реактивна потужність змінюється, то генерована потужність БСК також має змінюватись. Відомі математичні моделі, які дозволяють провести необхідні розрахунки та враховують при цьому всі можливі ефекти. Враховуючи, що пристрій прийняття рішення, який у відповідності з математичною моделлю проводить необхідні розрахунки, створюється на мікропроцесорній основі і має обмежені обчислювальні можливості, стає актуальною задача вибору найбільш ефективної обчислювальної процедури для вирішення задачі.

Метою роботи є обґрунтування найбільш ефективного методу для знаходження оптимальних рішень про увімкнення секцій керованої БСК для подальшої його реалізації в мікропроцесорній системі прийняття рішень.

Результати дослідження

Для забезпечення поставленої мети виконано розв'язування задачі знаходження оптимального варіанту увімкнення окремих секцій керованої БСК симплекс-методом лінійного програмування, а також методом динамічного програмування. При цьому відслідковувався збіг як остаточного розв'язку, так і проміжних результатів. Висновки щодо ефективності обчислювального процесу зроблено за кількістю елементарних арифметичних дій, що довелося виконати по ітераціях та окремих етапах. Результати обчислень при розв'язуванні задачі зведені до табл.

При значно більших вимірностях задачі, що характерні для реальних систем електропостачання, а особливо для великих підприємств, ефект буде значно вагомим.

Отримані остаточні результати можна інтерпретувати у відповідності до прийнятої системи кодування. Важливим в проведеній роботі є те, що має місце збіг отриманих результатів розрахунку за двома методами.

В процесі розв'язування як за одним, так і за другим методом вибираються до реалізації найбільш ефективні рішення і тому кінцевий вектор керування реалізується увімкненням найбільш потужних секцій БСК. Це свідчить про те, що в базисі графіка реактивної потужності будуть знаходитись найбільш потужні секції. Вони тривалий час будуть увімкнені, а, отже, кількість їх комутацій буде мінімальною. Вимога мінімуму комутацій для реалізації знайденого розв'язку не описана аналітично в математичній моделі, а забезпечується алгоритмом розрахунку.

Таблиця – Процес вирішення задачі розрахунку вектора керування реактивною потужністю за однією із відомих математичних моделей

Метод лінійного програмування							Метод динамічного програмування						
Ітерація	Вектор керування – X^T	Кількість операцій				Кількість порівнянь	Етап	Вектор керування – X^T	Кількість операцій				Кількість порівнянь
		(+)	(-)	(×)	(:)				(+)	(-)	(×)	(:)	
1	(10000000000)	132	0	154	1	21	1	(10000000000)	12	0	0	0	21
2	(11000000000)	132	0	154	1	20	2	(11000000000)	12	0	0	0	19
3	(11000010000)	132	0	154	1	19	3	(11000010000)	11	0	0	0	17
4	(11001010000)	132	0	154	1	18	4	(11001010000)	10	0	0	0	15
Всього		528	0	616	4	78	Всього		45	0	0	0	72

Все це дозволяє зробити висновок про те, що розроблена математична модель керування реактивною потужністю побудована таким чином, що її аналіз класичними математичними методами забезпечує знаходження керуючих рішень, реалізація яких потребує мінімальної кількості комутацій. Крім цього, процес керування реактивною потужністю виконуватиметься з мінімальною кількістю комутацій найбільш потужних секцій БСК. Це позитивно позначиться на роботі комутаційного устаткування.

Таким чином, синтез математичних моделей керування можна здійснювати, враховуючи такі вимоги до системи керування: простота алгоритму та мінімум комутацій в пристрої керування.

Висновки

1. Найбільш ефективним обчислювальним методом для розрахунку оптимального вектору керування, за яким здійснюється увімкнення секцій керованої БСК, є метод динамічного програмування, як такий, що дозволяє отримати кінцевий результат виконавши мінімальну кількість елементарних арифметичних дій.
2. Обчислювальна процедура методу динамічного програмування забезпечує знаходження вектора керування, реалізація якого виконується з мінімальною кількістю комутацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця.: ВНТУ, 2016. – 136 с.
2. Милосердов В.О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. / В.О. Милосердов, Л.Б. Терешкевич. – Вінниця.: ВНТУ, 2004. – 120 с.

Віктор Олександрович Бушштейн – студент групи 4Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.
Bukshstejn@gmail.com

Науковий керівник: **Леонід Борисович Терешкевич** – к.т.н., доцент, професор кафедри Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Victor Oleksandrovich Bukshstejn – student of group 4E-15b, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia.
Bukshstejn@gmail.com

Supervisor: **Leonid Borisovich Tereshkevich** – Dr. Sc. (Eng), professor, professor of the Department of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia.

ОСОБЛИВОСТІ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ АСКОЕ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз особливостей ефективного впровадження в експлуатацію АСКОЕ на промислових підприємствах.

Ключові слова: АСКОЕ, електроенергія, замовник, виконавець.

Abstract

The analysis of the peculiarities of the effective introduction of the ASCOE into industrial enterprises has been carried out.

Keywords: ASCOE, electric power, customer, executor.

Вступ

АСКОЕ призначена для визначення кількості електроенергії як товару для проведення торгових операцій на ОРЕ України, а також для автоматизації виробничої діяльності персоналу енергопостачальної компанії, пов'язаною із забезпеченням: експлуатації і обслуговування вимірювальних комплексів контролю і обліку електроенергії на межах балансової приналежності суміжних організацій; збору, збереження і обробки інформації з вимірювальних комплексів електроенергії енергопостачальної компанії; обміну вимірювальною інформацією з автоматизованими системами (АСКОЕ) суміжних організацій; формування звітних документів.

Метою дослідження є визначення загальних вимог для ефективного впровадження в роботу системи АСКОЕ.

Результати дослідження

Аналіз складу та змісту робіт по підготовці системи АСКОЕ до введення у дію вказує на необхідність проходження декілька стадій роботи.

1. Стадія «Формування вимог до АСКОЕ». Етап «Обстеження об'єкту».

Замовник повинен надати Виконавцю: додатки до Договору купівлі-продажу електричної енергії; перелік місць і схеми розміщення приладів розрахункового та технічного обліку, а також ПВО; перелік приміщень для розміщення обладнання ВР АСКОЕ (стійка серверна, АРМ); траси прокладання інформаційних кабелів та місця підключення; акт купівлі-продажу електроенергії (форма); акти розмежування балансової приналежності електричних мереж і експлуатаційної відповідальності; інформацію про канали зв'язку по об'єктам обліку; однолінійні схеми електричних мереж ВАТ «АК «Вінницяобленерго»; інформацію про структуру організації з вказівкою функцій підрозділів; правила обліку: вироблення, відпустки, надходження, втрат електроенергії. Виконавець повинен оцінити якість функціонування об'єкту і здійснюваних видів діяльності.

2. Стадія «Технічне завдання». Етап «Розробка і затвердження технічного завдання на створення АСКОЕ».

Виконавець повинен провести: розробку; оформлення; узгодження ТЗ у Замовника.

Замовник повинен: затвердити ТЗ; направити затверджене ТЗ на узгодження в: ДП «Енергоринок»; ДП НЕК «Укренерго»; енергопередавальну компанію

3. Стадія «Техноробочий проект». Етап «Розробка проектних рішень по системі і її частинам».

Замовник повинен надати Виконавцю: плани приміщень для подальшого розміщення технічних засобів НР АСКОЕ і ВР АСКОЕ; номери панелей встановлення лічильників електроенергії; місця розміщення джерел резервного живлення для лічильників електроенергії на ПС та для стійки серверної; файли параметризації існуючих лічильників, які включаються до складу АСКОЕ;

характеристики вимірювальних каналів (вимірювальні ТС і ТН, лічильників електроенергії, вторинних ланцюгів); визначити: структуру і вимоги до функцій підрозділів, які приймають участь у функціонуванні АСКОЕ и забезпечують її експлуатацію; організацію функціонування системи и порядок взаємодії персоналу АСКОЕ і іншого персоналу енергопостачальної компанії; затвердити «Техноробочий проект».

Виконавець повинен: розробити загальні рішення по АСКОЕ в цілому і її частинам; вибрати технічну структуру АСКОЕ; визначити організацію і ведення інформаційної бази; визначити вимоги до ПЗ; оформити документи «Техноробочого проекту» згідно переліку, наданому в даному ТЗ; узгодити «Техноробочий проект» з Замовником.

4. Стадія «Введення в дію». Етап «Будівельно-монтажні роботи». Етап «Пусконаладжувальні роботи». Етап «Проведення попередніх випробувань та введення АСКОЕ в дослідну експлуатацію».

5. Стадія «Супровід АСКОЕ». Етап «Виконання робіт відповідно до гарантійних зобов'язань». Етап «Післягарантійне обслуговування».

Висновки

Проаналізовано етапи ефективного впровадження системи АСКОЕ на підприємства, формування ефективної взаємодії з енергопостачальною компанією. Встановлено, що для ефективного функціонування системи необхідно пройти 5 стадій впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коротко про АСКОЕ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sutem.com.ua/3122ascos.php> (дата звернення 11.03.2019). — Назва з екрана.

2. Система коммерческого учета электроэнергии АСКОЕ (АСКУЭ) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://voltenergo.com.ua/services/avtomatizirovannyie-sistemyi-ucheta-elektroresursov-luzod-askoe-astoe/sistema-ucheta-elektroenergii-askoe-askue/> (дата звернення 11.03.2019). — Назва з екрана.

Олексій Вікторович Бабенко – к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Ткачук Вадим Сергійович – студент групи 4Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vadick654@gmail.com.

Aleksey V. Babenko – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Tkachuk Vadim Sergeevich – student of group 4E-15b, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: vadick654@gmail.com.

СИСТЕМА 5S KAIZEN ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні поняття системи менеджменту промислових підприємств 5S Kaizen як основного інструменту для впровадження ощадливого виробництва.

Ключові слова: система 5S, Kaizen, ощадливе виробництво, енергоефективність, енергетичний менеджмент

Abstract

The basic concepts of 5S Kaizen industrial enterprises management system as a main tool for the implementation of lean manufacturing is considered.

Keywords: 5S system, Kaizen, lean manufacturing, energy efficiency, energy management

Вступ

Важко уявити промислове підприємство без різноманітних втрат електроенергії і витрат матеріалів через дефект. Однак у вирі поточних проблем, пов'язаних із технологічним процесом на виробництві, знецінюється увага щодо ще одного виду втрат – втрат робочого часу на неефективні і нераціональні дії. Підходом, що покликаний проаналізувати усі типи втрат і підвищити рівень енергоефективності та скоротити витрати на підприємстві є ощадливе виробництво.

Результати дослідження

Впровадження ощадливого виробництва в цехах починається з найбільш простого і зрозумілого інструменту - системи 5S. І це логічно, тому що первинною одиницею в будь-якій операційній системі є робоче місце. Впровадження системи 5S - це перший крок до виявлення більш складних видів втрат на підприємстві. Мета розгортання системи 5S - мінімізувати на робочому місці всі види втрат таких, як: зайві запаси, непотрібні дії та пересування, очікування і перевиробництво [1].

Система була створена у Японії компанією Toyota у другій половині XX століття. Передбачає введення ряду певних термінів і понять: робоче місце, робоча зона, предмет, центральна зона карантину, локальна зона карантину, діаграма Спагетті, робоча група структурного підрозділу, стандартні операційні процедури та ін..

Ефективність застосування системи для формування якісної роботи напряду залежить від повноти сумісного використання всіх п'яти етапів системи 5S: сортування (Sort), дотримання порядку (Set-In-Order), утримання у чистоті (Shine), стандартизація (Standardize), поліпшення (Sustain).

Висновки

Система 5S Kaizen, дозволяє підвищити енергоефективність на промислових підприємствах за рахунок більш ефективного використання робочого простору, скорочення потреб у транспортуванні продукції, що обробляється із одного підрозділу у другий і зниженні кількості дефектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Имаи Масааки Кайдзен: ключ к успеху японских компаний. //Имаи Масааки - пер. с англ. - (2-е изд.) М.: "Альпина Бизнес Букс", 2005. - 274 с.

Лобатюк Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Lobatiuk A. Yurii – candidate of Engineering Sciences, senior lecturer, Department of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: lobatyuk@vntu.edu.ua

Ващенко Яна Юріївна – студентка групи 4Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vatsenko Y. Yana – student, Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДОЦІЛЬНОСТІ ВРАХУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ
ПОТУЖНОСТІ КОНДЕСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВІД НАПРУГИ**

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз похибки при оцінці потужності конденсаторної установки, зумовленої відхиленням напруги у вузлі її під'єднання.

Ключові слова: реактивна потужність, конденсаторна установка, відхилення напруги.

Abstract

An analysis of the error in the estimation of the capacitance of the capacitor, due to the deviation of the on-pole in the node of its connection, was made.

Keywords: reactive power, condenser installation, voltage deviation.

Вступ

Широке застосування конденсаторних установок (КУ) для компенсації реактивних навантажень обумовлене рядом техніко-економічних переваг (в порівнянні з іншими компенсуючими пристроями), що полягають в наступному:

- можливість використання як для низької, так для середньої і високої напруги;
- малі втрати активної потужності (0,0025-0,005 кВт/квар);
- низька питома вартість (за 1 квар);
- простота експлуатації;
- простота монтажу.

Приймати рішення щодо зміни потужності КУ у зв'язку із зміною реактивного навантаження необхідно із врахуванням їх властивостей, які суттєві в конкретному випадку. Такий підхід реалізований в сучасних системах керування КУ, але вплив напруги на кінцевий ефект залишається недостатньо вивченим і, як наслідок, при прийнятті рішення до уваги не приймається.

Метою роботи є дослідження впливу напруги на потужність КУ та формулювання умов, за яких зазначену залежність треба брати до уваги при компенсації реактивних навантажень.

Отримані результати

КУ мають ряд недоліків, одним з яких є зміна продуктивності конденсатора по напрузі та частоті, відмінних від номінальних. Якщо знехтувати впливом частоти (зміна частоти відбувається в незначних межах, $\pm 0,2$ Гц), то залежність фактичної потужності КУ – Q_k від напруги буде такою:

$$Q_k = Q_n \cdot \left(\frac{U_\phi}{U_n} \right)^2 \quad (1)$$

де Q_n – реактивна потужність КУ, що відповідає номінальній напрузі;

U_ϕ – фактична напруга в місці приєднання КУ;

U_n – номінальне значення напруги.

Таким чином, при спадах напруги в мережі реактивна потужність КУ, яка генерується, знижується, що призводить до додаткового зниження напруги, при підвищенні напруги – навпаки. В цьому проявляється від'ємний регулюючий ефект КУ.

Аналіз рівняння (1) свідчить, що вже при відхиленнях напруги в межах $\pm 5\%$, що знаходиться в допустимих межах за ГОСТ 13109-97, потужність ступенів КУ зміниться на $\pm 10\%$. Не врахування цієї обставини може призвести до суттєвих неточностей, і, як наслідок, до прийняття недопустимих рішень або до зниження ефективності управління. В дійсності, відхилення напруги у вузлі установки КУ може бути і більшим, що пов'язане з втратами напруги від вузла живлення до приймача електроенергії.

З рівняння (1) та відомого рівняння втрат напруги в мережі можна вивести співвідношення, що дозволять визначити умови, за яких доцільно при управлінні КУ враховувати залежність $Q_k(U)$.

Визначимо відносний рівень напруги k_u , за якого неврахування $Q_k(U)$ в розрахунках викличе появу абсолютної похибки по потужності ξ_Q , квар, та параметри, що визначають цю похибку:

$$\xi_Q = Q_k - Q_n = Q_n \cdot (k_u^2 - 1) \quad (2)$$

З (2) виразимо k_u :

$$k_u = \sqrt{1 + \frac{\xi_Q}{Q_n}}, \quad (3)$$

де $k_u = \frac{U_\phi}{U_n}$ - відносний рівень напруги у вузлі, в.о.

За співвідношенням (3), задавшись похибкою ξ_Q і варіюючи Q_n в пакеті MathCAD було отримано графічну залежність $k_u(Q_n)$, рис.

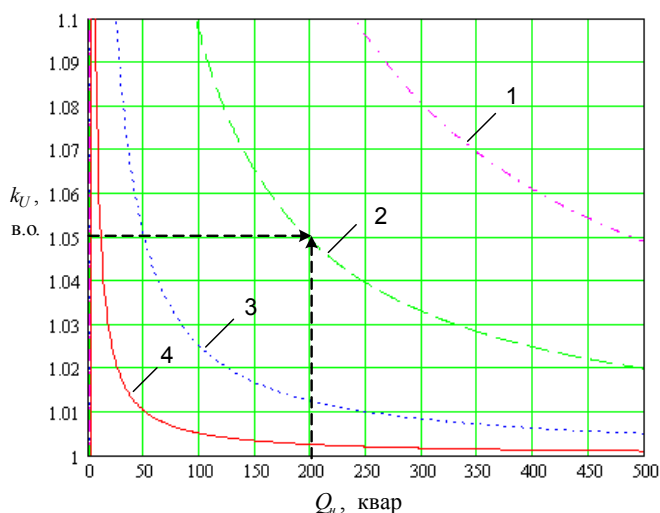


Рисунок – Функціональні залежності $k_u(Q_n)$:

1 – при $\xi_Q = 50$ квар; 2 – при $\xi_Q = 20$ квар;

3 – при $\xi_Q = 5$ квар; 4 – при $\xi_Q = 1$ квар

З наведених графіків видно, що, наприклад, при напрузі $1,05 U_n$ та номінальній потужності КУ 200 квар її потужність насправді становить $200 + 20 = 220$ квар. Відомі системи управління КУ в процесі роботи не враховують факт збільшення потужності на 20 квар.

Висновок

1. Потужність КУ залежить від напруги у вузлі її під'єднання, що може суттєво вплинути на результати рішення з компенсації реактивних навантажень.

2. Існує практична потреба в розробці математичних моделей, які дозволяють приймати рішення із врахуванням залежності $Q_k(U_\phi)$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Терешкевич Л.Б. Управління конденсаторними установками в системах електропостачання з врахуванням напруги у вузлах їх установок. / Л.Б.Терешкевич, М.І Цибульський. – Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2003 –№6 – с. 213-219
2. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця.: ВНТУ, 2016. – 136 с.
3. Математичне моделювання задач керування конденсаторними установками в системах електропостачання. / Л.Б.Терешкевич Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2005 - №5(62) – с. 61-67.

Віталій Михайлович Сас – студент групи 3Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Леонід Борисович Терешкевич** – к.т.н., доцент, професор кафедри Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vitaliy Mikhailovich Sass – student group 3E-15b, faculty of electric power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya

Scientific supervisor: **Leonid Borisovich Tereshkevich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, Faculty of Power Engineering and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

А. М. Ілик
А. О. Богач
О. Д. Демов

РОЗДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В НИХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На основі формули Тейлора запропонована модель розділення функції зниження втрат на дві складових: перша – зниження втрат активної потужності, зумовлене дією окремих конденсаторних установок; друга – зниження втрат активної потужності, зумовлене їх спільною дією, що дозволяє проводити розділення мережі.

Ключові слова: декомпозиція мережі, втрати активної потужності, формула Тейлора.

Abstract

Based on the formula suggested by the Taylor model of separation of functions reduce losses into two components: the first - reducing active power losses caused by the action of individual capacitor units, the second - reducing active power losses caused by their joint action, which allows the decomposition of the network.

Keywords: decomposition of the network active power losses, claims Taylor.

Вступ

Основою існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності (КРП) в електричних мережах є підхід, який базується на проведенні таких розрахунків для всієї мережі одночасно [1]. Розв'язувати задачу таким чином складно, оскільки розв'язання задачі в цілому потребує значних затрат на збір інформації.

Таким чином виникає необхідність в розробці методів розділення електричної мережі при розв'язанні задачі КРП на частини, що дозволить спростити вказану задачу.

Результати дослідження

Розглянемо розділення функції зниження втрат, яка залежить від величини вектора зниження реактивних навантажень $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ (Q_1, Q_2 - відповідно вектори реактивних навантажень мережі до і після їх зниження).

Зміна координат вектора Q_1 на величину ΔQ зумовлює зниження функції величини втрат $\delta P(Q)$, яку можна знайти за допомогою формули Тейлора [2]:

$$\delta P(Q) = (\nabla P(Q_1))^T \cdot \Delta Q + \frac{1}{2} \cdot \Delta Q^T \cdot \nabla^2 \cdot (\Delta P(Q_1)) \cdot \Delta Q \quad (1)$$

де $P(Q_1)$ – функція величини втрат від вектор реактивних навантажень Q ; $\nabla P(Q_1)$ - вектор-стовпчик перших похідних від функції $\Delta P(Q)$ за змінними координат вектора реактивних навантажень Q_i ; $\nabla^2(\Delta P(Q_1))$ – симетрична матриця других похідних від функції $\Delta P(Q_1)$ за змінними Q_i [2].

Використовуючи формулу (1), здійснимо розділення функції $\delta P(Q)$ для елементарної мережі, заступна схема якої приведена на рис. 1, при установленні КУ потужністю Q_{K1} в першому вузлі

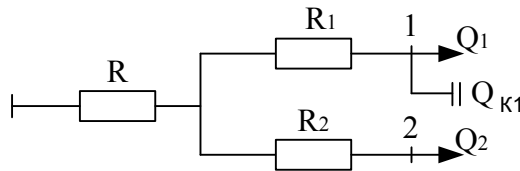


Рис. 1. Заступна схема елементарної мережі: R – значення активного опору живильної мережі; R_1 , R_2 – еквівалентні активні опори мереж першої та другої частин електричної мережі; Q_1 , Q_2 – реактивні навантаження відповідно першого та другого вузлів.

Відповідно знайдемо функцію зниження втрат $\delta P(Q_{K1})$ для мережі, зображеної на рис. 1,

$$\delta P(Q_{K1}) = \frac{1}{U^2} \cdot \left(2 \cdot Q_{K1} \cdot (R \cdot (Q_1 + Q_2) + R_1 \cdot Q_1) + Q_{K1}^2 \cdot (2 \cdot R + R_1) \right). \quad (2)$$

Формула (2) дозволяє виділити з всієї схеми ту її частину, яка бере участь в розрахунку КРП.

Висновки

На основі формули Тейлора запропонована модель розділення функції зниження втрат, що дозволяє розділити електричну мережу при розрахунку компенсації реактивної потужності в ній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
2. Реклейтис Г. Оптимизация в технике” В 2-х книгах. Книга 1 / Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. ; пер. с англ. к.т.н. В. Я. Алтаева, В. И. Моторина. – Москва : Мир, 1986. – 347с

Андрій Миколайович Ілік – студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Андрій Олегович Богач – студент групи 4Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Andre N. Ilik – student group ESE-18m, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia;

Andre O. Bohach - student group ESE-18m, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsia;

Supervisor: **Olexandr D. Demov** – Cand. Sc. (Eng), assistant professor, assistant professor of the Department of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОЦІНКА ЗАТРАТ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ НАСОСІВ ТА ВЕНТИЛЯТОРІВ В ЗАСТОСУВАННЯХ ОВК (ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, КОНДИЦІОНУВАННЯ)

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто частотні перетворювачі як найновітніший та найекономічніший спосіб регулювання швидкості електропривода. Розраховано оцінку затрат на життєвий цикл насосів та вентиляторів в застосуваннях ОВК

Ключові слова: частотний перетворювач, частотний привід, частота.

Abstract

The frequency converters are considered as the most up-to-date and most economical way of controlling the speed of the electric drive. Estimated cost of life cycle of pumps and fans in the use of DEC's

Keywords: frequency converter, frequency drive, frequency.

Вступ

У зв'язку постійним підвищенням цін на енергію, підприємствам все частіше доводиться мати справу з економією енергії і енерговитрат. Викликає подив те, що дискусії, які ведуться в цій галузі, в основному стосуються альтернативних джерел енергії та нових енергозберігаючих технологій, в той час як порівняно мало уваги приділяється вже існуючим технічним рішенням, до речі, забезпечує колосальну економію. перевіреним і недорогим рішенням є застосування перетворювачів частоти (ПЧ) для регулювання швидкості обертання приводів в системах опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК).

Результати досліджень

Типова система розрахована на пікове навантаження, необхідність в якій при експлуатації виникає досить рідко. Це означає також, що для більшої частини часу експлуатації вентилятори і насоси розраховані з великим «запасом». На рис. 1 показано, що нормальна робоча точка системи ОВК лежить в основному нижче 100% - навантаження. У світлі законів подібності значну економію можна було б забезпечити шляхом регулювання швидкості обертання приводного двигуна насоса або вентилятора. На малюнку зліва також показано, що більше протягом 90% робочого часу об'ємний витрата становить менше 70%.

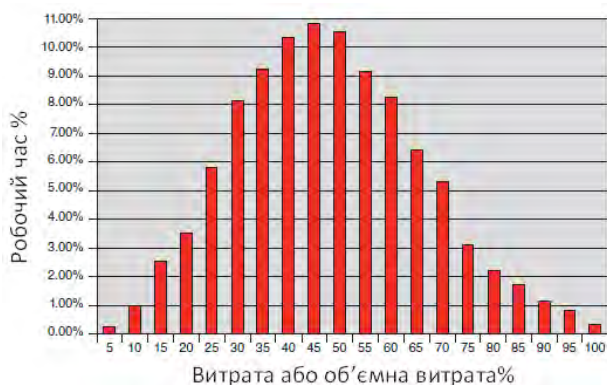


Рисунок 1 – Типовий навантажувальний профіль системи ОВК

Купівельна ціна є лише незначною частиною сукупних витрат на життєвий цикл для вентиляторів і насосів. Хоча значна частина витрат падає на обслуговування, однак основна частина експлуатаційних витрат пов'язана зі споживанням енергії. На рис. 2 наочно представлені типові витрати на життєвий цикл для насоса. При цьому стає очевидним, що енергозбереження в розмірі до 70% істотно впливає на витрати на життєвий цикл. Типові витрати на життєвий цикл для вентиляторів дуже схожі на показані витрати для насосів.

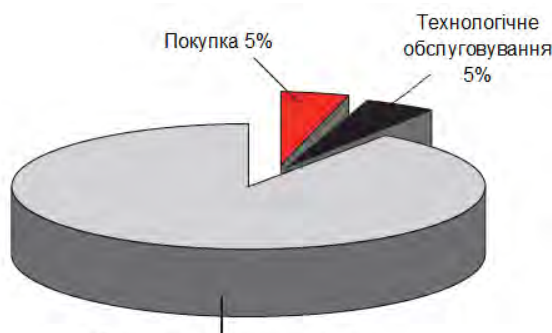


Рисунок 2 – Типові витрати на життєвий цикл для насосів

Висновки

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє заощадити аж до 70%. З розрахунку 3 кВт-го насоса отримано, що за 15 років експлуатації насоса з частотним перетворювачем, можна буде заощадити 118 260 кВт-год, 329933 грн, кожного року економлячи 21996 грн. Ідея застосування перетворювача частоти для регулювання швидкості обертання лопатевих механізмів, таких як насоси, вентилятори і компресори, не нова. Однак нові технології в цій галузі зробили цю альтернативу ще більш привабливою в зв'язку з незначними супутніми витратами. Застосування електродвигунів зі змінною швидкістю обертання в системах ОВК забезпечує великий потенціал енергозбереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Прилипко О.О., Пертрус В.В. Кількісне регулювання систем тепlopостачання з використанням частотних перетворювачів м.Вінниця, 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2016/paper/view/41/284>
2. Расчет экономической эффективности внедрения преобразователей частоты для насосных агрегатов [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.vfd.com.ua/content/view/144/184/>
3. Томи Ристимьяки, Энергетическая эффективность благодаря приводам с регулируемой скоростью обертання, оснащеним перетворювачами частоти 08.2008р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eco-tech.od.ua/files/h-energy-vdf-ru.pdf>

Поліщук Роман Володимирович – студент групи ЕМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 4e14b.polishchuk@gmail.com

Науковий керівник: **Кравець Олександр Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСЕЕМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Polishchuk Roman Vladimirovich – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 4e14b.polishchuk@gmail.com

Scientific supervisor: **Kravets Oleksandr Nikolaevich** - Cand. tech Sciences, associate professor of the ESEEM Chair, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

М. В. Панасюк¹
Л. В. Строкатюк²
Ю. А. Шулле¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ «ІНКО-ФУД БЕРДИЧІВ»

¹ Вінницький національний технічний університет;

² ТОВ «ІНКО-ФУД Бердичів»

Анотація

В роботі здійснено розрахунок електропостачання підприємства в цілому та одного з його цехів, а саме здійснено вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової і заводської мереж, вибір та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій. Наведені рекомендації з впровадження пристрою автоматичного включення резерву в мережі 10кВ.

Ключові слова: електропостачання, мережа, ефективність, комутаційно-захисна апаратура.

Abstract

In this work the electricity supply of the enterprise as a whole and one of its shops was made, namely the choice of switching protective equipment and conductors of workshop and factory networks, the choice and location of workshop transformer substations. The recommendations for introducing a device for automatic switching of the reserve in the network of 10 kV are given.

Key words: power supply, network, efficiency, switching and protective equipment.

Вступ

Прийняття проектних рішень безпосередньо впливає на об'єм і трудомісткість монтажних робіт, зручність та безпечність експлуатації електротехнічних установок систем електропостачання.

Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням і структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту.

Процес виробництва залежить від системи електропостачання, що забезпечує нормальний режим роботи підприємства. Система електропостачання повинна задовольняти наступним вимогам: економічність, безпечна експлуатація, надійність, можливість подальшого розвитку без суттєвих змін, забезпечення нормативної якості електроенергії.

Мета – вирішення наукових та інженерних задач в процесі проектування системи електропостачання ТОВ «ІНКО-ФУД Бердичів». Прийняття рішень з використанням сучасних комп'ютерних технологій. Здійснити вибір і перевірку комутаційно-захисної апаратури, провідників цехової і заводської мереж, вибір трансформаторних підстанцій та місця їх розташування.

Результати досліджень

Враховуючи те, що підприємство належить до другої категорії по електропостачанню, живлення потрібно здійснювати двотрансформаторною підстанцією. Оскільки всі потужності виробництва розміщені в межах однієї будівлі і довжини кабельних розподільчих мереж є не значними, прийнято рішення встановити одну підстанцію.

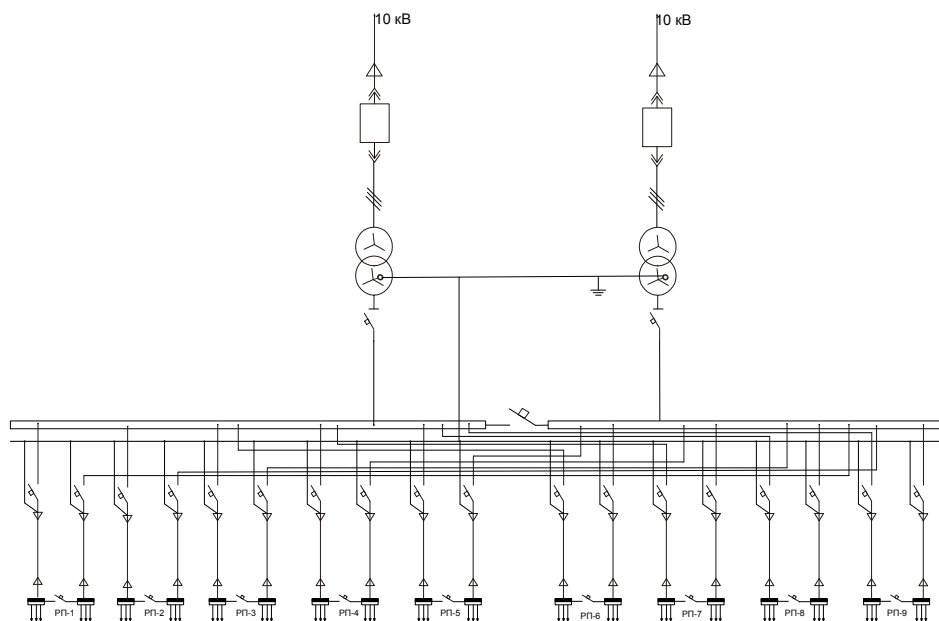


Рисунок 1 – Схема електропостачання підприємства

Живлення об'єкта виконується кабельною лінією, 10 кВ від підстанції 110/35/10, що знаходиться на відстані 3,2 км. Так як категорія заводу по надійності електропостачання за ПУЕ - друга, то зовнішня лінія живлення буде прокладена двома кабелями, які живляться з різних секцій збірних шин 10кВ. На основі проведених розрахунків було вирішено, що доцільним є встановлення комутаційної апаратури яка дозволить отримувати безперебійне живлення об'єкта. А саме встановлення пристрою автоматичного ввімкнення резерву зі сторони високої напруги. Даний пристрій виконує автоматичне включення резервного джерела живлення (АВР) при перебоях живлення однієї з секцій, і автоматичне відновлення нормального режиму (ВНР) після успішного спрацювання АВР.

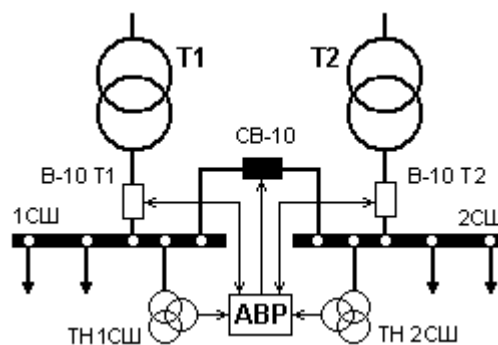


Рисунок 2 – Однолінійна схема принципу дії АВР

Висновки

У роботі розроблено систему електропостачання ТОВ «ІНКО-ФУД Бердичів» Розраховано електричні навантаження ділянки пакування та підприємства в цілому. Обрано оптимальні перерізи кабельних ліній для живлення цехів та ТП. Розраховано оптимальну потужність трансформаторів, та місце розташування трансформаторної підстанції, обрані конденсаторні батареї для компенсації реактивної потужності та схема аварійного ввімкнення резервного живлення.

СПИСОК ВИКОРОСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурбело М. Й. «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків». Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. - Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005р. – 148с.
2. Правила улаштування електроустановок. вид. 3-тє, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
3. Демов О.Д., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 92 с.
4. Кудрин Б.И., Прокопчик В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. - Минск: Высшая школа, 1988. - 360 с.

5. Компанія «ЕЛІМ-Україна» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://elim-ua.com.ua/garantirovannoe-elektrosnabzhenie/stabilizatory/item/81-sna3s-1000.html> (дата звернення 04.06.2014).

Панасюк Максим Вікторович – студент групи ЕСЕ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: panass666@gmail.com

Строкатюк Леонід Васильович – головний інженер, ТОВ «ІНКО-ФУД Бердичів», м. Бердичів, Житомирської обл.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Panasyuk Maxim Viktorovich - student of the group EEE-17m, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: panass666@gmail.com

Strokatyuk Leonid Vasylovych - chief engineer, INCO-FUD Berdichev LLC, Berdychiv, Zhytomyr region.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СЕП ДІЛЬНИЦІ РЕМОНТІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІ ВІННИЦЯ-750 КВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі розкрито питання із підвищення надійності системи електропостачання дільниці ремонтів високовольтного обладнання.

Ключові слова: надійність, електропостачання, електроенергія, якість, електробереження.

Abstract

In this paper, the issues of increasing the reliability of the electricity supply system of the repair section of high-voltage equipment are disclosed.

Key words: reliability, power supply, electricity, quality, electrical preservation.

Вступ

Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням і структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту.

Процес виробництва залежить від системи електропостачання, що забезпечує нормальний режим роботи підприємства. Система електропостачання повинна задовольняти слідуючим вимогам: економічність, безпечна експлуатація, надійність, можливість подальшого розвитку без суттєвих змін, забезпечення нормативної якості електроенергії (відхилення напруги, коливання напруги, несинусоїдальність і т.д.).

Результати дослідження

Можна виділити наступні напрямки економії електричної енергії на підприємствах:

- економія електроенергії зменшенням її втрат;
- енергозбереження засобами електроприводу;
- економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності;
- економія електроенергії при експлуатації електрообладнання.

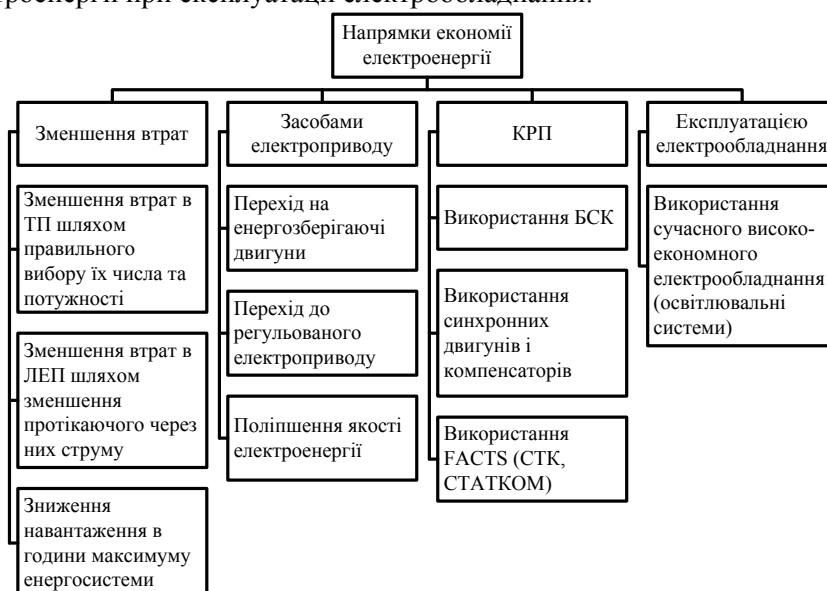


Рисунок 1 - Напрямки електробереження на підприємствах

Розробка заходів з підвищення надійності системи електропостачання:

1. Вимоги до побудови систем автоматичного введення резерву на підприємствах:

- Пристрої АВР повинні передбачатися для відновлення живлення споживачів шляхом автоматичного приєднання резервного джерела живлення при відключенні робочого джерела живлення, що приводить до знеструмлення електроустановок споживача.
- Пристрої АВР повинні передбачатися також для автоматичного включення резервного

устаткування при відключенні робочого устаткування, що приводить до порушення нормального технологічного процесу.

- Пристрої АВР також рекомендується передбачати, якщо при їх застосуванні можливо спрощення релейного захисту, зниження струмів КЗ і здешевлення апаратури за рахунок заміни кільцевих мереж радіально-секціонованими і т.п.

- Пристрої АВР можуть встановлюватися на трансформаторах, лініях, секційних і шиноз'єднувальному вимикачах, електродвигунах і т.п.

- Пристрій АВР, як правило, повинен забезпечувати можливість його дії при зникненні напруги на шинах елемента, викликаній будь-якою причиною, у тому числі КЗ на цих шинах (останнє - за відсутності АПВ шин).

2. Характеристики програмованих логічних контролерів і їх застосування в системах електропостачання:

Застосування у промисловості інтелектуальних реле Zelio Logic.:

- автоматизація невеликих машин, службовців для виробництва, обробки, збірки або упаковки;
- децентралізовані у автоматичні пристрої в допоміжних системах крупних і середніх машин, які використовуються у текстильній промисловості, виробництві пластмас, переробці матеріалів;
- автоматизація сільськогосподарських машин (іригаційні системи, насосні агрегати, теплиці і так далі).

3. Розроблення схеми автоматичного керування увімкненням вуличного освітлення з використанням програмованих логічних контролерів марок Zelio Logic та OBEN

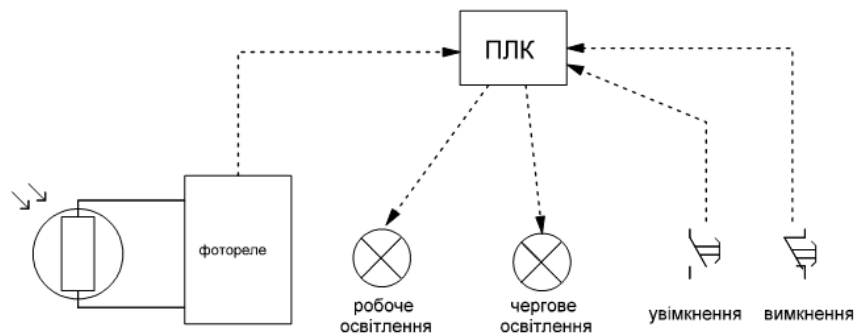


Рисунок 1 - Схема автоматичного керування увімкненням освітлення

Система керує двома групами освітлення - основним та черговим. Ці групи підімкнені до мережі через магнітні контактори.

ПЛК програмований логічний контролер, який, керує системою відповідно до створеної програми.

Висновки

У даній роботі було розкрито питання із підвищення надійності системи електропостачання дільниці ремонтів високовольтного обладнання. Було проаналізовано вимоги до побудови систем АВР на підприємствах. Наведено характеристики програмованих логічних контролерів і їх застосування в системах електропостачання. Розроблено схеми автоматичного керування увімкненням вуличного освітлення з використанням програмованих логічних контролерів марок Zelio Logic та OBEN.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5–28–2006. Природне і штучне освітлення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/%D0%94%D0%91%D0%9D-%D0%92.2.5-28-2006.pdf>

2. РД 153–34.0–15.501–00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://znaytovar.ru/gost/2/RD_1533401550100_Metodicheskie.html

Євгеній Борисович Кутік – студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kutyk.eb@gmail.com.

Науковий керівник: Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Eugen B. Kutyk - Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано впровадження енергозбереження на промислових підприємствах шляхом створення енергоаудиту, використання батарей статичних конденсаторів для компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: шляхи енергозбереження, компенсація реактивної потужності, зменшення втрат електроенергії.

Abstract

The proposed introduction of energy saving in the enterprise through the creation of energy audit, the use of static capacitors to compensate for reactive power.

Keywords: ways of energy saving, compensation of reactive power, reduction of electric power losses.

Вступ

Однією з основних проблем української економіки є висока енергоємність ВВП, що за даними Міжнародного енергетичного агентства складає 0,5 кг нафтового еквіваленту на 1 дол. США. Цей показник в 2,6 рази перевищує рівень енергоємності розвинених країн світу (0,21 кг на 1 дол. США).

Дуже велика частка енергоресурсів, що споживаються у виробництві чавуну в Україні, припадає на природний газ (20%, або 20,0 млрд.м³), тоді як у провідних країнах світу природний газ для його плавлення практично не використовується. У прокатному виробництві енергоємність продукції перевищує світові показники більше, ніж на 35%.

Результати дослідження

Енергозбереження є важливою частиною загальної тенденції щодо захисту навколишнього середовища. Можна виділити наступні шляхи енергозбереження на виробництві:

- економія електроенергії зменшенням її втрат;
- енергозбереження засобами електроприводу;
- економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності;
- економія електроенергії при експлуатації електрообладнання.

Основний спосіб зниження споживання електроенергії - її економія за рахунок зменшення втрат електроенергії в системах електропостачання (трансформаторах, лініях), а також за рахунок раціоналізації та вдосконалення технологічного процесу споживання електроенергії електродвигунами. Зменшення втрат електроенергії в трансформаторах можна досягти шляхом правильного вибору числа та потужності трансформаторів; раціонального режиму їх роботи; виключення холостого ходу при малих навантаженнях. Для зменшення втрат в лініях живлення необхідно зменшити струм. Це можливо при використанні резервних та паралельно працюючих ліній, а також при підвищенні напруги в мережі.

Оптимізація освітлення: максимальне використання денного світла (збільшення кількості, площі та прозорості вікон); збільшення відбиваючої здатності (світлі стіни та стелі); оптимальне розміщення джерел штучного світла (місцеве, направлене освітлення); використання освітлювальних приладів лише за необхідністю; підвищення світловіддачі наявних джерел світла (заміна люстр, відбивачів); використання приладів управління освітленістю (датчики руху, акустичні датчики, датчики освітленості, таймери, дистанційне керування, дімери).

Енергетичне обстеження (енергоаудит) проводиться з метою визначення шляхів швидкого й ефективного зниження витрат на енергоресурси, скорочення і виключення непродуктивних витрат

(втрат), оптимізації або заміни технології виробництва. Він може стати ґрунтовною базою, трампліном для якісного ривка в конкурентній боротьбі на ринку товарів і послуг.

Компенсація реактивної потужності вкрай необхідна річ в енергетиці. Коли реактивна потужність і енергія погіршують показники роботи енергосистеми, тобто завантаження реактивними струмами генераторів електростанцій збільшує витрату палива; збільшуються втрати в мережах і приймачах; збільшується спад напруги в мережах. В загальному випадку пристрої компенсації реактивної складової потужності будуються на основі реактивних елементів реакторів чи конденсаторів. За необхідністю та значенням компенсованої потужності застосовують паралельне чи послідовне з'єднання відповідної кількості елементів. Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних установок). Використання конденсаторних установок дозволяє:

- розвантажити живлячі лінії електропередачі, трансформатори і розподільні пристрої;
- зменшити витрати на оплату електроенергії;
- при використанні певного типу установок знизити рівень вищих гармонік;
- подавити мережеві перешкоди, понизити несиметрію фаз;
- зробити розподільні мережі надійнішими і економічнішими.

Висновок

Для ефективного енергозбереження потрібні капіталовкладення, які окупляться через 5-10 років. В сучасній електроенергетиці знайшли широке застосування наступні шляхи енергозбереження: економія електроенергії зменшенням її втрат; енергозбереження засобами електроприводу; економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності; економія електроенергії при експлуатації електрообладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рогальський Б.С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та статичні засоби управління / Б.С. Рогальський. – Вінниця: ВДТУ, 2002 – Ч.1. – 118 с.
2. Баркан Я.Д. Автоматичне управління режимом батерей статичних конденсаторів / Я.Д. Баркан. – М.: Енергія, 1978. – 112 с.
3. Жежеленко І.В. Якість електричної енергії на промислових підприємствах / І.В. Жежеленко, М.Л. Рабінович, В.М. Божко – К.: Техніка, 1981. – 157 с.
4. Джеджула В.В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія / В.В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 346 с.

Богдан Вікторович Зінковський – студент групи ЕСЕ-18м, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e16bms.zinkovskiy@gmail.com.

Науковий керівник: Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Bogdan V. Zinkovsky – faculty of electric power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e16bms.zinkovskiy@gmail.com

Supervisor: Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

КОНТРОЛЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано сучасні методи та можливості для компенсації реактивної потужності на промислових сонячних електростанціях.

Ключові слова: інвертор, фотоелектрична станція, компенсація реактивної потужності, коефіцієнт потужності, імпульсний перемикач.

Abstract

The modern methods and possibilities for compensation of reactive power at industrial solar power stations are analyzed.

Keywords: inverter, photovoltaic station, reactive power compensation, power factor, pulse switch.

Вступ

Станом на сьогодні, управління реактивною потужністю є невід'ємною частиною контролю рівня напруги в електроенергетичній системі. У той же час, контроль реактивної потужності можна вважати недостатньо дослідженою проблемою у фотоелектричній промисловості, він може дати ключ до значного збільшення прибутку власників промислових сонячних електростанцій.

Потрібно зважати, що традиційні синхронні генератори, які широко використовуються у вітчизняних мережах, якісно підтримують баланс реактиву, проте витрати на цей метод компенсації відносно великі. Для підтримки параметрів енергосистеми деякі потужні підприємства та великі компанії часто використовують статичні компенсаційні установки, в яких, в залежності від поточної ситуації, до ліній електропередач підключаються або конденсатори, або котушки індуктивності. Проте необхідно пам'ятати про основні недоліки цього методу, до яких відносяться занадто повільна реакція; дискретність елементів, що не забезпечує повноти компенсаційного впливу; стрибки напруги та сили струму через перехідні процеси у мить ввімкнення або вимкнення дискретних модулів [1].

Результати дослідження

Для вирішення проблеми був досліджений підхід сучасних проектувальників електросилових систем, що встановлюють синхронні компенсатори, статичні ВАР компенсатори (static var compensators — SVCs) і статичні синхронні компенсатори (static synchronous compensators — STATCOMs) у всіх вузлах мережі, де потрібен швидкий і плавний контроль реактивної потужності. SVC і STATCOM відносять до категорії динамічних пристроїв через високу швидкість відклику і змінну потужність на виході з пристрою [2].

SVC є об'єднання звичайних конденсаторів та індуктивностей з високошвидкісними комутаторами (зазвичай — напівпровідниковими керованими симісторами), що дозволяє здійснювати регулювання більш плавно, ніж статичними батареями. STATCOM — твердотільні силові електронні пристрої, такі ж як сонячні інвертори, але розташовані поза масивом сонячної електростанції. Вони здатні поглинати і генерувати реактивну енергію, змінюючи напругу, числове значення якої буде більше або менше напруги на загальній шині. З огляду на те, що вартість інверторів падає в три-чотири рази швидше, ніж вартість традиційних компенсаторів реактиву, їх застосування для цих задач з кожним роком зростає і в перспективі вони повністю витіснять інші компенсаційні установки.

У складі сонячної електростанції працює безліч фотогальванічних інверторів, підключених до загальної шини. Як було зазначено вище, кожен з них може як поглинати реактивну складову, протидіючи підвищенню напруги в точці підключення, так і генерувати її, борючись з провалами напруги. При досить високій інтеграції сонячних електростанцій і енергорозподільчих мереж можлива

побудова систем, які будуть боротися зі стрибками напруги, що неминуче виникають в будь-якій великій мережі. Чутливість до зміни освітленості (а отже, і генерації) на окремих ділянках мережі також буде мінімальною [3].

Таким чином, можливе створення принципово нового інструменту (розподіленої системи), здатної зводити до мінімуму теплові втрати від реактивних струмів і навіть компенсувати реактив від зовнішніх споживачів.

Регулювання на рівні інвертора та на рівні підприємства можливо при розробці системи регулювання, на стадії проекту якої розраховують регулюючу дію на рівні кожного окремого інвертора, або на рівні сонячної електростанції в цілому. При регулюванні на рівні інвертора він програмується на зміну режимів роботи в залежності від рівня генерації і напруги на клемі. На рівні електростанції центральний контролер керує рівнем реактивної потужності, коефіцієнтом потужності або напругою у вузлі приєднання мережі підприємства до зовнішньої електричної мережі. Крім цього, за допомогою центрального контролера можна використовувати додаткове обладнання для регулювання реактивної складової струму (наприклад, конденсаторними батареями).

Сучасні інвертори можуть мати кілька вбудованих функцій, за допомогою яких можливе здійснення на рівні інверторів підтримки постійного коефіцієнта потужності, постійної реактивної потужності а також здійснювати динамічний контроль уставки, що забезпечить уставку коефіцієнта потужності або рівня реактивної потужності в залежності від сигналу, отриманого від диспетчера.

Якщо ж розглядати промислову сонячну електростанцію в цілому, то вона може складатися з десятків або навіть сотень фотоелектричних генераторів. Центральний контролер дозволить координувати роботу окремих інверторів і перетворить їх в єдиний віртуальний генератор, що в залежності від ситуації буде постійно змінювати реактивну потужність інверторів, підтримуючи тим самим напругу на незмінному рівні [2].

Крім інверторів для контролю і регулювання реактивної потужності можна використовувати й інші види обладнання, особливо в разі, якщо застосування інверторів призведе до зменшення потужності, що віддається. При цьому розробник системи може зупинити свій вибір на комутованих конденсаторах і компенсаторах. Така заміна потребує економічного обґрунтування і розрахунку співвідношення зміни собівартості електроенергії і обсягу капітальних внесків.

Але перш ніж розглядати подібні варіанти проектувальнику варто замислитись про можливу комбінацію статичних і динамічних пристроїв. Цілком може виявитися, що економічно доцільним буде грубе регулювання реактиву за допомогою конденсаторних батарей, що перемикаються, і точне підстроювання інверторами.

Висновок

Стрімкий розвиток сучасних технологій надають можливість встановлювати дієві синхронні компенсатори, статичні ВАР компенсатори і статичні синхронні компенсатори у всіх вузлах мережі, де потрібен швидкий і плавний контроль реактивної потужності. Проте потрібно враховувати той факт, що наявність імпульсних перемикачів призведе до збільшення паразитних перехідних процесів в момент підключення і відключення конденсаторних батарей, що потребують більш потужних і якісних динамічних систем контролю. Проте зниження загальної собівартості проекту дозволить придбати динамічні системи вищої якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. — Вінниця : ВНТУ, 2016. — 136 с.
2. Милосердов В. О., Терешкевич Л. Б. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. Навчальний посібник / В. О. Милосердов, Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 122 с.
3. Терешкевич Л. Б., Tereshkevych L. B. АСУ режимами систем електропостачання Терешкевич Л. Б. АСУ режимами систем електропостачання. Навч. посібник / Л. Б. Терешкевич. - Вінниця : ВДТУ, 1998. - 119 с. Укр. мовою/

Гриб Андрій Миколайович – студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. e-mail:

3e14b.hryb.a.m@gmail.com

Лобатюк Юрій Анатолійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Grib Andrii Mykolayovych - Student group ECE-18m, faculty Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: 3e14b.hryb.a.m@gmail.com

Lobatiuk Yurii Anatoliyovych - Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано сучасні підходи до вирішення задачі підвищення ефективності генерації сонячних відновлювальних джерел енергії.

Ключові слова: сонячні панелі, підвищення ефективності, сонячна енергія.

Abstract

The modern approaches to solving the problem of increasing the efficiency of generation of solar recuperative energy sources are analyzed.

Keywords: solar panels, efficiency improvement, solar energy.

Вступ

Сьогодні для функціонування промислових ФЕС застосовуються різні види фотовольтаїчних панелей, переважна більшість яких є кристалічним. В той же час завдяки стрімкому розвитку технологій постійно з'являються нові методи підвищення енергоефективності при перетворенні світлових енергій у електричну, оскільки ККД кремнієвої сонячної батареї — близько 16%[1].

Результати дослідження

Розробка Массачусетського технологічного інституту реалізує спосіб значного підвищення ефективності сонячних панелей, що полягає у використанні вуглецевих нанотрубок. Дослідники вважають, що їхня розробка щось на кшталт антени для захоплення світла. Фотогальванічні елементи з антенами мають крихітні розміри, але вловлюють набагато більше сонячного світла. У якості основного компоненту антени запропоноване використання волокнистої нитки завдовжки 10 мкм і завтовшки 4 мкм. Вона складається з двох шарів вуглецевих нанотрубок з різними електричними властивостями. Зовнішній — має вищий потенціал, відтак захоплює більше світла, а внутрішній його концентрує. Всього у волокні близько 30 млн. таких нанотрубок.

Вартий уваги спосіб, що базується на використанні перовскітів — групи матеріалів зі схожою кристалічною структурою, здатних скласти конкуренцію традиційним кремнієвим сонячним панелям завдяки гнучкості, низької вартості плівок і відносній простоті виробничого процесу. Однак до цих пір деякі особливості структури і потенційний ефект заміни в таких сонячних елементах одних металів іншими залишалися нез'ясованими. Як відомо, виробничий процес виготовлення кремнієвих сонячних панелей вимагає високотемпературного режиму (1400 °C) і складного обладнання, тоді як перовскітові плівки виробляються при температурі всього в 100°C [2]. Устаткування для їх виготовлення коштує недорого, крім того, склад на основі перовскіта можна наносити на різні поверхні, що значно розширює сферу застосування цього фотоелектричного елемента. Корпорація Toshiba створила перовскітним складову сонячну панель з міні-модулів з ефективністю перетворення світла в електрику 10.5%, що визнано рекордною продуктивністю серед міні-модулів, що

використовують мультисотову архітектуру. Нова технологія друку мінімодулей не тільки збільшила їх продуктивність, але і знизила собівартість виробництва гнучких сонячних елементів, якими можна укомплектовувати найрізноманітніші предмети (технологія BIPV). Компанія заявила, що не збирається зупинятися на досягнутому і буде домагатися конверсії на рівні панелей з кристалічного кремнію і собівартості енергії від перовськітових елементів на середньому для японського енергетичного ринку рівні в 0,06 доларів / кВт * год. Виробництво нових перовскітних сонячних панелей здійснюється за допомогою перенесення на плівкову основу тонких органічних модулів, а безперервна подача рулонного матеріалу дозволяє знизити собівартість виробництва.

Висновки

Беручи до уваги стрімкий розвиток технології, необхідно постійно вести моніторинг сучасних способів підвищення рівня перетворення енергії під час генерації останньої. Розглянуті методи і підходи дозволяють підвищити ефективність генерації електроенергії сонячними відновлювальними джерелами енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Типы солнечных батарей, их эффективность. Нано солнечные батареи [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – UTEM SOLAR. – Режим доступу: www.utm.org.ua (дата звернення 7.03.2019) – Назва з екрана.
2. Перовскитные солнечные ячейки [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Екотехника. – Режим доступу: www.ecotechnica.com.ua (дата звернення 7.03.2019) – Назва з екрана.

Лобатюк Юрій Анатолійович — канд. техн. наук старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Буженко Владислав Олегович – студент групи ЕМ-18м, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Lobatiuk Yuriy Anatoliyovich - Cand. tech Sciences, Senior Lecturer of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Buzhenko Vladislav Olegovich - student of the EM-18m group, Faculty of Electrical and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ SMART GRID

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано актуальність розвитку системи Smart Grid. Оцінено ситуацію розвитку концепції Smart Grid в передових країнах світу, їх досягнення в цій галузі та передумови для її розвитку в Україні.

Ключові слова: електричні мережі, концепції, передача даних, Smart Grid.

Abstract

The importance of the Smart Grid system development is analyzed. The evaluation of the situation of the Smart Grid concept in the advanced world countries, their achievements in this field and the preconditions for its development in Ukraine is considered.

Keywords: electrical networks, concepts, data transmission, Smart Grid.

Вступ

Сьогодні способи передачі електроенергії базуються на принципах «одностороннього» зв'язку, розроблених багато десятиліть тому: електростанція направляє електрику до виробничих і офісних споруд, житлових будинків і т.д. Більшість не замислюється про те, що настане день, коли мережа перестане бути централізованою, і необхідно буде підтримувати передачу енергії від сонячних батарей, безліччю вітрогенераторів і інших відновлювальних джерел енергії. Тому її інфраструктура і керування повинні ставати все більш «розумними», щоб забезпечити розподіл енергії. Інтелектуальні мережі – більш відомі під оригінальною назвою Smart Grid – покликані вирішити всі ці проблеми. [1].

Результати дослідження

Технологія Smart Grid працює через систему спеціальних «розумних» лічильників, встановлених на підприємствах і в житлових приміщеннях. Вони інформують про рівень споживання енергії, що дозволяє коригувати використання електрообладнання в часі і розподіляти електрику в залежності від потреб [2].

Експерти, які досліджують ринок електроенергетики, прогнозують, що до 2030 року потреба в електроенергії подвоїться. Але уряди країн, що входять до Європейського Союзу, планують до 2020 року знизити споживання електроенергії на 9% за рахунок підвищення енергоефективності (цього можна буде досягти за допомогою повсюдного впровадження технології Smart Grid). Таким чином, використання «розумної» мережі дозволить скоротити витрати енергоресурсів [3].

На сьогоднішній день з'явилась унікальна можливість трансформувати всю застарілу систему електропостачання в світі. Перетворивши аналогові мережі електропередач у високоточні інтелектуальні комунікаційні Smart Grid, енергетичні компанії зможуть керувати всією мережею енергопостачання як єдиною системою, споживачі точно регулювати власні витрати енергії, а влада - створювати інтелектуальну енергетичну інфраструктуру. Такого роду вдосконалення енергетичних мереж просуваються урядами різних країн як спосіб вирішення проблем енергетичної безпеки, глобального потепління, надійності енергосистеми.

Висновок

Поява і розвиток нових технологій, пристроїв, що потенційно застосовуються у сфері електроенергетичного виробництва, і в першу чергу – наростаючі темпи і масштаби розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій, призводить до інтенсивного зростання кількості малих

генеруючих (у першу чергу відновлюваних) джерел енергії у світі, тому загальна тенденція до підвищення рівня автоматизації процесів у цій сфері в Україні та світі є доволі актуальною на даний момент.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future [Текст] / Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
2. Smart Grids [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.oe.energy.gov/smartrid.htm>
3. Кобець, Б. Б. Smart Grid в електроенергетиці [Текст] / Б. Б. Кобець, И. О. Волкова // Энергетическая политика. – 2009. – № 6. – С. 54–56.

Пержар Андрій Миколайович – студент групи 3Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Лобатюк Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, ст. викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Andriy N. Pergar – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yurii A. Lobatyuk – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of the Department of Electrical Engineering Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ВИБІР КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДУ ДЛЯ ФОТОВОЛЬТАІЧНИХ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто контролери заряду для фотовольтаїчних панелей типу PWM та MPPT

Ключові слова: контролери заряду, дослідження, енергетичні характеристики, фотовольтаїчні панелі, сонячна енергія.

Abstract

The charge controllers for PVN and MPPT type photovoltaic panels are considered.

Keywords: charge controllers, research, power characteristics, photovoltaic panels, solar energy.

Вступ

Ознакою сучасного підходу до проблеми енергозабезпечення виробничої і комунально-побутової сфери агропромислового комплексу є впровадження енергоощадних технологій та широке використання альтернативних джерел енергії. Фотовольтаїчні панелі – одні із генераторів альтернативних видів енергії, що перетворюють електромагнітне випромінювання в електричну енергію. Важливим є вибір контролера заряду з метою досягнення максимальної ефективності. Контролер захистить АКБ від перезаряду, перетоку струму на сонячну панель в нічний час, запобігає зниженню напруги і допомагає контролювати стан акумуляторних батарей.

Найчастіше для цих цілей використовуються PWM та MPPT контролери заряду.

Результати дослідження

Контролер PWM по суті являється комутатором, який з'єднує сонячну панель з акумуляторною батареєю. В результаті напруга масиву фотовольтаїчних панелей буде зведена до рівня напруги акумуляторної батареї. Контролер MPPT більш складний, продуманий – однак дорожчий: він буде регулювати вхідну напругу, щоб отримати максимальну потужність від сонячної батареї, а потім перетворює цю потужність для заряду АКБ. Щоб повністю використовувати потенціал контролера MPPT, напруга масиву має бути значно вище напруги АКБ. При виборі контролера для сонячної батареї крім знання принципів його роботи слід звернути увагу на умови для яких він розроблений.

Головними показниками є: значення вхідної напруги, величина сумарної потужності сонячної енергії, характер навантаження, що підключається.

Висновки

Контролер заряду PWM буде хорошим недорогим рішенням для невеликих систем. Контролер MPPT є оптимальним рішенням для більш потужних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гальчак В.П. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця: Навчальний посібник / В.П. Гальчак, В.М. Боярчук – Львів:, 2008. – 135 с.
2. Зеркалов Д. В. Энергозбереження в Україні довідник Київ „Основа” 2009. –274 с.
3. Харке В.Н. «Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникаций в жилищном строительстве» / В.Н. Харке– М.: Техносфера, 2006. – 292с.

Лобатюк Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Lobatiuk A. Yurii – candidate of Engineering Sciences, senior lecturer, Department of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: lobatiukyurii@gmail.com

Олександр Леонідович Бондар – студент групи 4Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Oleksandr L. Bondar – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ПАТ «МАЯК»

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Наведені результати розрахунків із вибору регулювального відгалуження трансформатора з метою забезпечення допустимих відхилень напруги в системі електропостачання підприємства, що реконструйована.

Ключові слова: відхилення напруги, електрична мережа, трансформатор.

Abstract

The results of calculations on the choice of the control branch of the transformer are presented in order to ensure the permissible deviations of voltage in the power supply system of the reconstructed enterprise.

Keywords: voltage deviation, electric network, transformer.

Вступ

Одним із показників якості електроенергії є відхилення напруги на затискачах електроприймачів. Найпоширенішим способом регулювання напруги є використання ПБЗ, яким оснащені трансформатори 10/0,4 кВ.

Навантаження в системі електропостачання ПАТ «Маяк» за останній час суттєво змінилось. Це пов'язано із зміною технологій, номенклатури і обсягів виробництва. Дана обставина зумовлює потребу у проведенні розрахунків із вибору регулювальних відгалужень на трансформаторах.

Метою роботи є розрахунок відгалуження, яке треба реалізувати для забезпечення допустимих відхилень в мережах ПАТ «Маяк», які живляться від однієї із трансформаторних підстанцій, встановлених на підприємстві.

Результати дослідження

Для отримання результатів використана така інформація:

- значення напруги на шинах 10кВ ТП «Західна», від яких живиться ПАТ «Маяк» в режимах максимальних та мінімальних навантажень;
- схеми електропостачання на плані підприємства та технічні параметри її окремих елементів;
- схеми електропостачання окремих цехів та їх технологічні планування;
- графіки навантажень підприємства та окремих цехів.

Виконана перевірка можливості забезпечення допустимих значень відхилень напруг на затискачах найбільш віддаленого від ТП електроприймача в режимі максимальних навантажень та в режимі мінімальних навантажень на затискачах найближчого електроприймача. Результати розрахунку наведені в таблиці.

Таблиця 1 – Розрахунки відгалуження і коефіцієнта трансформації, $k_{тр}$ що має бути реалізованим

Режими електроспоживання	ВН U, кВ	Відгалуження Трансформатора, %	$k_{тр}$	НН U, кВ	Висновок
Максимальних навантажень	10,26	-5,0	23,8095	0,4126	-
		-2,5	24,4361	0,402	-
		0	25,0627	0,392	Допустимо
		+2,5	25,6892	0,3824	Допустимо
		+5,0	26,3158	0,3858	Допустимо
Мінімальних навантажень	10,09	-5,0	23,8095	0,4177	-
		-2,5	24,4361	0,407	-
		0	25,0627	0,3968	-
		+2,5	25,6892	0,3871	Допустимо
		+5,0	26,3158	0,3779	Допустимо

Висновки

1. Для забезпечення вимог ГОСТ 13109-97 по відхиленню напруги на трансформаторах ТП слід реалізувати відгалуження +2,5%.
2. Установка технічних засобів місцевого регулювання напруги не потрібна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. ГОСТ 14209-97 – [Чинний від 2001-01-01]
2. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків / Бурбело М.Й. Вінниця: ВНТУ, 2005р.
3. Регулювання напруги в електричних системах - Конспект лекцій з курсу Електричні системи і мережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://forca.com.ua/knigi/navchannya/konspekt-lekcii-z-kursu-elektrichni-sistemi-i-merezhi_11.html

Андрій Павлович Кравчук – студент групи ЕСЕ-18м, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: andrey.kravchuk.pavlovich@gmail.com

Науковий керівник: **Леонід Борисович Терешкевич** — кандидат технічних наук, доцент, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

Andriy P. Kravchuk - student of the group EEE-18m, faculty of electroenergy and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.kravchuk.pavlovich@gmail.com

Supervisor: **Leonid B. Tereshkevich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

Розроблено систему управління базами даних (СУБД), яка містить загальні заходи з економії електроенергії та може бути використана для їх впровадження.

Ключові слова: система управління базами даних, економія електроенергії, промислові підприємства.

Abstract

The database management system (DBMS) which contains general measures to saving electricity and can be used for implementation.

Keywords: database management system, saving electricity, industry.

Вступ

Проблема електроспоживання та електрозбереження в нашій країні з кожним роком стає все гостріше. Низька електроефективність економіки призводить до високих затрат на власне електрозабезпечення, що сприяє порушенню нормального електропостачання населення [2]. Тому підвищення ефективності використання електроенергії на етапі її споживання є актуальною тематикою.

Метою роботи є розроблення СУБД, яка дозволить раціонально зберігати та нарощувати інформацію з електрозбереження та реалізовує обробку та аналіз інформації, підтримки прийняття управлінських рішень з електроспоживанням.

Результати роботи

Розроблена СУБД є автоматизованою і потребує введення даних оператором майже на всіх етапах своєї роботи. До основних функцій СУБД слід віднести:

- забезпечення мовних засобів опису та маніпуляції даними; забезпечення підтримки логічної моделі даних;
- забезпечення взаємодії логічної та фізичної структур даних;
- забезпечення захисту та цілісності даних;
- забезпечення підтримки БД в актуальному стані.

Принцип роботи СКБД представлений на рис. 1 і відображає усі етапи її роботи [1].

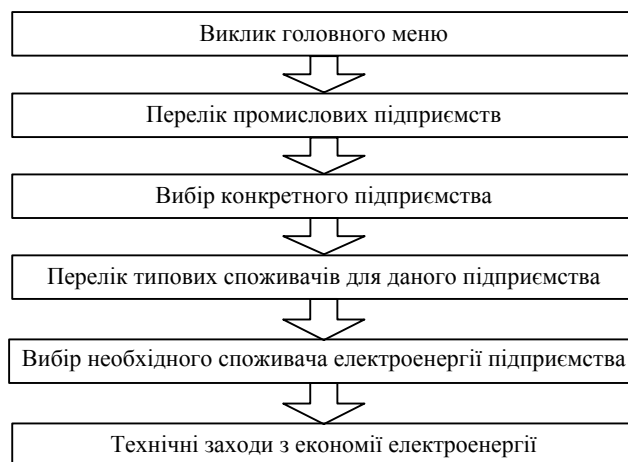


Рис. 1. Структурна схема використання бази даних по електрозбереженню

Для створення СУБД було використано робочі листи програми Microsoft Office Excel. Дана програма дозволяє реалізувати усі основні функції СУБД. Стандартні функції електронного процесора Excel (ПРОСМОТР, ПОИСКПОЗ, ИНДЕКС, ВПР) [3] дозволяють автоматизувати вибір даних, а отже зникає потреба правки та звернення до кожного елементу БД окремо. Також використовуючи електронний процесор EXCEL можна оперувати логічними виразами робочого листа Excel ЕСЛИ, И, ИЛИ, НЕ. Що дозволяє виконати автоматизацію контролю допустимості проектних рішень.

Пошук рішень в СУБД є автоматизованим і складається із двох етапів:

1. ручне введення даних оператором;
2. автоматичний розрахунок за заданими параметрами.

Необхідні дані вводяться в ручну за допомогою випадаючих списків або клавіатури. Після введення усіх необхідних даних і натиску кнопки розрахунок, програма здійснює автоматичний пошук необхідних параметрів.

Через технічний прогрес постійно створюються та входять в експлуатацію все нові і нові заходи та технічні рішення по зменшенню втрат чи збільшенню ефективності електроспоживання тому розроблена СУБД є гнучкою і легко може бути поповнена новими даними.

Висновки

Розроблено СУБД, яка дозволяє раціонально зберігати та нарощувати інформацію з електрозбереження не змінюючи структури бази та оперативно формувати заходи з економії електроенергії для вказаних підприємств. Використання даної СУБД гарантує для всіх користувачів простий доступ до відомостей з енергозбереження та можливість їх реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Демов О. Д. Створення інформаційної бази електрозбереження промислових підприємств м. Вінниця / О. Д. Демов, Ю. А. Шулле, В. В. Захаров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2014. - № 1. - С. 62–65.
2. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах / О. Д. Демов. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95с.
3. Microsoft Excel - редактор электронных таблиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://products.office.com/ru-ru/excel>

Вадим Дмитрович Григоренко — студент групи ЕСЕ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e14b.grigorenko@gmail.com;

Науковий керівник: **Михайло Йосипович Бурбело** — професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Hrihorenko Vadim D. — Department of of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : 3e14b.grigorenko@gmail.com;

Supervisor: **Burbelo Mikhail Y.** — Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ ДО 10 КВТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Впровадження результатів досліджень забезпечить комплексне розв'язання задач надійного автономного електроживлення споживачів, зменшить енергетичні і ресурсні витрати.

Ключові слова: електроспоживачі, живлення, автономне, акумулятори, генерація.

Abstract

The implementation of research results will provide a comprehensive solution to the problems of reliable autonomous power supply of consumers, reduce energy and resource costs.

Key words: electric consumers, power supply, autonomous, accumulators, generation.

Вступ

Розподілена генерація має низку переваг, які визначили розвиток світової електроенергетики в її користь. В Україні ця концепція також поступово впроваджується, але ця ініціатива не має державної підтримки, тому її практична реалізація сьогодні вимагає пошуку рішень щодо застосування зарубіжного досвіду, проведення досліджень і накопичення власних ідей по проектуванню подібних мереж, чим і визначається актуальність наукової роботи.

Результати дослідження

Підключення електроприймачів в деяких випадках може здійснюватися окремо: навантаження, що вимагає змінної напруги - до шини АС, навантаження, що вимагає постійної напруги - до шини DC.

Роздільне живлення споживачів постійного і змінного струму зображене на рисунку 1.

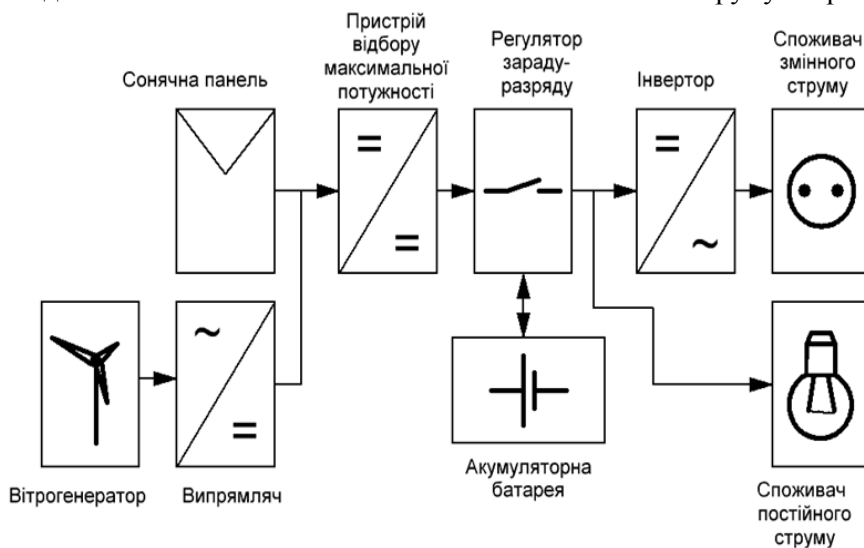


Рисунок 1 – Роздільне живлення споживачів постійного і змінного струму

При електрифікації підприємств або локальних мереж електропостачання використання відновлюваних джерел енергії економічно ефективно, які добре вписуються в концепцію розподіленої генерації. При цьому збільшується надійність електропостачання, незалежність від центральної мережі.

Висновки

Провівши аналіз існуючих розробок і досліджень можна сказати, що є кілька способів організації розподіленої генерації, що застосовуються на практиці. Їх вибір залежить від таких параметрів:

- енергетичні потреби об'єкта електропостачання;
- економічний потенціал відновлюваного енергоресурсу;
- параметри енергетичного обладнання;
- встановлена потужність комплексу і його складових;
- параметри комунікацій.

Наукова робота присвячена актуальному науковому питанню електрифікації підприємства на основі концепції розподіленої генерації із застосуванням нетрадиційних відновлюваних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М. : КНОРУС, 2010. – 232 с.
2. Ткаченко С.Н. Энергосистема будущего. Концепция smart grid. Специфика реализации на Украине. / С.Н. Ткаченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. – №1. – С. 68-69.
3. Лукутин Б.В. Нетрадиционные способы производства электроэнергии: учебное пособие. / Б.В. Лукутин, М.А. Сурков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 193 с.

Сандул Роман Олександрович – студент групи Е-18МС, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Romasandul825@gmail.com.

Левицький Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Sandul Roman Aleksandrovich – student of the group E-18MS, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Romasandul825@gmail.com.

Levitsky Sergey Mikhailovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ ВІД ПЕРЕНАПРУГ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Захист електроприладів від перенапруг, є одною з найважливіших завдань сучасної енергетики. Проблема захисту електрообладнання від неякісного напруги в мережі існує практично на будь-якому підприємстві, особливо при роботі від джерел трифазного напруги. Крім зниження і підвищення напруги на всіх трьох фазах, істотну небезпеку становить так званий "перекіс фаз" - випадок, коли напруги на фазах мають різну величину, що призводить до перегріву обмоток двигунів або трансформаторів і виходу їх з ладу. Дуже часто зустрічається і обрив однієї фази.

Ключові слова: перенапруга, повітряна лінія, модель.

Abstract

Protecting electrical appliances from overvoltages is one of the most important tasks of modern power engineering. The problem of protecting electrical equipment from poor-quality voltage in the network exists in virtually any enterprise, especially when working from sources of three-phase voltage. In addition to reducing and increasing the voltage in all three phases, the so-called "phase shift" is a significant danger - the case when the voltage at the phases is different in size, which leads to overheating of the windings of motors or transformers and their failure. Very often there is a breakdown of one phase.

Keywords: overvoltage, airline, model.

Вступ

На сьогодні актуальною для експлуатаційного персоналу електричних мереж є проблема перенапруг, що виникають на обладнанні. Розрізняють внутрішні та зовнішні перенапруги. Внутрішні перенапруги можуть виникати внаслідок комутацій силового обладнання ненавантажених електропередач на ін. Зовнішні перенапруги — це прямі чи непрямі удари блискавки.

Якщо обладнання підстанцій захищено від прямих ударів блискавки системою блискавковідводів та ОПН чи розрядниками, то лінії електропередач мають грозозахисний трос по всій довжині лише для ліній 110 кВ і вище. В мережах 35 кВ грозозахисний трос застосовується на лініях з металевими опорами, що живлять відповідальних споживачів. Основним захистом від грозових перенапруг для мереж 10(6), 35 кВ можна, з деяким наближенням, вважати АПВ. Але АПВ лише повторно вмикає відключену ЛЕП внаслідок дії РЗА. В цьому випадку фронт грозової перенапруги спричиняє перекриття ізоляції на лінії і може досягати підстанції.

Одним з шляхів усунення перенапруг в ЛЕП є встановлення ОПН на кожній з опор. Але такі заходи збільшують вартість будівництва нових ЛЕП та реконструкцію існуючих в кілька разів.

Результати дослідження

В роботі проведено аналіз індукованих перенапруг в ЛЕП, що виникають внаслідок грозових розрядів, та запропоновано місця встановлення засобів захисту. Для аналізу обираємо модель лінії 35 кВ.

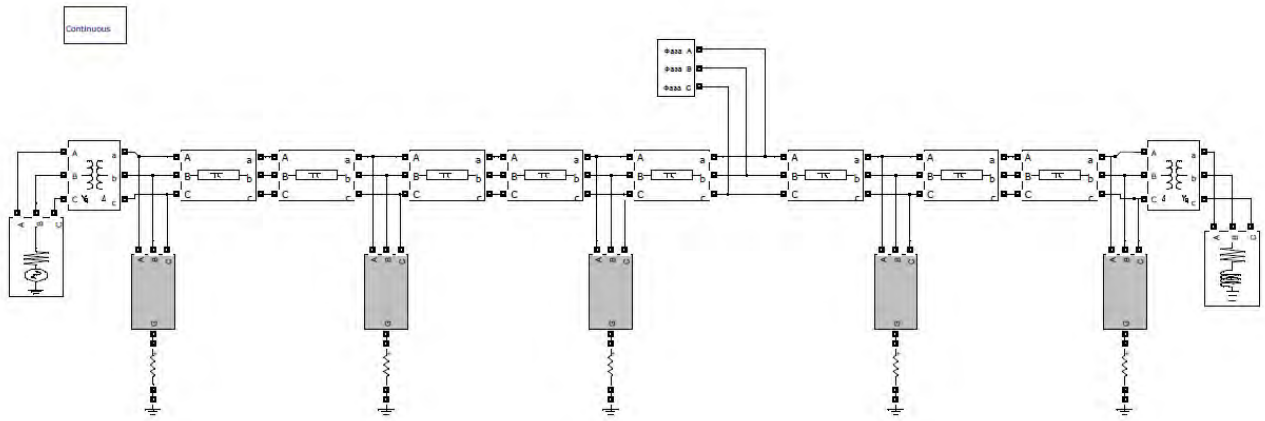


Рис.1 Модель ПЛ лінії 35 кВ

На основі реєстрації форми хвилі струму блискавки в реальних умовах, дослідниками запропоновані різні їх апроксимації. До останнього часу найпоширенішою є біекспоненціальна апроксимація Брюса–Голда

$$i_0(t) = \frac{I_M}{\eta} \left[e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right].$$

Знайти величину індукованої перенапруги можна таким виразом

$$U_0 = \frac{1}{2} k I_M \ln \left[\frac{h + h_a + \sqrt{(h + h_a)^2 + S^2}}{h - h_a + \sqrt{(h - h_a)^2 + S^2}} \right],$$

де k — коефіцієнт пропорційності; I_M — значення струму розряду блискавки, кА; h — висота між нижньою точкою розряду блискавки та землею, м; h_a — середня висота підвішування проводу, м; S — відстань між точкою проекції розряду на землю та трасою лінії; τ_1 та τ_2 — постійні часу, обумовлені часом наростання та спадання хвилі струму блискавки.

Використовуючи попередні вирази, формуємо формулу залежності амплітуди індукованої в лінії перенапруги від часу:

$$u_0(t) = \frac{U_0}{\eta} \left[e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right],$$

де U_0 — амплітудне значення індукованої перенапруги в лінії; η — коригувальний коефіцієнт амплітуди хвилі.

Коригувальний коефіцієнт η визначається так:

$$\eta = e^{-\frac{\tau_\phi}{\tau_1}}.$$

Постійні часу τ_1 та τ_2 , обумовлені часом наростання та спадання хвилі струму блискавки і розраховуються на підставі таких виразів:

$$\tau_1 = \frac{\tau_\phi - \tau_{хв}}{\ln(0,5)};$$

$$\tau_2 = \frac{\tau_\phi}{5},$$

де τ_ϕ — час фронту хвилі; $\tau_{хв}$ — час імпульсу хвилі.

Таблиця 1 -Значення коефіцієнтів в біекспоненціальній моделі струму блискавки

Параметри імпульсу струму	τ_1 , мкс	τ_2 , мкс	η
1,2/50 мкс	70,4	0,24	0,983
8/40 мкс	46,2	1,6	0,841
10/350 мкс	490,5	2	0,98

Беремо значення струму блискавки рівним $I_m = 30$ кА, що найбільш характерно для території України. Відстань від точки удару блискавки до ЛЕП $S = 50$ м. Параметри імпульсу струму блискавки — 8/40 мкс.

Для аналізу впливу місця установки ОПН виконано моделювання таких варіантів:

1. ОПН на ЛЕП відсутні (рис. 2);
2. ОПН встановлено на всіх опорах ЛЕП (рис. 3).

На графіках синім, зеленим та червоним кольорами позначено значення амплітуди індукованої напруги для фаз *A*, *B*, *C*, відповідно.

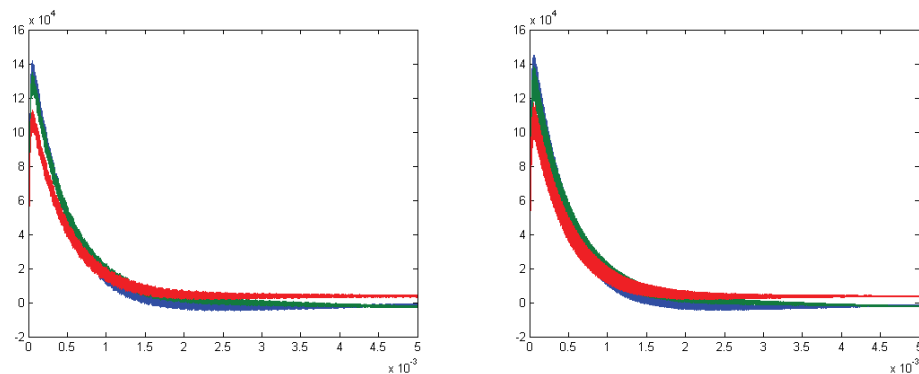


Рис. 2. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 1

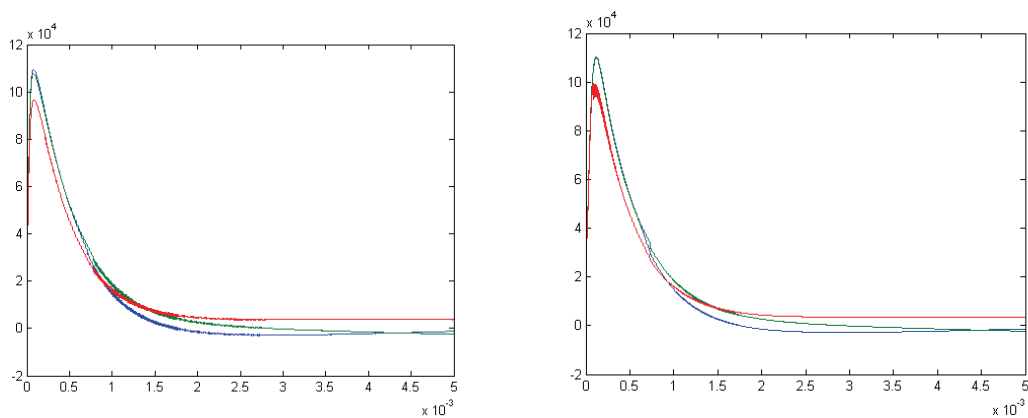


Рис. 3. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 2

Підставивши відповідні значення виявимо, що найбільше зниження наведеної напруги спостерігається у разі встановлення ОПН на кожній з опор ЛЕП. Очевидно, що найкращим способом захисту лінії є встановлення ОПН на всіх опорах. Варіант установки лише на крайніх опорах не забезпечує зниження амплітудного значення напруги до допустимого рівня.

Висновки

Встановлення нелінійних обмежувачів перенапруг через одну опору ЛЕП 35 кВ дозволяє ефективно зменшити наведену напругу. Захист ПЛ від перенапруг є дуже важливим завданням в сучасній енергетиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Comparison of Lightning with Public Domain HEMP Waveforms on the Surface of an Aircraft / R. L. Gardner, L. Baker, C. E. Baum, D. J. Andersh // 6th EMC Symposium. — Zurich, 1985.
2. Golde R. H. Lightning / R. H. Golde. — London : Academic Press Inc, 1977, vol. I & 2/
3. Jones R. D. On the Use of Tailored Return-Stroke Current Representation to Simplify the Analysis of Lightning Effect on Systems / R. D. Jones // IEEE Trans. On EMC, 1977.
4. Bruce C. E. Journal of IEE / C. E. Bruce, R. H. Golde. — 1941. — V. 88. — P. 487—520.
5. Calculation on Induced Over-voltage on Low-voltage Overhead Lines / Ping Liu, Xiao Yi, Xu Wang, Yongling Lu, Jianhui Yu, Wenjun Zhou // IEEE Power Engin. and Autom. Conf. (PEAM) (8—9 Sept. 2011). — 2011. — Vol. 2. — Pp. 68—72.
6. Техника высоких напряжений : учеб. пос. для вузов / [Александров Г. Н., Иванов В. Л., Кадомская К. П., и др.] ; под ред. Костенко М. В. — М. : Высш. школа, 1973. — 528 с.
7. Перенапряжение в сетях 6–35 кВ / Ф. А. Гиндуллин, В. Г. Гольдштейн, А. А. Дульзон, Ф. Х. Халилов. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 192 с. : ил.

Богдан Володимирович Чумак – студент групи 3е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:3e15b.chumak@gmial.com.

Науковий керівник: **Сергій Михайлович Левицький** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Bogdan V. Chumak – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:3e15b.chumak@gmial.com.

Supervisor: **Sergey M. Levitsky** – Cand. Sc. (Eng), associate Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено дослідження сучасних засобів компенсації реактивної потужності. Виконано аналіз сучасних систем і комплексів компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: конденсаторні установки, синхронні машини, реактивна потужність, СТАТКОМ, СТК, компенсація.

Abstract

Research of modern means of compensation of reactive power. Analysis of modern systems and complexes of reactive power compensation.

Keywords: condenser units, synchronous machines, reactive power, FATCOM, STK, compensation.

Вступ

Проблема компенсації реактивної потужності (РП) виникла одночасно з практичним використанням змінного струму. Основним навантаженням у промислових електромережах є асинхронні електродвигуни і розподільчі трансформатори. Ці індуктивні навантаження в процесі роботи є джерелом реактивної електроенергії (реактивної потужності), яка здійснює коливальні рухи між навантаженням і джерелом (генератором), не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів і створює додаткове навантаження на силові лінії живлення.

Результати дослідження

Зниження реактивної потужності, циркулюючої між джерелом струму і приймачем, а отже, і зниження реактивного струму в генераторах і мережах виконується компенсацією реактивної потужності (КРП).

Існує два взаємодоповнюючі один одного шляхи зниження реактивних навантажень мережі та генераторів: установка спеціальних компенсуючих пристроїв або зниження реактивної потужності самих приймачів електроенергії. Основними технічними засобами, за допомогою яких здійснюється компенсація реактивної потужності на промислових підприємствах, є:

- синхронні двигуни;
- синхронні компенсатори;
- конденсаторні батареї;
- статичні тиристорні конденсатори;
- компенсаційні перетворювачі та ін., а також допоміжні засоби компенсації, які крім компенсації реактивної потужності покращують показники якості електричної енергії.

Наявність в мережі вказаних пристроїв сприяє підтримці балансу реактивної потужності і заданих рівнів напруги в точках їх включення.

В сучасній електроенергетиці знайшли широке застосування пристрої компенсації реактивної складової потужності. В загальному випадку пристрої будуються на основі реактивних елементів

реакторів чи конденсаторів. За необхідністю та значенням компенсованої потужності застосовують паралельне чи послідовне з'єднання відповідної кількості елементів. В залежності від режиму електричної мережі компенсатори виконуються комбінованими та включають як індуктивний, так і ємнісний елементи, що дозволяє балансувати реактивну потужність як під час її дефіциту, так і під час надлишку. Зважаючи на нестационарний режим роботи мережі, наприклад, при зміні реактивної потужності на проміжку часу, розробляються пристрої з тиристорним регулюванням та автоматизованими системами управління. Це дозволяє постійно підтримувати рівень реактивної потужності у вузлі мережі в заданому діапазоні.

Таким чином, робота є актуальною, так як задача оптимального електроспоживання як на стадії проектування так і на стадії експлуатації систем електропостачання, не можлива без застосування засобів компенсації реактивної потужності.

В сучасній електроенергетиці знайшли широке застосування пристрої компенсації реактивної складової потужності. В загальному випадку пристрої будуються на основі реактивних елементів реакторів чи конденсаторів. За необхідністю та значенням компенсованої потужності застосовують паралельне чи послідовне з'єднання відповідної кількості елементів. В залежності від режиму електричної мережі компенсатори виконуються комбінованими та включають як індуктивний, так і ємнісний елементи, що дозволяє балансувати реактивну потужність як під час її дефіциту, так і під час надлишку. Зважаючи на нестационарний режим роботи мережі, наприклад, при зміні реактивної потужності на проміжку часу, розробляються пристрої з тиристорним регулюванням та автоматизованими системами управління. Це дозволяє постійно підтримувати рівень реактивної потужності у вузлі мережі в заданому діапазоні.

Висновки

В сучасній електроенергетиці знайшли широке застосування пристрої компенсації реактивної складової потужності. В загальному випадку пристрої будуються на основі реактивних елементів реакторів чи конденсаторів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Константинов Б.А., Зайцев Г.З. Компенсация реактивной мощности. – Л.: Энергия, 1976.
2. Веников В.А., Жуков Л.А., Карташов И.И., Рыжов Ю.П. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях. – М.: Энергия, 1975.

Добровольський Юрій Петрович — студент групи групи Е-18мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Лобода Юрій Васильович** — аспірант кафедри ЕСЕЕМ,, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Yuri Petrovich Dobrovolsky — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Loboda Yuri Vasilievich** — postgraduate student of the ESEEM, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ВИКОРИСТАННЯ НАД'ЯСКРАВИХ СВІТЛОДІОДІВ В ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У даній роботі проаналізовано розвиток світлодіодних технологій як альтернативних джерел освітлення, запропоновано освітлювальний пристрій на над'яскравих світлодіодах з різними кутами розсіювання та блоками керування та живлення.

Ключові слова: світло, світлодіоди, енергозбереження

Abstract

We analyze the development of LED technology as alternative energy sources in the work, proposed lighting device for super-bright LEDs with different angles of dispersion and control units and power supply.

Keywords: light, LEDs, energy saving

Вступ

Останніми роками для багатьох країн пріоритетним напрямом став розвиток енергозберігаючих технологій. Однією з найбільших перешкод на шляху до енергозбереження є постійно зростаюче споживання електроенергії. Зростання виробничих потужностей, а також постійний розвиток міст змушують шукати шляхи для зменшення споживання електрики.

В Україні зростання споживання електрики значно випереджає введення нових потужностей в електроенергетиці, адже електростанції, що побудовані в основному в радянські роки, сьогодні працюють на межі своїх можливостей. І вже незабаром мова може зайти про серйозні енергетичні проблеми. Одним з найважливіших напрямів щодо зменшення вживання електроенергії, за яким пішли багато високорозвинених країн, є використання світлодіодних технологій для освітлення.

Збереження енергії обходиться економіці значно дешевше, ніж збільшення її виробництва. Звідси і підвищена увага вчених до дослідження світлодіодів як найбільш енергоефективних джерел світла на сьогоднішній день.

Метою роботи є аналіз тенденцій розвитку світлодіодних технологій, які сприяють підвищенню енергоефективності економіки держави.

Результати дослідження

Світлодіодне освітлення - один з перспективних напрямків технологій штучного освітлення, засноване на використанні світлодіодів в якості джерела світла. Використання світлодіодних ламп у освітленні вже займає близько 10% ринку. Розвиток світлодіодного освітлення безпосередньо пов'язано з технологічною еволюцією світлодіода. Розроблені так звані над'яскравих світлодіоди, спеціально призначені для штучного освітлення.

Мабуть, найбільш серйозна перешкода на шляху до енергозбереження - консервативне економічне мислення. На перше місце ставиться вартість покупки зараз, хоча різниця повністю окупається за пару років, а потім виходить постійна економія. При цьому в звичайному розрахунку до уваги береться лише пряма економія, а комплекс непрямих показників (зменшення енергодефіциту, обсягів додаткового будівництва, потреб у кабельно-провідникової обладнанні) в результаті скорочує цей термін удвічі. Швидше за все, деяких бентежить сама «вічність» сучасних світильників. Адже вона може зробити непотрібними деякі відомства, зайняті обслуговуванням ліхтарів.

Відсутність витрат на обслуговування і термін служби 15-20 років - дозволяє перші 5 років економити, а всі наступні роки - отримувати реальний прибуток!

Збільшення освітленості за рахунок збільшення кількості світильників на існуючих потужностях і кабельних трасах. Людина 80% інформації отримує через органи зору, зоровий комфорт

безпосередньо залежить від ступеня освітленості. Якісна світлове середовище створює зону безпеки і візуального комфорту. Кожному знайома зміна почуття тривоги і напруги на впевненість і почуття захищеності при виході з неосвітленого провулка на освітлену вулицю. Статистика однозначно свідчить, що в районах з хорошим рівнем освітленості число злочинів в темний час доби значно нижче, ніж в районах з рівнем освітленості нижче норм і тим більше, де освітлення взагалі відсутнє. Стабільне освітлення в зимовий період - забезпечується відсутністю проблем з включенням, характерними для всіх газорозрядних ламп.

Оскільки світлодіодний світильник володіє приблизно втричі більшою ефективністю в порівнянні з електролюмінесцентними аналогами, вирішити проблему можна. На кожній тисячі квадратних метрів освітлюваних площ можна звільнити до 20 кВт електрики. І при цьому ніяких турбот з прокладання кабелю, модернізації розподільчих шаф і розводки, яка іноді вимагає ремонту приміщень.

У перспективі, створюючи світлодіодні системи освітлення, можна запропонувати абсолютно новий клас сервісу. Оскільки світлодіоди дозволяють лінійно регулювати яскравість практично від нуля і кожен світильник має своє джерело живлення, який може бути керованим, існує можливість за допомогою контролера побудувати складний алгоритм управління світлом. Підключені до нього датчики присутності корисні для кімнат, які рідко відвідуються, - для сервісних, коридорів, підсобних приміщень і т. п. Датчики освітленості допоможуть автоматично підтримувати яскравість світла на потрібному рівні в тому випадку, якщо світло в будівлі залишається включеним протягом дня. В результаті ви економите на споживанні електроенергії в рази, але не відчуваєте ні найменшого дискомфорту. На відміну від газорозрядних ламп, світлодіоди можуть набирати яскравість плавно.

Всім давно відомо, що заощадження енергії завжди обходиться набагато дешевше, ніж екстенсивний шлях. Сьогодні для такого підходу є реальні можливості. Завдання ж керівниками - не злякатися разових вкладень, які потім обернуться чималою вигодою.

У світовій практиці прикладом однієї з найбільш цікавих і продуктивних ініціатив по просуванню освітлення на основі світлодіодів є програма під назвою LED City. Програма носить міжнародний характер. LED City - це програма спільних дій промислових підприємств та органів місцевого самоврядування з метою просування, проектування та впровадження заснованого на світлодіодах освітлення в містах. Розробники програми LED City заявили, що масове застосування світлодіодного освітлення дозволить: економити енергію; захищати навколишнє середовище; скоротити витрати на обслуговування; надавати освітлення кращої якості, що забезпечує більшу безпеку жителів. За повідомленням Департаменту енергетики США, у Сполучених Штатах на освітлення витрачається 22% електроенергії. У світі постійно зростають ціни на енергію, що отримується з палива мінерального походження, при цьому його доступність скорочується. Одночасно зростає зацікавленість у збалансованому розвитку навколишнього середовища, у зв'язку з чим виникає необхідність революційних змін у сфері освітлення. Джерелом світла, який би відповідав цим революційним завданням, є світлодіоди. Їх застосування дозволяє заощадити 40-70% електроенергії, яка використовується для висвітлення суспільних об'єктів і площ. Застосування світлодіодів дозволяє зберігати навколишнє середовище завдяки їх довговічності і тим самим сприяти скороченню обсягу відходів. Вдобавок світлодіоди не містять ртуті і свинцю, що значно спрощує їх утилізацію.

За інформацією Департаменту енергетики США, протягом найближчих 20 років активне впровадження світлодіодного освітлення в цій країні дасть наступні результати:

- скорочення попиту на електроенергію на 62%,
- зниження емісії CO₂ на 258 млн тонн,
- відмова від будівництва 133 електростанцій,
- економію в обсязі приблизно \$ 280 млрд США.

Програма LED City організована в загальносвітовому масштабі. Більшість її учасників - це міста Сполучених Штатів, проте до неї приєдналися також міста Канади, Італії та Китаю.

Висновки

Результати аналізу розвитку світлодіодних технологій як альтернативних джерел освітлення показали їх вагомий внесок в підвищення енергоефективності як окремих будинків так і усього комунального сектору економіки у випадку поширення цих систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергозберігаючі світильники: нове рішення старих проблем [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

http://geografica.net.ua/publ/referati_kursovi_diplomni/referati_kursovi_diplomi/energozberigajuchi_svitilniki_nove_rishennja_starikh_problem/5-1-0-1136 (дата звернення 09.03.2019) — Назва з екрана.

2. Розумний будинок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.smarthouse.ua/ua/umnyj_dom.html (дата звернення 09.03.2019). — Назва з екрана.

Олексій Вікторович Бабенко – к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net.

Ілля Володимирович Черніков - студент групи 3Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e15b.chernikov@gmail.com.

Aleksey V. Babenko – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Ilya V. Chernikov – student of group 3E-15b, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: misha.omelianchuk@gmail.com.

ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНТАЖУ ОБЛАДНАННЯ 0,4 КВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Головний напрям подальшого розвитку електромонтажних робіт – застосування нової техніки, широке впровадження прогресивних технологій, індустріальних методів монтажу, які забезпечують більш швидке введення об'єктів в експлуатацію та підвищення продуктивності праці. Науково-технічний прогрес сприяє кількісним і якісним змінам в електротехнічному обладнанні. За результатом роботи зроблено висновки щодо актуальності розглянутого питання.

Ключові слова: монтаж, металеві канали, пакетні перемикачі, застосування нових технологій.

Abstract

The main direction of the further development of electrical works - the use of new technology, the widespread introduction of advanced technologies, industrial methods of installation, which ensure faster introduction of objects in operation and increase productivity. Scientific and technological progress contributes to quantitative and qualitative changes in electrical equipment. As a result of work, conclusions were made on the relevance of the issue under consideration.

Keywords: installation, metal channels, packet switches, application of new technologies.

Вступ

У зв'язку з постійною розробкою нових видів електросилового обладнання, засобів автоматизації, комутаційної та захисної апаратури виникає необхідність у виконанні електромонтажних робіт з використанням найсучаснішого обладнання та матеріалів.

Головний напрям подальшого розвитку електромонтажних робіт – застосування нової техніки, широке впровадження прогресивних технологій, індустріальних методів монтажу, які забезпечують більш швидке введення об'єктів в експлуатацію та підвищення продуктивності праці. Науково-технічний прогрес сприяє кількісним і якісним змінам в електротехнічному обладнанні.

Результати дослідження

S5 Combitech - листові лотки. Несуча система для відкритої проводки в промислових і підсобних приміщеннях, а також в інших приміщеннях великої площі. Складається з перфорованих і неперфорованих металевих лотків і кришок з оцинкованої сталі, елементів з'єднання і відгалуження, а також елементів кріплення до вертикальних і горизонтальних поверхнях. Основна функція системи металевих лотків (кабельних лотків) - постійно утримувати і захищати кабель. При використанні неперфорованих лотків, кришок, а також спеціальних пластин на стиках забезпечується ступінь захисту IP44.

Пристрої захисту УЗІП. Імпульсні струми характеризуються короткочасними змінами напруги або сили електричного струму. Ізоляція будь-якого електроприладу розрахована на певний рівень напруги. Його перевищення викликає пробій ізоляції і коротке замикання.

Причиною виникнення імпульсних перенапруг можуть послужити різні чинники, наприклад, влучення блискавки в систему блискавкозахисту або лінію електропередач, процеси перемикання

потужних індуктивних споживачів (трансформатори, двигуни), або коротке замикання в мережі. Пробій в електропроводці може вивести обладнання з ладу і спричинити пожежу.

Для захисту від подібних впливів використовуються пристрої, призначені для обмеження перехідних перенапруг і відведення імпульсів струму (ПЗІП).

УЗИП застосовуються повсюдно як у приватному будівництві, так і на промислових об'єктах. Конструкція даних пристроїв дозволяє забезпечити надійний захист будинків і котеджів від наслідків потрапляння в них блискавки, а також від попадання блискавки в розташовані поблизу повітряні лінії електропередачі, що входять в житловий будинок, і дерева. УЗИП дозволяють забезпечити промислові об'єкти від прямих ударів і наведень блискавки в систему блискавкозахисту будівлі (об'єкта) або повітряну лінію електропередач (ЛЕП), захистити високочутливе IT- та медичне обладнання від імпульсних перенапруг і комутаційних перешкод, а також підходять для захисту обладнання з ізоляцією високої міцності.

Система гнучких гофрованих труб з поліаміду. Захист ізольованих проводів і кабелів від механічних пошкоджень, пилу, вологи, агресивного впливу рідин і газів в електричних машинах, індустріальному обладнанні і робототехніці.

Пакетні перемикачі. Призначені для нечастої комутації електричних кіл змінного струму частотою від 50 до 400 Гц із номінальною робочою напругою від 24 до 500 В. Можуть використовуватися як ввідні вимикачі, перемикачі головних кіл і як пускові апарати для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Спрацьовування пакетного вимикача здійснюється при повороті ручки. Вимикач постачається пристроєм, що гасить дугу, і механізмом, що забезпечує прискорення замикання і розмикання рухливих контактів із нерухомими контактами [69, 75, 76]. Під час монтажу перемикачі можна розміщувати у будь-якому положенні, за винятком перемикачів із фронтальним фланцем (ступінь захисту IP54, які монтують горизонтально (допустиме відхилення до $\pm 30^\circ$)).

Висновки

Характерною рисою електроенергетики, що визначає специфіку її роботи, є нерозривність процесу виробництва, передачі й споживання електроенергії, оскільки вона використовується безпосередньо в момент її вироблення і не може бути складована як інші енергоносії. Безперервність процесу електропостачання споживачів суттєво залежить від стану електрообладнання і його ефективності. Тому велике значення має рівень застосування новітніх засобів і технологій монтажу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання / А.В. Хитров - Харків – ХНАМГ – 2009. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua>
2. Монтаж електрообладнання і системи керування / Ю.М.Куценко, В.Ф.Яковлев - Київ Аграрна освіта 2009. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nmcbook.com.ua>
3. Каталог продукції ДКС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dkc.kiev.ua>

Шпильовий Олександр Олександрович – студент групи E-18МС, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shpiloviyy64@gmail.com.

Войтюк Юрій Петрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Shpylovy Oleksandr Aleksandrovich – student of the group E-18MS, Faculty of Electrical Engineering of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shpiloviyy64@gmail.com.

Voytyuk Yuri Petrovich – Cand. Sc. (Eng), Sen. Teacher of the Department of Electrical Engineering Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено систему електропостачання заводу на основі вихідних даних. Проведено розрахунок живлячих мереж підприємства, силових цехових мереж та освітлювальних мереж 0,4кВ. Розглянуто комплекс питань з досягнення ефективності і надійності електропостачання.

Ключові слова: заземлення, споживач, мережа, струм КЗ, потужність.

Abstract

The system of power supply is developed on the basis of initial data. The calculation of enterprise nutrient networks, power craft networks and lighting networks of 0.4kV was carried out. The complex of questions on achievement of efficiency and reliability of power supply is considered.

Keywords: grounding, consumer, network, short circuit current, power.

Вступ

Електропостачання промислового підприємства є не тільки допоміжним і обслуговуючим підрозділом підприємства, а і елементом енергетичних систем району та кінцевою ланкою енергетичного комплексу країни. Воно являє собою складну сукупність процесів виробництва, перетворення, розподілу і використання всіх видів енергетичних ресурсів.

У сучасних умовах в Україні виникають проблеми, пов'язані насамперед із фінансуванням енергозберігаючих заходів, вибором найоптимальніших напрямів вкладення коштів в інвестиційні проекти із підвищення енергоефективності, недостатньою кількістю фахівців із означених проблем, відсутністю інформаційних систем та недосконалістю організаційно-економічного механізму забезпечення енергозбереження на промислових підприємствах. Важливість і масштабність для вітчизняної економіки зазначених проблем, їх теоретична і практична значимість доводять необхідність наукових досліджень у сфері формування та удосконалення організаційно-економічного механізму забезпечення енергозбереження промислових підприємств, визначають головну мету і завдання досліджень.

Результати дослідження

Критерієм вибору схеми електропостачання промислового підприємства та його структурних підрозділів, а також вибору напруги, кількості та потужності трансформаторів, перетинів кабелю, виду та місця розміщення комплектних розподільчих пристроїв є мінімум приведених витрат.

Мінімум приведених витрат в енергетиці визначається наступним чином:

$$P_v = C + E_n \cdot K + B + Z \rightarrow \min, \quad (1)$$

де C – поточні витрати на передачу та розподіл електричної енергії, грн/рік;

$E_n = 0,12$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

K – сумарні капіталовкладення в схему електропостачання, грн.;

B – вартість спожитої електричної енергії за рік, грн.;

Z – збитки від аварійної перерви в електропостачанні, яка зумовлена рівнем надійності системи, грн/рік.

Із кількох можливих варіантів схеми електропостачання, кращім буде варіант, в якому розмір приведених витрат буде мінімальний. Витрати розраховуються тільки за елементами схеми електропостачання, які відрізняються за варіантами.

Якщо інженерні розробки пов'язані з реконструкцією схеми електропостачання, то сума капіталовкладень згідно варіантів визначається з урахуванням витрат на демонтаж старих елементів

схеми та їх ліквідацію:

$$K = K_n + K_d - K_l, \quad (2)$$

де K_n – капіталовкладення в нові елементи схеми, грн.;

K_d – витрати на демонтаж старих елементів схеми, грн.;

K_l – ліквідаційна вартість старих елементів, грн.

Розрахунок поточних витрат проводиться укрупнено за двома складовими частинами:

- амортизаційні відрахування (A);

- експлуатаційні витрати (E).

Для цих розрахунків використовуються норми амортизаційних відрахувань (Na) та норми відрахувань на експлуатаційне обслуговування (Ne), які визначені в відсотках.

Поточні витрати визначаються за формулою:

$$C = A + E = K_i \cdot Na / 100 + K_i \cdot Ne / 100, \quad (3)$$

де K_i – вартість елементів схеми (капіталовкладення) i -го варіанта.

Розрахунок вартості спожитої за рік електричної енергії доцільно проводити лише у тому випадку, коли варіанти схем електропостачання різняться за класами напруги. Якщо у порівнюваних варіантах однаковий клас напруги, то достатньо провести розрахунок вартості витрат електроенергії.

Вартість спожитої за рік електричної енергії визначається за формулою:

$$B = b \cdot Wa, \quad (4)$$

де b – діючий тариф на електричну енергію для відповідного класу напруги, грн./кВт год;

Wa – річне споживання активної електроенергії, кВт/год.

Значення збитків від порушення електропостачання визначається тоді, коли варіанти схем різняться по надійності. Збитки від порушення електропостачання споживачів визначаються за формулою:

$$Z = E_z \cdot p, \quad (5)$$

де Z – питомі збитки від порушення електропостачання електроенергії грн/кВт·год;

E_p – ймовірне недопостачання електроенергії кВт·год.

Висновки

При проектуванні системи електропостачання промислового підприємства було розглянуто такі організаційно-економічні питання: вибір схеми електричних з'єднань підстанцій, мінімум приведених витрат, пристроїв забезпечення якості енергії та ін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Организация планирование и управление в энергетике: Учебник/Алексеев Ю.П., Кузьмин В.Г., Мелехин В.Г.; Под ред. В.Г. Кузьмина. – М.: Высш. Школа, 1982. – 408с.
2. Сотник І. М. Економіка енергетики: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Сумський держ. ун-т. — Суми : СумДУ, 2008. — 262с.
3. Энергетический менеджмент/ А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др. – К.: ІЕЕ НТУ КПП, 2003 –472с.

Артур Олександрович Рядно – студент факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e15b.riadno@gmail.com.

Науковий керівник: Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Arthur O. Riadno – student Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e15b.riadno@gmail.com.

Supervisor: Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянута система електропостачання об'єктів житлово-комунального господарства. При проектуванні дотримано всіх правил ПУЕ. Розглянуто доцільність використання провідників різних марок і перерізів.

Ключові слова: електрична енергія, проектування, система електропостачання, провідник, кабель.

Abstract

The system of electricity supply for objects of housing and communal services is considered. When designing all the rules of PUE are observed. Considered the expediency of using conductors of different brands and sections.

Keywords: electric energy, design, power supply system, conductor, cable.

Вступ

При будівництві приватного будинку на перше місце виходить будівництво інженерних мереж та комунікацій, електропостачання у приватному будинку.

Електропостачання без перебільшення є найважливішою серед інженерних комунікацій сучасного приватного будинку. Без електроенергії практично неможливо навіть вести будівельні роботи, без неї готовий будинок залишиться без світла, води і тепла. У сучасному будинку, як сільському, так і в міському, крім освітлення є десятки побутових електроприладів. Збільшення споживаної побутовими електроприладами потужності є загальною тенденцією. Тому постійна наявність в будинку напруги живлення і правильно виконана схема електропостачання, безумовно, відносяться до питань першої важливості. Про електропостачання майбутньому домовласникові доводиться подбати в першу чергу.

Результати дослідження

Одним з найважливіших питань є розрахунок і виконання електропостачання. Для розрахунку застосовується лінійна схема електропостачання приватного будинку. Такі схеми для великих об'єктів виходять об'ємними і сильно заплутаними. Самою розповсюдженою стала однолінійна електрична схема. Її з успіхом застосовують не тільки для розрахунків електропостачання промислових об'єктів, а й для приватного будівництва.

Україна є монополістом в питанні вироблення електроенергії і тому всі питання електрифікації об'єктів слід погоджувати з енергозабезпечувальною організацією. Проект електричної мережі будинку ще до початку будівельних робіт має бути затверджений місцевим органом Енергонагляду, який, до речі, на етапі проектування повинен був позначити технічні вимоги, правила експлуатації електроустановок і попередити про заходи відповідальності за технічний стан проводки, електроприладів і іншого обладнання. У будинках, що знаходяться в приватній власності, відповідальність за дотримання всіх згаданих правил покладається на власника нерухомості, тобто на абонента. Електрична безпека людей і майна усередині дому забезпечується виконанням норм безпеки і низкою технічних заходів в процесі виконання робіт по електропостачанню будинку.

Під'єднання будинку до регіональної електричної мережі зобов'язаний виконати фахівець організації, що видала технічні вимоги і відповідний допуск, що має, на проведення таких робіт. У технічних умовах визначено допустиме навантаження для конкретної мережі, перевищувати якій забороняється. Забороняється так само міняти затверджену в проектах захисну апаратуру, зокрема, міняти автомати аварійного відключення, номінали запобіжників. Все використане обладнання для електропостачання будинку повинне відповідати СНПам і бути промислового виготовлення.

Підключення електропостачання приватного будинку виконується через так звані ввідні пристрої (ВІП). Представляють вони собою металеві корпуси, в яких зібрані пристрої, призначені для управління електромережею будівлі. Моделі, які виконують у тому числі і функцію розподілу, називаються ВРП. Встановлюють ввідні пристрої або на стовпі лінії електропередачі, або поряд з будівлею. При виборі ВРП в приватний будинок, електропостачання якого має бути безпечним і безперебійним, потрібно враховувати:

- величину лінійної напруги (заміських будинків зазвичай підводять лінії в 220 В);
- частоту струму (це постійна величина і складає вона 50 Гц);
- режим нейтралі (так називають тип заземлення. У приватному секторі воно зазвичай проводиться за схемою TN-C. При цьому нульовий і захисний провід простягаються в одному провіднику. Поділ їх виконується всередині ВІП);
- характеристики струму короткого замикання (у розрахунках електросхем звичайно враховується коротке замикання на трьохфазних провідниках під напругою. Обчислення проводяться за спеціальними формулами);
- встановлену потужність.

Електропостачання споживачів повинно виконуватися від електричної мережі з глухозаземленою нейтраллю 380/220 В з системою заземлення TN-S або TN-C-S. При реконструкції житлових та громадських будівель, що мають напругу мережі 220/127 В або 3х220 В, необхідно передбачати переведення мережі на напругу 380/220 В з системою заземлення TN-S або TN-C-S.

Величина електричних навантажень в житлових будинках залежить від насичення в квартирах світлових і електро побутових приладів (телевізори, радіоприймачі, електричні чайники, електричні чи газові плити).

Оскільки кількість електроприладів і час їх використання мешканцями залежить від багатьох факторів, то розрахунок навантаження житлового масиву є метою питомого навантаження.

При проектуванні ТП враховується споживання електроенергії на ілюмінацію та зовнішнє освітлення.

Висновки

Для розв'язання задач поставлених перед нами було зібрано інформацію про об'єкт на якому здійснювались розрахунки електроспоживання. Для електропостачання житлового будинку була обрана однофазна мережа, так як необхідності у підключенні трифазної мережі нема. Для розрахунку електроспоживання застосовується лінійна схема електропостачання приватного будинку. Зрозуміло, що накреслена лінійна схема електропостачання приватного будинку повинна бути з дотриманням всіх належних нормативів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок, 2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63008
2. Розен В.П. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства: Монографія / В.П., Розен, О.І. Соловей, С.В. Бржестовський, А.В. Чернявський, П.В. / Під заг. ред. В.П. Розена, О.І. Солов'я. – К.: ПП. ВКФ —ДЕЛЬТА ФОКСІ, 2007. – 224 с.

Владислав Петрович Рембач – студент групи 3Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vladislav P. Rembach – student of group 3E-156, faculty of electric power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПРИЙНЯТТЯ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ТА РОЗРАХУНОК ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто питання прийняття інноваційних рішень на промислових підприємствах та розрахунок їх ефективності. Проаналізовано основні напрямки інновацій в системах електропостачання, які можуть бути застосовані на промислових підприємствах.

Ключові слова: інновація, система електропостачання, економічна ефективність.

Abstract

The issue of adoption of innovative solutions at industrial enterprises and calculation of their efficiency are considered. The main directions of innovations in power supply systems that can be applied at industrial enterprises are analyzed.

Keywords: innovation, power supply system, economic efficiency.

Вступ

Ринкові умови господарювання створюють для більшості ринкових суб'єктів середовище високої конкуренції, яке вимагає від них здатності формувати конкурентні переваги у сфері виробництва товарів. Конкурентні переваги досягаються завдяки впровадженню інновацій.

Інновація – кінцевий результат упровадження нововведення з метою зміни об'єкта управління і отримання економічного, соціального, екологічного, науково-технічного або іншого виду ефекту. При цьому під нововведенням розуміється оформлений результат фундаментальних досліджень, розробок або експериментальних робіт в якій-небудь сфері діяльності по підвищенню її ефективності.

Інноваційний розвиток підприємств є складовою частиною інноваційного розвитку економіки і важливим аспектом відтворення виробничих відносин, що полягає: у оновленні складу і побудови основних фондів та удосконаленні організації їх використання як на стадії формування, так і науково-технічної підготовки виробництва.

Інноваційний потенціал – здатність до зміни, покращання, прогресу, це джерело розвитку підприємства. Відтак, кожне підприємство повинно прагнути до формування відповідного інноваційного потенціалу. Оцінка інноваційного потенціалу є надзвичайно складною проблемою, оскільки на практиці важко достовірно оцінити перспективність інноваційних ідей та спрогнозувати інтенсивність їх впровадження у виробництво. Крім того, проблема поглиблюється через складний механізм розрахунку доцільності втілення тієї чи іншої інноваційної ідеї.

Результати дослідження

В умовах глобальної фінансової недостатності потрібно шукати інноваційні рішення того, як відновити економічне зростання промислових підприємств. Саме інноваційні рішення орієнтують підприємства на якісні зміни у всіх процесах господарювання і є основою досягнення позитивного результату. Інноваційне рішення на підприємстві є ключовим елементом інтенсивного росту, що призводить до зміцнення його ринкової позиції, збільшення валових доходів та чистого прибутку. В свою чергу розвиток підприємства на інноваційній засадах зміцнює його позиції в конкурентній боротьбі. Основні напрямки інновацій в системі електропостачання (СЕП), які можуть бути застосовані на промислових підприємствах:

– Впровадження заходів по підвищенню надійності СЕП. В більшості випадків підприємство повинно мати двостороннє живлення. При односторонньому – необхідно проводити реконструкцію.

– Врахування струму короткого замикання при виборі підстанцій. Необхідне обмеження струмів короткого замикання можна забезпечити такими методами: роздільною роботою трансформаторів або живильних ліній; установкою лінійних, трансформаторних, секційних реакторів; застосуванням трансформаторів із розщепленими обмотками; застосуванням швидкодійних струмообмежувальних пристроїв.

– Впровадження сучасних систем обліку, які дозволяють зменшити комерційні втрати. Центр обліку електричної енергії (ЦОЕ) – це відділ, що контролює передачу, перерозподіл та споживання енергії, що передається від електропостачальної організації до споживача. Основні вимоги до ЦОЕ: значне енергоспоживання структурними підрозділами підприємства на базі якого створюється ЦОЕ; облік всієї спожитої ЦОЕ енергії; призначення особи, яка буде відповідати за ефективність енергоспоживання в ЦОЕ. За допомогою ЦОЕ можливо виявити причини перевикористання електроенергії і поліпшити роботу підприємства впроваджуючи заходи по енергозбереженню.

– Підвищення якості електроенергії та впровадження КРП.

Для оцінювання економічної ефективності інновацій використовується система показників, які відображають співвідношення витрат та отриманих результатів, тобто тих переваг, які будуть одержані від інновацій:

- приведені витрати;
- інтегральний ефект (чистий дисконтований дохід);
- внутрішня норма прибутковості (доходності);
- рентабельність інвестицій;
- період і строк окупності.

Висновок

В роботі розглянуто питання прийняття інноваційних рішень на промислових підприємствах та розрахунок їх ефективності. Проаналізовано основні напрямки інновацій в системах електропостачання, які можуть бути застосовані на промислових підприємствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТРАТУРИ

1. Указания по расчету экономической эффективности. Утв. Минэнерго Украины приказом №1 ПС от 23.02.95. – Министерство энергетики и электрификации. – Киев. – 51 с.
2. Економіка підприємства. Під ред. С.Ф. Покропивного. В 2 т. К.: Хвиля-Прес. – 1995. – 782 с.
3. Демов О.Д. Планування електроспоживання промислових підприємств та управління ним / О.Д. Демов. – Універсум-Вінниця. – 2001. – 103 с.
4. Черемісін М.М., Романченко В.І. Економічні розрахунки в інженерній діяльності / М. М. Черемісін, В. І. Романченко. – Х.: Факт. – 2006. – 168 с.

Бондар Олексій Ярославович – студент групи 4Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Юрчук Владислав Володимирович – студент групи 2ЕЕ-166, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Oleksiy Y. Bondar – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Vladislav V. Yrchuk – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано підвищувати енергоефективність за рахунок впровадження частотно-керованого електроприводу, як найбільш раціонального з точки зору енергозбереження та керування процесом роботи.

Ключові слова: енергоефективність, електропривод, регулювання, асинхронний двигун, частотний перетворювач, економія.

Abstract

It is proposed to increase the engefunctionality by introducing a frequency controlled electric drive as the most efficient in terms of energy saving and process control.

Keywords: energy efficiency, electric drive, regulation, asynchronous motor, frequency converter, economy.

Вступ

Сучасний електропривод споживає до 60% всієї електроенергії, що виробляється для промисловості [1]. Проблема енергозбереження в електроприводі на даний час залишається актуальною. Відомо також, що асинхронний електропривод споживає до 90% електроенергії, що споживається всіма видами електроприводів. Тому розробка способів оцінки та дослідження ефективності використання асинхронних двигунів в промисловості та побуті є дуже важливою. На сьогоднішній день широкого використання в різноманітних галузях набувають системи «перетворювач частоти - асинхронний електродвигун» (ПЧ - АД), які дозволяють регулювати частоту обертання асинхронного двигуна в широких межах. Силові напівпровідникові пристрої, які складають основу частотного перетворювача, стають дешевшими та досконалішими, що в свою чергу сприяє їх широкому розповсюдженню. Очікується, що застосування системи ПЧ - АД дасть економію електроенергії в межах 10 – 70 % в залежності від типу навантаження та умов застосування.

Результати дослідження

В сучасній літературі [2,3] в якості основного типу регульованого асинхронного електроприводу з двигунами з короткозамкненим ротором розглядається частотно-керований електропривод, який дозволяє задовольнити вимоги як по діапазону, так і по якості регулювання частоти обертання й відпрацьовувати задані закони руху. Основними елементами частотно-керованого електроприводу є випрямляч, інвертор, асинхронний чи синхронний двигун та програмований мікроконтролер. Крім цього, використовуються індуктивності і ємності для стабілізації напруги виходу випрямляча та зменшення рівня вищих гармонік.

Завдяки заміні чи модернізації застарілих систем керування асинхронним електроприводом на частотно-керовані можна досягти значної економії електроенергії в залежності від типу навантаження та режиму роботи установки. Економія може сягати 40-50% порівняно із енергозатратами того ж електроприводу з більш примітивним керуванням, таким як релейно-контакторні системи, реостатне керування тощо. При застосуванні частотного керування на насосних установках економія становить 25-30%.

Частотно-керований електропривод особливо ефективний у системах -водопостачання та вентиляції, де зазвичай витрату рідини чи газу регулюють не швидкістю обертання двигуна, а заслінкою. Під час регулювання заслінкою двигун працює на повну потужність незважаючи на низьку продуктивність. Частотне регулювання має істотні переваги порівняно з усіма іншими методами керування електроприводом.

Висновки

Розглядаючи ряд факторів, які впливають на економічну актуальність модернізації можна побачити, що енергозбереження при модернізації за допомогою перетворювачів частоти з кожним

роком стає все більш і більш актуальнішим. На сучасному етапі спостерігаються постійні дослідження і інновації у сфері частотного керування електроприводами. Тому сучасні частотні перетворювачі вже майже близькі до досконалості, мають коефіцієнт корисної дії до 98,6 %, ще розвиваються і розвиватимуться надалі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Снегирев Д.А. Асинхронный электродвигатель для частотно-регулируемого электропривода турбомеханизмов: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.01. - Воронеж, 2006. - 142 с.– МО СССР, 1990. – 327 с.
2. Електропостачання і електрообланання військових об'єктів: підручн. Ч. 1 / В.Б. Толубко, Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, М.І. Григоров. – МО України, 1998. – 374 с.
3. Системы управления электроснабжением и электроприводом: учебн. / Б.Ф. Самойленко, Б.Т. Кононов, П.М. Пушков и др. – МО СССР, 1990. – 415 с. : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01. - Воронеж, 2006. - 142 с.

Василь Юрійович Самойлов – студент групи 2ЕЕ-16Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Олександр Миколайович Кравець** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vasily Samoilov – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Oleksandr Kravets** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АКТИВНІ ФІЛЬТРИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні види активних фільтрів, деякі з яких також мають і пасивну форму. Також досліджено смуговий та режективний фільтри.

Ключові слова: фільтр, низька частота, висока частота, сигнал, прилад.

Abstract

The main types of active filters are considered. Some of them also have a passive form. Bandwidth and bias filters are also investigated.

Keywords: filter, low frequency, high frequency, signal, instrument.

Вступ

В радіоелектроніці часто виникає потреба пропустити та підсилити сигнали лише в деякому певному діапазоні частот, водночас подавивши сигнали на всіх інших частотах. Така задача розв'язується за допомогою частотних фільтрів - пасивних або активних чотиріполіусників, амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) яких відмінні від нуля в смузі частот, що мають проходити через фільтр - в смузі прозорості або смузі пропускання - та дорівнюють або близькі до нуля і в смузі непропускання (непрозорості). Метою роботи є дослідження активних фільтрів та їх різновидів.

Результати дослідження

Найпростіший активний фільтр може бути складений з фільтруючого RC -елементу та широкосмугового підсилювача. На рис.1 зображено активний фільтр нижчих частот, в якому вхідний сигнал спочатку проходить через інтегруючий RC -елемент, а потім подається на вхід операційного підсилювача увімкненого за неінвертуючою схемою з коефіцієнтом підсилення.

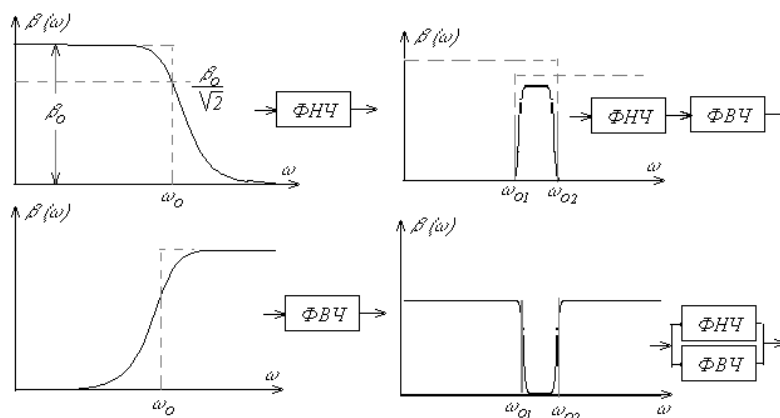


Рисунок 1 – Активний фільтр

АЧХ фільтра першого порядку далека від ідеальної: в області пропускання, для частот $\omega \leq \omega_0$ коефіцієнт пропускання вже зазнає помітного спаду, а для частот $\omega \gg \omega_0$ модуль $|\beta|$ виявляється обернено пропорційним до ω і, отже, при зростанні частоти на один порядок (одну декаду) величина $|\beta|$ зменшується на один порядок (у логарифмічних одиницях - на 20 дБ).

В цілому АЧХ активного фільтра другого порядку має вигляд: порівняно повільна зміна $|\beta|$ межах області пропускання та швидкий спад за її межами. Однак, у залежності від конкретного значення параметрів a_1 та a_2 хід $\beta(\omega)$ має в околі ω_c певні особливості і його можна оптимізувати відповідним підбором цих параметрів. Таку оптимізацію АЧХ можна робити за різними критеріями:

а) найбільш рівний хід АЧХ в смузі пропускання, спад за межами смуги пропускання при цьому буде досить стрімкий. Це так званий фільтр Баттерворта. Оптимально він реалізується при значеннях $a_1 = 1.414$, $a_2 = 1.0$. Однак, такому фільтру притаманний відмінний від прямолінійного хід фазово-частотної (ФЧХ) характеристики, викиди та коливання вихідної напруги при різких перехідних процесах.

б) Найбільш лінійний хід ФЧХ. Ця умова оптимально реалізується при $a_1 = 1.36$, $a_2 = 0.62$. Такий фільтр має назву фільтра Бесселя, оскільки його АЧХ добре апроксимується поліномами Бесселя. Спад за межами смуги пропускання у фільтра Бесселя менш крутий, ніж у фільтрі

Таким чином, бажаний вигляд АЧХ та ФЧХ можна реалізувати відповідним підбором оптимальних величин елементів схеми. Така операція має назву синтезу активного фільтра.

При послідовному з'єднанні кількох активних фільтрів їх передавальні функції $\beta(\omega)$ перемножуються і степінь поліному у знаменнику зростає. Відповідно зростає і порядок фільтру, а також крутість спаду у смузі непропускання.

Помінявши місцями в колі позитивного зворотного зв'язку ємності і опори, дістанемо фільтр вищих частот. А з фільтрів вищих і нижчих частот. Як про це вже йшлося вище, можна скласти смугові або режекторні фільтри.

Висновки

Активний фільтр – один з видів аналогових електронних фільтрів, в якому присутній один або декілька активних компонентів, наприклад транзистор або операційний підсилювач.

У активних фільтрах використовується принцип відділення елементів фільтру від решти електронних компонентів схеми. Часто буває необхідно, щоб вони не впливали на роботу фільтру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники (в 2-х томах) = The Art of Electronics. — М.: Мир, 1980. — Т. 2. — 590 с.
2. Медведик А.Д. Основи телебачення: Конспект лекцій для студентів радіотехнічних фахів. — Одеса: Наука і техніка, 2008. — 156 с.
3. Штепа О.А. Інформаційно-вимірювальна система комплексного моніторингу медикодіагностичних досліджень // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — 2007. — Вип. 13 (121). — С. 194–202.

Гладун Влад Валерійович – студент групи 2ЕЕ-166, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Бурбело Михайло Йосипович** – доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vlad V. Gladun - Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya.

Supervisor: **Mikhail Y. Burbelo** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Systems of Electrical Power and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya.

ВПЛИВ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

Показано що між енергопостачальними компаніями та промисловими споживачами в процесі впровадження компенсуючих установок складається «гральна ситуація», що зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження компенсуючих установок в мережі енергопостачальних компаній.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, розподільна мережа, зниження втрат електроенергії.

Abstract

It is shown that between distribution companies and industrial consumers in the process of compensating units is "play-situation" that determines the feasibility of playing methods for calculating the compensatory implementation units in a network of power supply companies.

Keywords: reactive power compensation, distribution network, reducing energy losses.

Вступ

Компенсація реактивної потужності (КРП) є одним з ефективних заходів зниження втрат електроенергії в розподільних мережах енергопостачальних компаній (ЕК). Реактивні навантаження цих мереж створюють промислові та комунально-побутові споживачі. Величина останніх співрозмірна з реактивними навантаженнями промислових споживачів, що зумовлює необхідність їх компенсації. Відповідно [1] комунально-побутові споживачі не проводять заходів по КРП.

Метою роботи є аналіз впливу КУ промислових споживачів на втрати, які створюють реактивні навантаження комунально-побутових споживачів та їх кількісна оцінка

Результати дослідження

Оскільки компенсацію реактивних навантажень комунально-побутових споживачів здійснює ЕК, то будемо вважати, що це навантаження ЕК.

Розглянемо розв'язання задачі для схеми мережі, заступна схема якої показана на рис. 1.

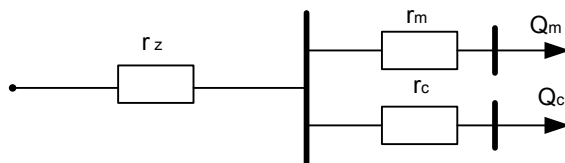


Рис. 1. Заступна схема узагальненої мережі живлення промислових споживачів та ЕК

Величина втрат активної потужності, створених навантаженнями ЕК та промислових споживачів, в даній мережі визначається за виразом:

$$\Delta P = \frac{1}{U_n^2} [(r_z + r_c) Q_c^2 + (r_z + r_m) Q_m^2 + 2 Q_c Q_m r_z], \quad (1)$$

де Q_c , Q_m — реактивні навантаження ЕК (комунально-побутових споживачів) та промислових

споживачів ЕК, відповідно; r_z , r_c , r_m — еквівалентні опори живильних мереж, розподільних мереж ЕК та промислових споживачів, відповідно.

Очевидно перша і друга складові втрат ΔP створені безпосередньо першим і другим навантаженнями. Третя складова є спільними втратами цих навантажень.

Таким чином, величина зменшення втрат від установлення КУ в мережах ЕК залежить не тільки від реактивних навантажень комунально-побутових споживачів, а від і реактивних навантажень промислових споживачів, які живляться від цих мереж. Причому величина реактивних навантажень цих споживачів на перспективу визначається неоднозначно, оскільки це зв'язано з загальним економічним станом споживачів, який в ринкових умовах однозначно не прогнозується. Тобто між ЕК та промисловими споживачами, які живляться від цих мереж, в процесі впровадження КУ складається «гральна ситуація». Це зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК.

Висновки

Змінюючи ступінь компенсації реактивної потужності в мережах промислового споживача, можна значно змінити втрати активної потужності, що створюються реактивним навантаженням комунально-побутових споживачів. При чому між ЕК та промисловими споживачами, які живляться від цих мереж, в процесі впровадження КУ складається «гральна ситуація», що зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зорин В. В. Особенности определения мест установки и мощности батарей конденсаторов в узлах городской сети. / Зорин В. В., Демов А. Д. // Республиканский межведомственный научно-технический сборник: Электрические сети и системы. — Львов: Высшая школа, 1981, вып.17, С. 108 — 112
2. Зорін В. В. Підвищення пропускної здатності кабельних ліній електропередач напругою 6-10 кВ за допомогою компенсації реактивної потужності / В. В. Зорін, О. М. Майстренко // Енергетика. - 2014. — № 1. — С. 71-79.

Владислав Іванович Вдовиченко — студент групи 3Е-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tvdovichenko26071998@gmail.com.

Науковий керівник: **Михайло Йосипович Бурбело** — доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vladislav I. Vdovichenko — Department of of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : tvdovichenko26071998@gmail.com.

Supervisor: **Mikhail Y. Burbelo** — Doc. Sc. (Eng), Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто проблему економії електроенергії, спрямування зменшенню втрат електроенергії, мету, ціль та методи досягнення поставленої задачі за рахунок показу характеристик LED ламп.

Ключові слова: економія електроенергії, освітленість, ефективність.

Abstract

Considered the problem of energy saving, aimed at reducing energy losses, goals, objectives and methods of achieving the task by displaying the characteristics of LED lamps.

Keywords: energy saving, illumination, efficiency.

Вступ

Щоб зрозуміти, як досягається економія енергії при використанні LE ламп, потрібно зрозуміти принцип їх роботи. Світлодіод здатен працювати з високою світловою віддачею, тому потужність світлового потоку у цих ламп досить висока. При цьому енергії вони споживають набагато менше, ніж лампи розжарювання і навіть економні лампочки. LED освітлення допомагає вичавити максимум користі з мінімуму енергії, саме тому його безсумнівно можна назвати освітленням нового покоління. Звичайно було б ідеально, створити лампу з ККД 100%, але на жаль на сьогоднішній день це неможливо, так само як і створити вічний двигун, але світлодіоди через свої властивості мають високий ККД в порівнянні з іншими лампочками. Віддаючи перевагу діодним лампочкам не доводиться обмежувати себе в освітленні. Його якість стає навіть вище, але при цьому економія електрики дуже істотна.

Результати дослідження

Проблема енергозбереження на межі тисячоліть перетворилась в одну з найважливіших загальнолюдських проблем. Рациональне та економне використання природних ресурсів, скорочення шкідливих викидів в атмосферу та ефективне використання електричної та теплової енергії набувають виключно важливого значення у сучасному суспільстві. На даний момент вже існує багато пристроїв, застосування яких дозволяє домогтися скорочення втрат при роботі електричного обладнання. Потенціал розвитку технологій енергозбереження та підвищення енергоефективності у всіх сферах людської життєдіяльності людини можна порівняти в цілому з потенціалом приросту економічних показників всіх первинних енергетичних виробництв і ресурсної бази. Програма енергозбереження в обов'язковому порядку повинна включати безпосередню взаємодію між собою тільки тих її учасників, які в реальному порядку можуть надавати позитивний результат, в будь-якому іншому випадку ця програма може придбати деструктивні фактори, які призведуть лише до самотримки життєдіяльності цієї програми і простій розтраті бюджетних коштів. Переваги світлодіодних ламп:

- застосування LED – високий ККД;
- мала вага і розмір пристроїв;
- відсутність ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання в спектрі дозволяє використовувати світлодіодне освітлення без шкоди для людини і в спеціальних цілях;
- відмінна робота при негативних температурах без зниження;
- світлодіоди – безінерційні джерела світла, вони не вимагають часу на прогрів або вимикання;
- легкість регулювання потужності;

- низька пожежонебезпека, можливість використання в умовах вибухонебезпечності та небезпеки спалаху за рахунок відсутності нагальних елементів;
- вологостійкість, стійкість до впливу агресивних середовищ;
- хімічна нейтральність, відсутність шкідливих викидів і відсутність спеціальних вимог до процедур утилізації, що створює велику проблему для люмінесцентних ламп.

Висновки

Розглянуте питання ефективності використання електроенергії у побуті закликає до ефективного використання електроенергії не докладаючи особливих зусиль. Адже просто вимкнувши телевизор на декілька хвилин, чи світло, якщо в ньому немає необхідності дасть змогу зменшити витрати електроенергії, а з цього також випливають менші затрати вичерпних енергоресурсів та заміна звичайних ламп розжарення на економні лампи LED будуть значними успіхами в економії енергії, хоч і незначне, але менше забруднення екології. Можна зробити висновок, що для енергозбереження та енергорозвитку України необхідно, щоб держава мала намір підтримати розроблені плани щодо енергозбереження і виділяти кошти на їх виконання та, по можливості, залучати в цю справу міжнародні громади. Також, важливим є усвідомлення кожним громадянином значущості ролі, яку він відіграє для майбутніх поколінь та для екології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергозбереження. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecoenergy.dilovamova.com>
2. Енергозбереження та енергоефективність. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.donoda.gov.ua/data/upload/publication/main/ua/.../aktualnist.doc>
3. Світлодіодні лампи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00625266_0.html

Уманець Вячеслав Вікторович – студент групи Е18-мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: slavikumabets03@gmail.com.

Науковий керівник: Кравець Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Umanets Vyacheslav V. – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slavikumabets03@gmail.com

Scientific supervisor: Kravets Oleksandr N. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АСКОЕ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто можливість використання автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії для підвищення ефективності енерговикористання.

Ключові слова: енергозбереження, енергетичний менеджмент, енергетична ефективність, промислове підприємство.

Abstract

There was considered the possibility of using the automated commercial electricity metering system to improve energy efficiency.

Keywords: energy saving, energy management, energy efficiency, industrial enterprise.

Вступ

В усіх розвинених країнах збір і обробка інформації про споживання електроенергії являє собою цілу індустрію із залученням новітніх технологій. У нашій країні також почав зростати інтерес до розробки та впровадження подібних систем. Для отримання економічних результатів встановленням одних лічильників не обійтись. Для цього потрібна автоматизація збору та обробки даних. Сам по собі облік енергоресурсів не знижує їх споживання, але створення АСКОВ є важливим кроком у ланцюжку заходів щодо підвищення ефективності енерговикористання на підприємствах [1-3].

Результати дослідження

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії – це комплекс технічних, математичних, алгоритмічних і програмних методів та засобів, що призначені для комерційного обліку електричної енергії. Основне призначення АСКОВ на підприємстві полягає в точному обліку та оперативному контролі спожитої електроенергії, забезпеченні можливості зберігання отриманих даних, протягом певного часу і доступу до них для проведення розрахунків. Важливою складовою АСКОВ є можливість обробки даних, їх аналіз та прогноз (коротко-, середньо- і довгостроковий). Сучасна АСКОВ передбачає застосування багатофункціональних електронних лічильників електроенергії, які мають перевагу перед іншими типами лічильників в частині надання споживачу повних та достовірних даних [1-3].

Мета створення та експлуатації АСКОВ полягає в постійній економії енергоресурсів і фінансів підприємства при мінімальних грошових витратах. Для підвищення ефективності обліку та контролю АСКОВ окрім лічильників комерційного обліку повинна також включати лічильники технічного обліку електроенергії. Два види обліку, комерційний і технічний, мають свою специфіку. Комерційним називають облік споживання енергії підприємством для грошового розрахунку за неї. Технічний облік для контролю процесу споживання електроенергії в середині підприємства по його підрозділах, об'єктах, електроприймачах. Комерційний облік консервативний, має усталену схему енергопостачання. Для нього характерна наявність невеликої кількості точок обліку, для яких потрібне встановлення приладів підвищеної точності. Окрім того, системи комерційного обліку пломбуються, що обмежує можливості внесення до них будь-яких оперативних змін з боку персоналу підприємства. Технічний облік, навпаки, динамічний і постійно розвивається, відображаючи мінливі вимоги виробництва. Для нього характерна велика кількість точок обліку з різними завданнями контролю енергоресурсів, за якими можна встановлювати в цілях економії коштів прилади зниженою точності. Відсутність пломбування приладів дозволяє службі головного енергетика підприємства оперативно вносити зміни в схему технічного контролю енергоресурсів, в уставки первинних вимірювальних приладів у відповідності з поточними змінами в схемі енергопостачання підприємства і специфікою розв'язуваних виробничих завдань [1-3].

Об'єднання лічильників комерційного і технічного обліку в єдину систему дозволяє формувати поточний баланс електроспоживання підприємства, котрий є основною базою для вдосконалення нормування енергоспоживання, оперативно виявляти і ліквідувати втрати і неефективні затрати

електричної енергії всередині підприємства, визначати фактичну потужність, що використовується підприємством, в тому числі максимальну потужність в часи найбільших навантажень енергосистеми, і є невід'ємною умовою ефективного управління і оптимізації режимів електроспоживання підприємства. Враховуючи специфіку комерційного і технічного обліку можна оптимізувати вартість створення АСКОВ та її експлуатації. Створення єдиної системи на передній план виводить динамічний і статистичний контроль енергетичних потоків, створення багаторівневих і різночасових балансів, багатофакторний аналіз даних вимірювань, їх інтерполяція і екстраполяція для створення об'ємної картини ефективності використання енергії або оцінки роботи людей і устаткування [1-3].

Технічний облік можна покращити за допомогою центрів обліку енергії (ЦОВ), що створюються на базі енергоємних приймачів. Визначення центрів обліку енергії є важливим етапом у створенні систем енергоменеджменту підприємств. Результати роботи ЦОВ мають бути легко контрольованими. Це дозволить аналізувати та покращувати показники енергоефективності роботи підрозділу. Найбільш вдалим прикладом виділення окремого ЦОВ є його формування на основі технологічної лінії з контрольованою кількістю продукції, одержаної в певних проміжках часу. В даному випадку існує можливість для співставлення витрат енергії з обсягом виготовленої продукції, тобто можливість визначення енергоефективності процесу. Для того, щоб визначити найбільш енергоємних споживачів необхідно проаналізувати річні енергобаланси підприємства, де загальні витрати енергії розподіляються між окремими підрозділами, а також приймачами енергії. Якщо енергобаланси підприємства не складені, то існує можливість використання паспортних даних основного енергоємного обладнання, а його розташування на території підприємства дасть інформацію про можливе розміщення ЦОВ [4].

Процес формування ЦОВ передбачає встановлення додаткових лічильників, а аналіз існуючих розподільних систем дозволяє визначити конкретні місця для їх встановлення. Для розрахунку кількості додаткових лічильників можна скористатися методикою, яка визначає залежність їх кількості від рівня витрат коштів підприємства на оплату даного виду енергії. Контроль енергоспоживання в ЦОВ здійснюється на основі розроблених критеріїв, які визначають ефективність використання енергії. Ці критерії повинні відображати реально існуючі зв'язки між рівнем енергоспоживання та технологічними параметрами, від яких залежить енергоспоживання. В процесі управління енергоспоживанням найчастіше використовують регресійні моделі.

Висновки

Постійне подорожчання енергоресурсів, а також значне збільшення їх споживання в останні роки змушує думати про більш жорсткий контроль їх використання, а також вимагає впровадження ефективних засобів обліку, що сприяють зниженню витрат на енергоресурси. Використання автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії дозволяє здійснювати точний і швидкий контроль за споживанням енергоресурсів, підвищуючи достовірність обліку і оптимізуючи витрати на енергоресурси. Об'єднання лічильників комерційного і технічного обліку в єдину систему дозволяє формувати поточний баланс електроспоживання підприємства, котрий є основною базою для вдосконалення нормування енергоспоживання. АСКОВ зважають кожен крок на шляху підвищення енергоефективності підприємства, ведуть інтегральний облік економії наростаючим підсумком, ставлять оцінки персоналу і енергоменеджменту, ведуть історію боротьби за підвищення ефективності виробництва і створюють постійний зворотний зв'язок для його досконалості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коцарь О. В. Применение АСКУЭ для контроля текущих параметров режимов электропотребления на промышленных предприятиях / О. В. Коцарь // Энергетика и электрификация. – 2004. – № 6. – С. 24–29.
2. Коцар О. В. Застосування АСКОВ для контролю характеристик режимів електропостачання та керування режимами електроспоживання на підприємстві фармацевтичної галузі / О. В. Коцар, Ю. О. Кот, Ю. О. Расько, С. В. Полевик // Управління, економіка та забезпечення якості в фармацевції. – 2010. – С. 18–27.
3. Праховник А. В. Концептуальні положення побудови АСКОВ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України / А. В. Праховник, О. В. Коцар // Энергетика та электрификация. – 2009. – № 2. – С. 45–50.
4. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посібник / Г. Г. Півняк, С. І. Випанасенко, О. І. Хованська та ін. - Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 214 с.

Котик Богдан Володимирович – студент групи 3Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 3e15b.kotuk@gmail.com.

Науковий керівник: Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Bogdan V. Kotyk – Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e15b.kotuk@gmail.com.

Supervisor: Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ НЕЙРОПОДІБНОЇ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ ГІДРОАГРЕГАТІВ ВІД НАВАНТАЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ТА НАПОРУ ВОДИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто новий метод розрахунку вагових коефіцієнтів нейроподібної мережі в системах діагностики гідроагрегатів, у якості яких запропоновано використовувати коефіцієнти взаємкореляції між вібросигналами у просторово розподілених точках гідроагрегату. Проведено аналіз залежності коефіцієнтів від навантаження генератора та напору води.

Ключові слова: нейроподібна мережа, амплітудно-частотно-часовий спектр, смуга частот, чинник вібрації, показник вірогідності, коефіцієнт взаємкореляції, ваговий коефіцієнт.

Abstract

The new method of calculation of weight coefficients neurosimilar networks in systems of diagnostics of hydrounits in which quality it is offered to use cross-correlation coefficients between vibrating signal in spatially carried points of the hydrounit is considered. The analysis of dependence of coefficients from power of the generator and a water pressure is carried out.

Keywords: neurosimilar network, peak-time-and-frequency spectrum, strip of frequencies, the vibration reason, a reliability indicator, cross-correlation coefficient, weight coefficient.

Вступ

Важливою складовою частиною системи автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ) [1], яка поетапно впроваджується в дослідну експлуатацію на Нижньодністровській ГЕС, є тришарова штучна нейроподібна мережа (ШНМ), на вхід якої надходять амплітудно-частотно-часовий спектр (АЧЧС) вібросигналів.

Головним результатом роботи ШНМ є показники вірогідності того, що причиною надмірного віброзміщення є певний чинник вібрації.

Інформативний показник вірогідності $PV_{k\tau}$ чинника, який відповідає k -му нейрону, на момент часу τ визначається як

$$\forall k = 1, 6 \forall i = 1, 4 \forall j \in \Psi_k \left(PV_{k\tau} = \sum_{i,j} w_{kij} d_{kij\tau}^{norm} \right), \quad (1)$$

де w_{kij} – вагові коефіцієнти, які визначають важливість урахування вейвлет-коефіцієнтів j -ї смуги частот АЧЧС i -го вібросигналу в рівні вірогідності k -го нейрона; $d_{kij\tau}^{norm}$ – нормовані значення вейвлет-коефіцієнтів j -ї смуги частот АЧЧС i -го вібросигналу в рівні вірогідності k -го нейрона на момент часу τ ; Ψ_k – множина номерів смуг частот, в яких існує вплив чинника вібрації, що відповідає k -му нейрону.

Метою роботи є розвиток кореляційного методу визначення вагових коефіцієнтів w_{kij} як коефіцієнтів взаємкореляції та аналіз їхньої залежності від навантаження гідрогенератора та напору води у водосховищі.

Розрахунок коефіцієнтів взаємкореляції

Теоретичне обґрунтування математичної моделі кореляційного методу визначення вагових коефіцієнтів детально викладено в [2, 3]. Розглядаючи гідроагрегат, як відносно стаціонарну розподілену квазілінеаризовану нерозривну пружну систему з змінними у просторі коефіцієнтами жорсткості, для довільно обраного контрольованого вузла відносно кожної з k можливих збурюючих сил може бути отримано функцію зв'язку. Для довільно обраного вузла А, що є частиною гідроагрегату буде справедливою така система рівнянь:

де $F_I(t) - F_k(t)$ – некомпенсовані сили, що діють на гідроагрегат; $H_{A1}(t) - H_{Ak}(t)$ – функції зв'язку відносно збурюючих сил $F_I(t) - F_k(t)$, відповідно; $\psi_{A1}(t) - \psi_{Ak}(t)$ – реакція системи у точці А на дію збурення у вигляді сили $F_I(t) - F_k(t)$, відповідно.

$$K_{\psi}^*(t_1) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^* \psi_{Bi}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^{*2} \cdot \sum_{i=1}^n \psi_{Bi}^{*2}}}, \quad (3)$$

Висновки.

- ## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Samoil Sh. Katsyv** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Theoretical the Electrical Engineer and Electric Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: katsyv@ukr.net.

ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ RL-ДІОДНОГО ГЕНЕРАТОРА ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджувалося явище «детермінованого хаосу» в нелінійному RL-діодному електричному колі синусоїдного струму. Були визначені рекомендовані сукупності параметрів кола для конструювання генераторів хаотичних коливань.

Ключові слова: детермінований хаос, бар'єрна ємність, дифузійна ємність, залишкова напруга, початкові умови, генератор хаотичних коливань.

Abstract

In work the phenomenon of "the determined chaos" in nonlinear RL-diodes electric circuit of a sinusoidal current was investigated. The recommended sets of parameters of a circuit for designing of generators of chaotic fluctuations have been defined.

Keywords: The determined chaos, barriers capacity, diffusions capacity, residual voltage, entry conditions, the generator of chaotic fluctuations.

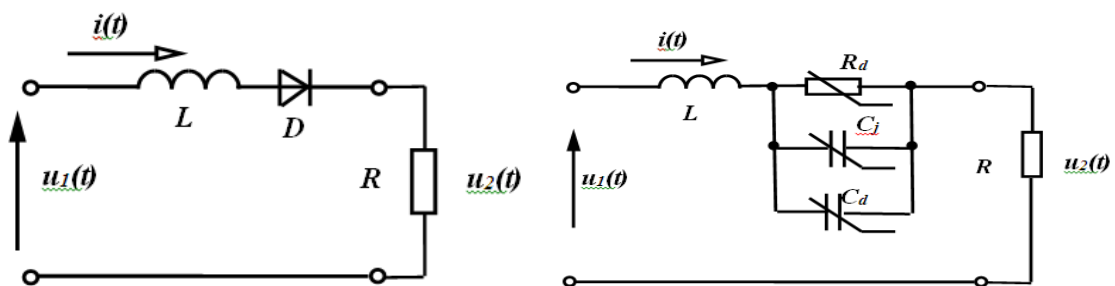
Вступ

При створенні параметричних резистивних вимірювальних перетворювачів для забезпечення необхідних метрологічних (зокрема, роздільної здатності) характеристик досить часто доводиться перетворювати вельми малі зміни вихідного опору, наприклад, при тензометричних вимірюваннях. Це в свою чергу призводить до посилення випадкових перешкод на корисному сигналі, внаслідок чого зростає випадкова похибка вимірювань. Тому підвищення чутливості резистивних вимірювальних перетворювачів з одночасним забезпеченням низького рівня випадкових шумів є актуальною задачею. Одним із способів вирішення цієї задачі є використання RL-діодних генераторів хаотичних коливань [1]. В роботі [2] було проведено аналіз причин виникнення хаотичних коливань в RL-діодних колах і виконані необхідні розрахунки.

Метою цієї роботи є визначення рекомендованих сукупностей параметрів кола для конструювання генераторів хаотичних коливань.

Дослідження явища «детермінованого хаосу»

Найпростіша схема генератора хаотичних коливань є чотириполюсником, на виході якого увімкнений резистор (рис.1, а), або з урахуванням схеми заміщення діода (рис.1, б).



а б
Рисунок 1 – Схема генератора хаотичних коливань

За цією схемою діод є паралельним з'єднанням нелінійного резистора R_d і двох нелінійних ємностей – бар'єрної $C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{U}{U_D}\right)^n}$ та дифузійної $C_d = \frac{\tau_B I_S}{m U_T} e^{\frac{U}{m U_T}}$, де C_{j0} – бар'єрна ємність

за нульової напруги діода; U – поточна напруга діода; U_D – дифузійна напруга діода; n – техно-

логічний коефіцієнт, який міститься в діапазоні $(\frac{1}{3} \dots \frac{2}{3})$, I_S – тепловий струм діода; τ_B – час життя неосновних носіїв заряду; U – поточна напруга діода; U_T – теплова напруга діода; m – коефіцієнт емісії. Зазначимо, що в режимі прямої напруги за умови $U \geq U_D$ бар’єрною ємністю можна знехтувати. В режимі оберненої напруги можна знехтувати дифузійною ємністю.

Остаточний вираз для нелінійного диференційного рівняння другого порядку, якому відповідає режим роботи кола (рис.3), з урахуванням виразів (1) та (2) виглядає так

$$\begin{aligned} & \left(L \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{u_C(t)}{U_D}\right)^n} + L \frac{\tau_B I_S}{m U_T} e^{\frac{u_C(t)}{m U_T}} \right) \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + \\ & + \left(\frac{L}{R_d(u_C(t))} + R \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{u_C(t)}{U_D}\right)^n} + R \frac{\tau_B I_S}{m U_T} e^{\frac{u_C(t)}{m U_T}} \right) \frac{du_C(t)}{dt} + \\ & + \left(\frac{R}{R_d(u_C(t))} + 1 \right) u_C(t) = u_1(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Як було показано в [2], при певних співвідношеннях частоти і параметрів кола перехідний процес за період коливань вхідної напруги не встигає закінчитися, тому на початку кожного періоду на ємностях присутня залишкова напруга, тобто кожен новий цикл перехідного процесу має ненульові початкові умови. В цьому випадку відбувається незгасаючий перехідний процес, параметри якого мають хаотичний характер.

Висновки.

1. В нелінійному RL-діодному електричному колі синусоїдного струму при певних співвідношеннях частоти вхідної напруги і параметрів кола відбувається незгасаючий перехідний процес, режимні параметри якого мають хаотичний характер.

2. Перехід від детермінованого процесу до хаотичного відбувається не стрибком, а поступово, тому для генераторів хаотичних коливань необхідно щоб їх амплітуда була суттєвою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kucheruk V., Z. L. Warsza, V. Sevastyanow, W. Mankowska Generator oscylacji chaotycznych o układzie RL-diody jako przetwornik rezystancja-napięcie // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 10/2013.

2. Volodymyr Kucheruk et al., «Deterministic chaos in RL-diode circuits and its application in metrology» *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, № 9. 2016.

Самоїл Шулімович Каців – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: katsyv@ukr.net.

Артем Сергійович Мельник – учень 10ІТ класу Подільського науково-технічного ліцею для обдарованих дітей.

Samoil Sh. Katsyv – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Theoretical the Electrical Engineer and Electric Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: katsyv@ukr.net.

Artem S. Melnik – the pupil 10IT class of Podolskogo of scientific and technical lycée for exceptional children.

ФАЗОВИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ОСЬОВОГО ЗМІЩЕННЯ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано новий безконтактний метод вимірювання осьового зміщення ротора електричної машини у режимі реального часу та розроблено структурну схему засобу вимірювання, що його реалізує.

Ключові слова: вимірювання, осьове зміщення, електрична машина, засіб вимірювання, інформативна хвиля, різниця фаз.

Abstract

A new contactless method of measuring the axial displacement of a rotor of an electric machine in real time is proposed, and a structural scheme of the measuring instrument that implements it is developed.

Keywords: measurement, axial displacement, electric machine, measuring instrument, informative wave, phase difference.

Динамічний аналіз механічних параметрів силових електричних машин у режимі технологічного процесу є неодмінною складовою перспективного напрямку підвищення надійності та зменшення експлуатаційних витрат за рахунок побудови сучасних систем діагностування. Можна зробити висновок, що розробка високоточних методів та безконтактних засобів вимірювання миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини у режимі реального часу технологічного процесу є актуальною науково-прикладною задачею.

Основною проблемою, що потребує вирішення при застосуванні оптичних методів вимірювання осьового віброзміщення є наявність суттєвого впливу неінформативних впливних величин на інформативний сигнал. Про те, виходячи з фізичних властивостей повітря [2], що, очевидно, знаходитиметься у просторі між випромінювачем, ОВ(об'єктом вимірювання) та приймачем, його коефіцієнти відносної діелектричної та магнітної проникностей є мало змінними. Фазова швидкість інформативного сигналу у такій системі буде мати доволі високу стабільність. Це обумовлює доцільність використання у якості проміжного інформативного параметру фазове зміщення інформативної хвилі.

Суттєвими проблемами, що виникатимуть при побудові засобу вимірювання, який реалізуватиме проміжне вимірювальне перетворення осьового зміщення ротора у зміщення фази інформативного сигналу є наявність значної фазоамплітудної похибки, та невисока чутливість засобу. Тож, фазовий безконтактний метод вимірювання осьового зміщення ротора електричної машини повинен включати як алгоритм компенсування фазоамплітудної похибки, так і новий метод вимірювання різниці фаз, що забезпечуватиме підвищену чутливість.

Проблема компенсації фазоамплітудної похибки може бути вирішена шляхом забезпечення змінного коефіцієнту підсилення інформативного сигналу на виході приймача, що дозволить забезпечити його стабілізацію не залежно від зовнішніх збурюючих факторів. Причиною виникнення фазоамплітудної похибки є різність амплітуд між інформативним та опорним каналами, а також при певних умовах зовнішні збурення можуть викликати зміну амплітуди опорного сигналу, тож у якості критерію стабілізації доцільно використати амплітуду опорного сигналу. При такому підході на виході приймача доцільно розмістити лінійний підсилювач з керованим коефіцієнтом підсилення, значення якого корегуватиметься у режимі реального часу за рахунок сигналу зворотного зв'язку, що являтиме собою різницю між амплітудою інформативного та опорного сигналів.

В загальному принцип роботи системи стабілізації амплітуди сигналу на виході приймача можна уявити як, сигнал заданої частоти що подається з генератора на вхід випромінювача з виходу

випромінювача формується напрямлене випромінювання хвилі у бік лобового виступу валу ротора, на якому нанесене відбиваюче покриття. Досягнувши відбиваючого покриття, хвиля, що була випромінена відбивається у бік приймача. Залежно від величини і знаку осьового зміщення лобового виступу валу ротора змінюється відстань між ним та випромінювачем і приймачем. Для інформативного сигналу буде справедливим фундаментальне співвідношення між приростом кута початкової фази при переміщенні електромагнітної хвилі у просторі:

$$\Delta\varphi = \frac{360 \cdot \Delta L}{\lambda}, \quad (1)$$

де $\Delta\varphi$ та ΔL – відповідно, приріст кута початкової фази та приріст лінійної координати у напрямку поширення хвилі; λ – довжина електромагнітної хвилі, що пов'язана з її частотою наступним співвідношенням:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2)$$

де f – частота інформативного сигналу; c – швидкість поширення оптичного сигналу у повітрі (вакуумі).

Враховуючи (1) та (2), а також геометрію поширення хвилі від випромінювача до приймача, сигнал на вході приймача матиме додаткове фазове зміщення (в градусах), значення якого залежить від осьового зміщення лобового виступу валу ротора у відповідності з наступним рівнянням перетворення:

$$\varphi = \frac{2 \cdot 360 \cdot L \cdot f}{c \cdot \cos(\frac{\alpha}{2})}, \quad (3)$$

де L – осьове зміщення; α – кут між падаючою та відбитою хвилями.

З виходу приймача прийнятий сигнал передається на вхід масштабного перетворювача, де відбувається стабілізація його амплітуди, що забезпечується шляхом порівняння сигналів з виходу першого та другого випрямлячів, яка здійснюється компаратором з аналоговим виходом, на виході якого формується коректуючий сигнал, що пропорційний різниці амплітуд між сигналами з виходів першого та другого випрямлячів.

Проблема низької чутливості може бути розв'язана за рахунок застосування спеціального методу вимірювання різниці фаз, який не передбачатиме проміжне перетворення різниці фаз у часовий інтервал. Це дозволить використати у якості інформативного сигналу сигнал підвищеної частоти.

Враховуючи бажані характеристики каналу різниці фаз, вимірювання останньої можна здійснювати шляхом отримання проміжних векторних величин, пов'язаних з інформативним та опорним сигналами. При використанні синусоїдальних хвиль, опорний та інформативний сигнали описуватимуться гармонічною функцією і на виході матимуть однакову амплітуду. Пов'язавши систему відліку часу з опорним сигналом, математично можна представити їх у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} U_1(t) &= U_m \sin(\omega t), \\ U_2(t) &= U_m \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

У цьому випадку амплітуда їх векторної суми буде рівною:

$$U_{sum} = 2U_m \cos(\frac{\varphi}{2}), \quad (5)$$

,а амплітуда векторної різниці інформативного та опорного сигналів:

$$U_{dif} = 2U_m \sin(\frac{\varphi}{2}). \quad (6)$$

Функціональні залежності (5) та (6), забезпечують перетворення різниці у пов'язаний з нею рівень постійної напруги, та враховуючи особливості синусоїди, при безпосередньому вимірюванні сигналів U_{sum} та U_{dif} з подальшим розрахунком φ матиме місце зменшення чутливості засобу вимірювання. Тож у якості проміжного сигналу доцільніше використати іншу, залежну від різниці фаз φ величину.

Поділивши (6) на (5), отримаємо:

$$\frac{U_{dif}}{U_{sum}} = \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (7)$$

На відмінно від функції $\cos$ та $\sin$, функція tg характеризується зростанням чутливості при наближенні до граничних значень діапазону зміни аргумента, Враховуючи (7), рівняння перетворення каналу різниці фаз при використанні запропонованого підходу матиме вигляд:

$$\varphi = 2 \operatorname{arctg}\left(\frac{U_{dif}}{U_{sum}}\right). \quad (7)$$

Принцип роботи засобу вимірювання, що реалізує фазовий безконтактний метод осьового зміщення ротора електричних машин окрім проміжного перетворення осьового зміщення та стабілізації амплітуди інформативного сигналу, знаходить амплітуду векторної суми та векторної різниці між інформативним та опорним сигналами у блоках векторного віднімання та векторного додавання. Після цього отримані сигнали надходять на блок ділення, в результаті чого на його виході формується аналоговий рівень напруги, що пропорційний арктангенсу різниці фаз між інформативним та опорним сигналами. Отримане значення напруги оцифровується та поступає на вхід числового перетворювача, де відбувається остаточний розрахунок миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини у відповідності з рівнянням перетворення запропонованого засобу вимірювання:

$$L = \frac{c \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \operatorname{arctg}\left(\frac{U_{dif}}{U_{sum}}\right)}{360 \cdot f}. \quad (8)$$

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано новий метод вимірювання різниці фаз гармонічних сигналів, який за рахунок відсутності проміжного перетворення різниці фаз у часовий інтервал характеризується підвищеною чутливістю при вимірюванні різниці фаз височастотних сигналів.

2. Запропоновано новий фазовий безконтактний метод вимірювання осьового зміщення ротора електричної машини, який за рахунок використання оптичної інформативної хвилі та використання нового методу вимірювання різниці фаз гармонічних сигналів, що не передбачає проміжного перетворення останньої у часовий інтервал, дозволяє забезпечити високу точність та чутливість вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Качив, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків : підручник / Ю. М. Поплавко. За загальною редакцією ак. НАН України Ю. І. Якименка. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015 – 572 с.

Орлов Назарій Максимович — студент групи МНТ-17б, факультет інфокомунікацій радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mnt17b.orlov@gmail.com

Граняк Валерій Федорович — канд. тех. наук, асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет

Orlov Nazariy M. — Department of Infocommunications Radio Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : mnt17b.orlov@gmail.com

Graniak Valery F. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurement, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

НАПРУГА ЗМІЩЕННЯ НЕЙТРАЛІ БАГАТОФАЗНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ В КООРДИНАТНОМУ ПРОСТОРІ ВІДНОСНИХ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН. МЕТОД ЗІСТАВЛЕНОЇ НЕСИМЕТРІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано новий метод аналізу багатофазних систем електричних кіл на прикладі дослідження властивостей функції напруги зміщення нейтралі в координатному просторі відносних фізичних величин (нульвимірна задача). Дослідження проведено з використанням вихідного теоретичного базису узагальненого електричного кола з урахуванням знедавна виявленого фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії між типовими елементарними ланками динамічних систем – наразі фазами багатофазних систем електричних кіл. Метод названо методом зіставленої несиметрії.

Ключові слова: теоретичні основи електротехніки, багатофазні системи електричних кіл, узагальнене електричне коло, явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, типові елементарні ланки, симетричні та несиметричні стани, багатовимірна сила (гіперсила), напруга зміщення нейтралі, нульвимірна задача, метод зіставленої несиметрії, відносна девіація провідності, питома напруги, трифазні електричні кола, квітка електричної нейтралі

Abstract

The article proposes a new method for analyzing multi-phase electrical circuits – the method of comparable neutral. With its help, a zero-dimensional problem in the field of symmetry of the specified electrical circuits, also formulated for the first time, was solved. The study was conducted using the initial theoretical basis of the generalized electrical circuit, taking into account the physical phenomenon of hypervalence interaction between the typical elementary links of electrical dynamic systems.

Keywords: electrical engineering theory, polyphase system of circuits, generalized electric circuit, phenomenon of hypervalence interaction, typical elementary unit, symmetrical and asymmetrical conditions, multidimensional force (hyperforce), bias voltage of neutral, zero-dimensional space, method of comparable asymmetry, relative deviation of conductance, specific voltage, three-phase electric circuits, bud of electrical neutral

1. Передмова

В роботі, і автором це поставлено за мету, сформулюємо основну концепцію та розробимо і введемо в теоретичну електротехніку (electrical engineering) окремі базисні положення *нового методу*

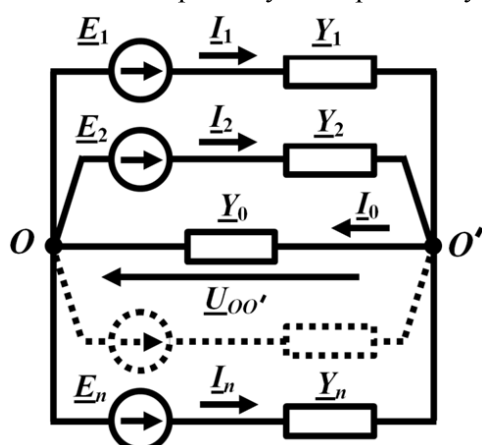


Рис. 1 Досліджуваний клас багатофазних систем електричних кіл

аналізу симетричних та несиметричних режимів роботи *багатофазних систем електричних кіл*. Останні, як відомо, з-поміж електротехнічних систем є чи не найпоширенішими в електроенергетиці, на транспорті та в промисловості [1, 2].

Головне призначення методу, в доповненні з відомими, полягає в удосконаленні загальної *методики* розв'язування першої з двох основних задач електротехніки – задачі аналізу, сформульованої для вищезазначеного класу електричних кіл.

Запропонований метод багатофазних систем електричних кіл назвемо *методом зіставленої несиметрії*.

За об'єкт дослідження оберемо доволі непросту функцію – функцію *напруги зміщення нейтралі*, яка є одним з найважливіших електричних параметрів в багатофазних електричних колах з топологією кондуктивно з'єднаних поміж собою систем джерел електрорушійних сил (е.р.с.) та

навантажень, в обох випадках побудованих за схемами *n*-променевих зірок (рис. 1). В координатному просторі *абсолютних* фізичних величин зазначена функція є функцією багатьох комплексних

змінних, де зазвичай незалежними змінними слугують комплекси діючих значень е.р.с $\underline{E}_v$ джерел електричної енергії в силових колах або інформації в інформаційних та комплексні провідності (та опори) навантажень $\underline{Y}_v = \underline{Z}_v^{-1}$ – споживачів цієї енергії або інформації. $\underline{Y}_0 = \underline{Z}_0^{-1}$ – комплексна провідність (та опір) нульового проводу.

Варто додати, що огляд чисельних літературних джерел, наприклад, [3-10], доводить і засвідчує наукову новизну як запропонованого підходу в розглядуваній області теоретичної електротехніки, так і отриманих на цій основі результатів дослідження.

2. Сутність та значення симетричних режимів багатофазних систем електричних кіл

Відомо [3], що *багатофазною електричною системою* називають сукупність *електричних кіл*, де діє створена зазвичай спільним джерелом електричної енергії система зміщених одна відносно одної за фазою (відтак – і у часі) синусоїдних електрорушійних сил (е.р.с.) однакової частоти з довільними (в загальному випадку) амплітудними значеннями і початковими фазами. У разі рівностей амплітуд всіх е.р.с. та однакового значення фазового кута зміщення між ними визначають *симетричні системи е.р.с.*, а у випадку рівності ще й комплексних провідностей (опорів) складових кожної із фаз – *симетричні багатофазні системи* та відповідно *симетричні режими* їх роботи (стани).

Відтак *несиметричними* системами є багатофазні системи, які з різним ступенем вияву, але в усіх випадках водночас чи поодиночці не задовольняють вищевказаним *двом умовам симетрії*:

- 1) симетрії в системі е.р.с. джерела живлення;
- 2) симетрії в системі навантажень.

Порушення зазначених умов і відтак *перетворення* симетричної системи в несиметричну можливе за різних обставин і з різних причин. Однак незалежно від сутності цих причин, їх походження, прояву та можливих наслідків забезпечення і збереження симетрії як в топологічній структурі, так і в функціонуванні багатофазної системи завжди залишається *безумовною, пріоритетною і винятково важливою* задачею!

Така категоричність в твердженні ґрунтується водночас, з одного боку, на цілісній системі фундаментальних положень теоретичної електротехніки, які доводять незаперечну перевагу симетричного режиму роботи багатофазних систем електричних кіл [1-10], з іншого – на урізноманітненій сукупності практичних знань, отриманих під час експлуатації вже впроваджених у виробничу інфраструктуру багатофазних систем, передусім *трифазних* кіл в електроенергетиці [1-9], а у випадку останніх – ще й на визначеній державою законодавчій основі, де рівень несиметрії, наприклад, трифазної напруги є одним з показників якості електроенергії, що урегульований Національною комісією з питань регулювання електроенергетики України і підлягає контролю з боку її відповідних служб [3].

3. Багатофазні системи електричних кіл як окремий вияв узагальненого електричного кола з урахуванням фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

1. Аналіз еволюційних процесів в багатофазних динамічних системах електричних кіл на сьогодні доцільно здійснювати на основі поняття *узагальненого електричного кола з урахуванням фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії* між його найменшими динамічними структурними одиницями – *типовими елементарними ланками*.

Вказане фізичне явище є дедукцією знедавна виявленого та спорідненого з ним загально-природного явища – *явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії елементів в динамічних системах* довільної природи. На глибоке переконання автора, обидва мають винятково важливе науково-методологічне значення. Вперше оприлюднені в роботах [11-14].

Пріоритет відкриття належить Україні.

Варто пояснити. В науці, на превеликий жаль, ще з часів І. Ньютона і дотепер *бінарність* силової взаємодії поміж структурними складовими в динамічних системах фізичного, технічного або іншого походження залишалася і допоки залишається парадигмою. Навіть більше – догмою!

Автор беззаставно вважає таку концепцію сприйняття фізичного світу хибною і в роботах [11-14] заперечує та спростовує її.

Зокрема доводить, що в динамічних системах із зосередженими параметрами силова взаємодія будь-якої окремо взятої *типової елементарної ланки* з іншими ланками системи є *гіперсиловою* (!), тобто здатна охоплювати *всі* (!) можливі і в загальному випадку *незалежні* (!) комбінаторні сполучення силових взаємодій відповідно до множини чисел

$$\{S_n^2 = C_{n-1}^1; \dots; S_n^m = C_{n-1}^{m-1}; \dots; S_n^n = C_{n-1}^{n-1}\},$$

де кожне з таких чисел

$$S_n^k = C_{n-1}^{k-1} \frac{(n-1)!}{(k-1)!(n-k)!} - \quad (1)$$

визначає кількість можливих комбінаторних сполучень з n по числу k зазначеної типової елементарної ланки з іншими ланками системи, за умови, що число k належить області

$$2 \leq k \leq n, \quad (2)$$

а не тільки $k = 2$!

Останнє обмежує і зводить кількість можливих силових взаємодій лише до числа $S_n^2 = C_{n-1}^{2-1} = n - 1$.

В формулі (1) C_{n-1}^{k-1} – це відомі біноміальні коефіцієнти (бінома І. Ньютона).

На підставі формули (1) неважко знайти загальну кількість можливих гіперсилових взаємодій будь-якої типової елементарної ланки з іншими ланками динамічної системи:

$$S(n) = \sum_{k=2}^n S_n^k = \sum_{k=2}^n C_{n-1}^{k-1} = n - 1. \quad (3)$$

2. Багатофазна система електричних кіл виявляє себе як окремий випадок узагальненого електричного кола, де кожна з фаз цієї системи і є саме тією типовою елементарною ланкою, силова взаємодія якої з іншими такими ж ланками (наразі фазами) здійснюється багатовимірними внутрішніми силами взаємодії, які у вищезазначених роботах [11-14] автором названо гіперсилами.

Оскільки гіперсилам в структурно-топологічному просторі багатофазної динамічної системи притаманний різний порядок вимірності k , який має задовольняти умові (2), а кожна з фаз з-поміж їх загального числа є носієм лише одного ступеня вільності, то для будь-якої багатофазної системи електричних кіл розмірність її структурно-топологічного простору і відтак найвищої за порядком вимірності гіперсили визначається загальним числом фаз багатофазної системи, наразі – числом n .

Для трифазних систем електричних кіл цей порядок дорівнює трьом.

4. До питання термінології

Уточнимо зміст окремих термінів, які в подальшому буде використано в наявній роботі.

Координатним простором називатимемо область визначення функції (наразі комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі) із заданою в ній системою координат (базисом) незалежних змінних, які однозначно визначатимуть положення всіх точок заданої області. Вимірність координатного простору визначатимемо числом та вимірністю незалежних змінних функції. Областю в координатному просторі називатимемо будь-яку підмножину його точок. Вимірністю області координатного простору визначатимемо вимірністю евклідового простору, гомеоморфного з околom будь-якої точки, яка належить даній області, за умови, що така вимірність не перевищує вимірності координатного простору. Нульвимірною областю називатимемо будь-яку точку, що належить координатному простору.

5. Напруга зміщення нейтралі як вияв гіперсилової взаємодії поміж фазами

В досліджуваному нами класові двовузлових багатофазних (n -фазних) систем (див. рис. 1) прикладом вияву гіперсилової взаємодії поміж всіма n фазами є миттєва напруга між зазначеними вузлами

$$u_{O'O} = \varphi_O - \varphi_O = U_{m_{O'O}} \sin(\omega t + \psi_u), \quad (3)$$

яку в трифазних системах ($n = 3$) називають напругою зміщення нейтралі. Надалі цю назву, як і назви обидвох спільних вузлів (нейтралей), поширимо на загальний випадок багатофазних систем.

Наразі неважко переконатися в гіперсиловому характері напруги зміщення нейтралі. Якщо переписати систему структурних рівнянь узагальненого електричного кола, наведену в [11-14], відносно класу розглядуваних нами кіл, дослідивши її,

$$\left(L_v \frac{di_v}{dt} + R_v i_v + \frac{q_v}{C_v} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq v}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq v}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq v}}^n \left[L_{v,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} \frac{d}{dt} (i_v \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + \right. \\ \left. + R_{v,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} (i_v \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + \frac{q_v \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{v,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}}} \right] = e_v, \quad v = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

виявиться, що окрім останньої всі інші багаторазові суми, які в структурних рівняннях в математичній формі є визначенням багатовимірних *інерційних*, *дисипативних* та *потенціальних* гіперсил відповідно, строго дорівнюють нулю, тобто фізично в розглядуваній багатофазній системі електричних кіл відсутні. В наявності є тільки *єдина* багаторазова сума – *напруга зміщення нейтралі* $u_{O'O}$. Відтак система інтегро-диференціальних рівнянь (4) ідентифікує її як n -вимірну гіперсилу. Порядок її вимірності в структурно-топологічному просторі багатофазної системи є *максимальним* і відповідає числу фаз системи. Її наявність свідчить про можливість *одночасної* (!) силовій взаємодії між всіма n фазами багатофазної системи, і у разі такої взаємодії – взаємообміну енергією між цими фазами. Якщо ж напруга зміщення нейтралі дорівнює нулю, зазначена гіперсилова взаємодія відсутня. В симетричних багатофазних системах, як відомо, напруга зсуву нейтралі дорівнює нулю.

6. Комплекс напруги зміщення нейтралі в координатному просторі абсолютних фізичних величин

В комплексній формі рівняння (4) зручно записати у вигляді

$$\underline{Z}_v \underline{I}_v + \underline{U}_{O'O} = \underline{E}_v, \quad v = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

де $\underline{Z}_v = R_v + j \left(\omega L_v - \frac{1}{\omega C_v} \right)$ – комплексний опір навантаження v -ої фази.

В загальному випадку *в системі з нульовим проводом* (див. рис. 1) відповідно до I-го закону Кірхгофа сума комплексів діючих значень струмів

$$\sum_{v=1}^n \underline{I}_v = \underline{I}_0 = \frac{\underline{U}_{O'O}}{\underline{Z}_0}, \quad (6)$$

де $\underline{Z}_0$ – комплексний опір нульового проводу.

Тоді комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі $\underline{U}_{O'O}$ неважко визначити на підставі системи рівнянь (5) та рівняння (6) за формулою

$$\underline{U}_{O'O}(\underline{E}_v, \underline{Y}_v, \underline{Y}_0) = \frac{\sum_{v=1}^n \underline{E}_v \underline{Y}_v}{\underline{Y}_0 + \sum_{v=1}^n \underline{Y}_v}, \quad (7)$$

де комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі $\underline{U}_{O'O} = \frac{U_{m_{O'O}}}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u}$, а комплекси діючих

значень е.р.с. $e_v = E_{m_v} \sin(\omega t + \psi_{e_v})$ – відповідно $\underline{E}_v = \frac{E_{m_v}}{\sqrt{2}} e^{j\psi_{e_v}}$.

Отже, формула (7) визначає напругу зміщення нейтралі як функцію багатьох комплексних змінних $\underline{U}_{O'O}(\underline{E}_v, \underline{Y}_v, \underline{Y}_0)$, ($1 \leq v \leq n$), визначену в координатному просторі абсолютних фізичних величин: комплексів діючих значень е.р.с. $\underline{E}_v$ та комплексних провідностей навантажень $\underline{Y}_v$ і нульового проводу $\underline{Y}_0$ – параметрів елементів комплексної схеми багатофазної системи електричних кіл.

Варто зазначити, що рівняння (7), яке в наявній роботі отримане на підставі дедуктивного сходження від структурних рівнянь узагальненого електричного кола, наведених в роботах [11-14], цілковито співпало з базовою формулою відомого в теоретичній електротехніці *методу двох вузлів*. Відтак не виявило протиріччя між запропонованою теорією і відомою, але засвідчило протилежне.

7. Області симетрії, несиметрії та невизначеності в координатному просторі

В симетричних багатофазних системах електричних кіл (наразі прямої послідовності), відповідно до чинної термінології, мають виконуватися *водночас* обидві умови симетрії: перша (симетрія в системі е.р.с. джерела живлення)

$$\sum_{v=1}^n \underline{E}_v = 0 \quad (8)$$

та друга (симетрія в системі навантажень)

$$\underline{Y}_1 = \dots = \underline{Y}_n. \quad (9)$$

Як наслідок, для таких систем та відповідно їх станів має дорівнювати нулю і сума добутків

$$\sum_{v=1}^n \underline{E}_v \underline{Y}_v = 0, \quad (10)$$

через що у відповідності з (7) нулю дорівнюватиме також і значення напруги зміщення нейтралі:

$$\underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{Y}_v, \underline{Y}_0) = 0. \quad (11)$$

Однак потрібно зауважити, що взаємний зв'язок напруги зміщення нейтралі із симетрією в багатофазних системах електричних кіл *не є бієктивним*, себто не є взаємно однозначним: умови (10) або (11) можуть виконуватися і при порушенні першої (8) та другої (9) умов симетрії, якщо тільки таке порушення відбувається водночас. Це пояснюється тим, що умови (10) або (11), як рівняння, які

складено відносно незалежних змінних $(\underline{E}_v, \underline{Y}_v)$ функції

напруги зміщення нейтралі $\underline{U}_{OO}$ (7), має нескінченно велику кількість розв'язків і утворює в області визначення цієї функції водночас дві області, в одній з яких умови симетрії (8) та (9) виконуються, а в іншій – ні.

Першу з названих областей назовемо *областю симетрії*. Другу – умовно *областю невизначеності*.

Водночас область визначення функції (7), точки якої не є розв'язками рівняння (10) або (11), будемо називати *областю несиметрії*.

Отже характер зазначеної кореляції свідчить про доволі складну неоднорідну структуру багатовимірної області визначення функції комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі $\underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{Y}_v, \underline{Y}_0)$, $(1 \leq v \leq n)$, де між



Рис. 2 Структура координатного простору комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі

областями станів симетрії та несиметрії багатофазних систем електричних кіл розташована область невизначеності, в точках якої ще чинними залишаються співвідношення (10) та (11), однак, на відміну від області симетрії, обидві умови симетрії (8) та (9) в цій області вже порушено (рис. 2).

Неважко довести, що в області невизначеності, попри наявну *несиметрію багатофазних систем е.р.с. і навантажень*, спостерігається *симетрія в системі електричних струмів*, позаяк

$$\sum_{v=1}^n \underline{I}_v = \sum_{v=1}^n (\underline{E}_v - \underline{U}_{OO}) \underline{Y}_v = \sum_{v=1}^n \underline{E}_v \underline{Y}_v = 0. \quad (12)$$

Варто додати, що вимірність області невизначеності *перевищує* вимірність області симетрії, а вимірність останньої, в свою чергу, в розглядуваному координатному просторі *абсолютних* фізичних величин *не є найменшою* з можливих.

8. Нульвимірна задача для області симетрії

1) На підставі отриманих вище результатів сформулюємо задачу, яку назовемо *нульвимірною для області симетрії* багатофазних систем електричних кіл.

Сутність цієї задачі полягає в тому, щоб на множині незалежних змінних, якими є комплексні параметри елементів багатофазної системи або пов'язані з ними параметри, потрібно сформувати такий координатний базис, в якому *вимірність області симетрії багатофазної системи буде дорівнювати нулю*. Ще раз підкреслюю, вимірність області симетрії (!), а не значення функції в цій області.

Що ж до досліджуваної нами функції напруги зміщення нейтралі, то в загальній області її визначення *областю симетрії* в цьому випадку має стати лише *єдина точка*, а не гіперповерхня – одновимірна чи багатовимірна, як це спостерігається на прикладі відомих на сьогодні методів аналізу за безпосереднього застосування формули (7).

На підставі вже отриманих результатів автор вважає, що можливі розв'язки нульвимірної задачі виявляться доволі важливими як в теоретичному, так і прикладному аспектах. В першому випадку з'являється можливість побудови принципово нових аналітичних функцій електричних параметрів багатофазних систем, які дозволять удосконалити методологію розрахунку та аналізу симетричних і несиметричних режимів роботи багатофазних систем. В другому – удосконалити методику експлуатації таких систем як в номінальних, так і передаварійних та аварійних режимах роботи.

2) *Математична інтерпретація* нульвимірної задачі на прикладі функції комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі $\underline{U}_{OO}$ полягає в тому, щоб на множині незалежних змінних цієї функції сформулювати *такий* координатний базис, в якому рівняння (8) та (9) обидвох умов симетрії, як система рівнянь, будуть мати лише *один розв'язок*. Бажано – *тривіальний*.

Як було показано вище, в координатному просторі *абсолютних* фізичних величин, наразі параметрів елементів $(\underline{E}_v, \underline{Y}_v)$ досліджуваних багатофазних систем, зазначена система рівнянь має нескінченну кількість розв'язків, що свідчить про одно- або багатовимірний характер області симетрії.

9. Метод зіставленої несиметрії

Нульвимірну задачу розв'яжемо за допомогою нового методу аналізу багатофазних систем електричних кіл. Метод назвемо *методом зіставленої несиметрії*.

Головна *ідея* і *сутність* цього методу полягає в зіставленому (порівняльному) характері аналізу всіх можливих (наразі несиметричних) станів багатофазної системи електричних кіл з особливим її станом (станом симетрії) на основі відносних відхилень (девіацій) значень параметрів елементів системи від тих значень параметрів, які і забезпечують цей стан (симетрії).

Реалізація зазначеної ідеї є неможливою в координатному просторі *абсолютних* фізичних величин параметрів елементів багатофазної системи – е.р.с. джерел та провідностей навантажень, але стає можливою у разі побудови координатного простору *відносних* фізичних величин, математично пов'язаних з абсолютними.

Останнє потребує введення ряду позасистемних фізичних величин, названих автором *відносними девіаціями* комплексів діючих значень е.р.с. та комплексних провідностей відповідно.

10. Окремі позасистемні фізичні величини методу зіставленої несиметрії

Відносною девіацією $\underline{\delta}_v$ *комплексної провідності* $\underline{Y}_v$ від іншої комплексної провідності $\underline{Y}_m$, назвемо задану над множиною комплексних чисел позасистемну безрозмірну фізичну величину, яку визначимо за загальновідомим законом:

$$\underline{\delta}_v = \frac{\underline{Y}_v - \underline{Y}_m}{\underline{Y}_m} = \frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_m} - 1. \quad (13)$$

Якщо значення обох комплексних провідностей є однаковими $\underline{Y}_v = \underline{Y}_m$, то відносна девіація $\underline{\delta}_v$ комплексної провідності $\underline{Y}_v$ від провідності $\underline{Y}_m$ дорівнює нулю $\underline{\delta}_v = 0$, що є *важливою* властивістю введеної фізичної величини.

За кінцевих значень $\underline{Y}_m$ якщо значення комплексної провідності дорівнює нулю $\underline{Y}_v = 0$, то значення її відносної девіації $\underline{\delta}_v = -1$, якщо ж $|\underline{Y}_v| \rightarrow \infty$, то $|\underline{\delta}_v| = \lim_{|\underline{Y}_v| \rightarrow \infty} \left| \frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_m} - 1 \right| = \infty$.

Відносна девіація комплексної провідності $\underline{Y}_v$ (можливо) може бути представлена і у відсотках:

$$\underline{\delta}_v, \% = \underline{\delta}_v \cdot 100\% = \left(\frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_m} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (14)$$

Таке подання є доволі зручним у разі визначення відносних девіацій провідностей над множиною дійсних чисел, тобто в багатофазних системах з відсутніми реактивними елементами. Водночас варто зазначити, що в загальному випадку у разі комплексного характеру відносних девіацій провідностей, доцільність подання у формі (14) потребує ще додаткового дослідження.

Відносною девіацією $\underline{\rho}_v$ *комплексного опору* $\underline{Z}_v$ від іншого комплексного опору $\underline{Z}_m$, назвемо задану над множиною комплексних чисел позасистемну безрозмірну фізичну величину, яку визначимо за законом:

$$\underline{\rho}_v = \frac{\underline{Z}_v}{\underline{Z}_m} - 1. \quad (15)$$

Математичний зв'язок між відносними девіаціями провідності та опору визначає співвідношення

$$\underline{\delta}_v + \underline{\rho}_v + \underline{\delta}_v \underline{\rho}_v = 0, \quad (16)$$

яке неважко отримати на підставі формул (13) або (15).

11. Комплекс напруги зміщення нейтралі в координатному просторі відносних девіацій комплексних провідностей

Для розглядуваного класу багатофазних систем електричних кіл (див. рис. 1) з симетричною системою е.р.с., для якої виконується перша умова симетрії $\sum_{v=1}^n \underline{E}_v = 0$ (співвідношення (8)), побудуємо функцію діючого значення напруги зміщення нейтралі як функцію багатьох комплексних змінних $\underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{\delta}_v, \underline{\delta}_0)$, ($1 \leq v \leq n$) в координатному просторі абсолютних значень е.р.с. $\underline{E}_v$ та відносних девіацій комплексних провідностей $\underline{\delta}_v$, що є частковим (!) розв'язуванням нульвимірної задачі: $\underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{Y}_v, \underline{Y}_0) \Rightarrow \underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{\delta}_v, \underline{\delta}_0)$.

Зазначимо, що попереднє накладання виконання першої умови симетрії (8) дозволяє усунути область невизначеності, залишивши в області визначення функції лише дві суміжні поміж собою області – симетрії та несиметрії.

За основу візьмемо співвідношення (7) функції напруги зміщення нейтралі і проведемо окремого характеру алгебраїчні перетворення з урахуванням формул (8) та (13):

$$\begin{aligned} \underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{Y}_v, \underline{Y}_0) &= \frac{\sum_{v=1}^n \underline{E}_v \underline{Y}_v}{\underline{Y}_0 + \sum_{v=1}^n \underline{Y}_v} = \\ &= \frac{\sum_{v=1}^n \underline{E}_v \frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_1}}{\frac{\underline{Y}_0}{\underline{Y}_1} + \sum_{v=1}^n \frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_1}} = \frac{\sum_{v=1}^n \left[\underline{E}_v + \underline{E}_v \left(\frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_1} - 1 \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{\underline{Y}_0}{\underline{Y}_1} - 1 \right) \right] + \sum_{v=1}^n \left[1 + \left(\frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_1} - 1 \right) \right]} = \frac{n \underline{E}_v + \sum_{v=2}^n \underline{E}_v \underline{\delta}_v}{n + 1 + \underline{\delta}_0 + \sum_{v=2}^n \underline{\delta}_v} = \underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{\delta}_v, \underline{\delta}_0). \end{aligned} \quad (17)$$

Узявши до уваги формулу (8) (симетрію в системі е.р.с.), для функції комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі в координатному просторі відносних девіацій комплексних провідностей остаточно записуємо

$$\underline{U}_{OO}(\underline{E}_v, \underline{\delta}_v, \underline{\delta}_0) = \frac{\sum_{v=2}^n \underline{E}_v \underline{\delta}_v}{n + 1 + \underline{\delta}_0 + \sum_{v=2}^n \underline{\delta}_v}, \quad (18)$$

де $\underline{\delta}_v = \frac{\underline{Y}_v}{\underline{Y}_1} - 1$ – відносні девіації комплексних провідностей навантажень всіх фаз багатофазної системи від комплексної провідності навантаження 1-ої фази $\underline{Y}_1$.

Оскільки відносна девіація комплексної провідності 1-ої фази дорівнює нулю: $\underline{\delta}_1 = \frac{\underline{Y}_1}{\underline{Y}_1} - 1 = 0$, в формулі (18) відсутніми є всі складові, пов'язані з першою фазою, відносно параметрів елементів якої і визначається девіація параметрів елементів інших фаз. Оскільки добуток $\underline{E}_1 \underline{\delta}_1 = 0$, зазначене стосується і комплексу діючого значення е.р.с. $\underline{E}_1$. Надалі початкову фазу 1-ої е.р.с. вважатимемо такою, що дорівнює нулю $\psi_{e_1} = 0$ ($e_1 = E_{m_1} \sin \omega t$). В цьому випадку комплекс її діючого значення визначаємо виключно над полем дійсних чисел $\underline{E}_1 = E_1$.

Зауважимо, що відповідно до (17) внаслідок перетворення координатного базису функція комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі змін не зазнає і виявляє себе як *інваріант* до запропонованого перетворення.

12. Питома комплексу напруги зміщення нейтралі

1) Запропоноване вище перетворення (17) є частковим розв'язуванням нульвимірної задачі. З метою її повного розв'язування введемо в вихідний базис методу зіставленої несиметрії ще одну і надзвичайно важливу позасистемну фізичну величину, яку назовемо *питомою комплексу напруги зміщення нейтралі*.

Питомою комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі називатимемо безрозмірну фізичну величину як комплексну функцію багатьох змінних, яка визначатиме комплекс зазначеної напруги, приведений до одиниці е.р.с. відлікового джерела багатофазної системи електричних кіл (наразі е.р.с. 1-ої фази):

$$\underline{\Delta}^* = \frac{\underline{U}_{O'O}}{\underline{E}_1} = \frac{\underline{U}_{O'O}}{\underline{E}_1}. \quad (19)$$

Тоді з урахуванням формул (18) та (19) для функції питомої комплексу напруги зміщення нейтралі можна записати

$$\underline{\Delta}^* = \frac{\sum_{v=2}^n \frac{\underline{E}_v}{\underline{E}_1} \underline{\delta}_v}{n+1+\underline{\delta}_0 + \sum_{v=2}^n \underline{\delta}_v}. \quad (20)$$

2) Скористаємося відомим в теорії багатофазних систем електричних кіл поняттям *оператору повороту*, який задають як *постійну* (!), що визначена над полем комплексних чисел за законом

$$a = e^{j \cdot \frac{2\pi}{n}}, \text{ де } n - \text{число фаз.}$$

Тоді комплекс діючого значення довільної v -ої е.р.с., що входить до складу *симетричної* системи е.р.с. (*прямой послідовності*), можна виразити через комплекс 1-ої е.р.с. $\underline{E}_1$ за формулою

$$\underline{E}_v = a^{1-v} \underline{E}_1. \quad (21)$$

Перепишемо (20) з урахуванням (21).

В результаті отримуємо функцію багатьох комплексних змінних, визначену в координатному просторі виключно *відносних* фізичних величин – *відносних девіацій комплексних провідностей*

$$\underline{\Delta}^*(\underline{\delta}_v, \underline{\delta}_0) = \frac{\sum_{v=2}^n a^{1-v} \underline{\delta}_v}{n+1+\underline{\delta}_0 + \sum_{v=2}^n \underline{\delta}_v}. \quad (22)$$

Отримана функція і є питомою комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі.

Вимірність області симетрії в координатному просторі цієї функції, тобто в просторі відносних девіацій комплексних провідностей, *дорівнює нулю*.

Довести зазначене неважко. У разі симетрії в системі е.р.с., що є передумовою (8), та виконанням другої умови симетрії (9), коли чинною стає рівність $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \dots = \underline{Y}_n$, значення відносних девіацій комплексних провідностей всіх фаз, відповідно до (13), водночас стають рівними нулю

$$\underline{\delta}_1 = \underline{\delta}_2 = \dots = \underline{\delta}_n = 0. \quad (23)$$

Відтак поза межами області симетрії рівність (23) (за чинності передумови (8)) порушуватиметься.

Зазначене означає, що *всі точки проекції області симетрії* на гіперплощину комплексних провідностей всіх фаз в координатному просторі абсолютних фізичних величин внаслідок запропонованих автором перетворень (17) та (19) відображаються в *єдину точку*, координатами якої в координатному просторі відносних фізичних величин буде точка початку системи координат!

13. Питома напруги зміщення нейтралі трифазної системи електричних кіл.

Квітка електричної нейтралі

З метою апробації отриманих розв'язків нульвимірної задачі, розв'язаної за методом зіставленої несиметрії, розглянемо один з найважливіших підкласів досліджуваних багатофазних систем – *клас трифазних електричних кіл*.

1) В координатному просторі *абсолютних* фізичних величин, себто комплексів діючих значень е.р.с. та комплексних провідностей, комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі в трифазних колах сьогодні зазвичай розраховують за формулою

$$\underline{U}_{O'O} = \frac{\underline{E}_a \underline{Y}_a + \underline{E}_b \underline{Y}_b + \underline{E}_c \underline{Y}_c}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

яка є окремим випадком наведеної вище формули (7) за умови $n = 3$.

Тоді у відповідності з (19) та (21) за вказаної умови в зазначеному координатному просторі питома цієї напруги буде дорівнювати

$$\underline{\Delta}^* = \frac{\underline{Y}_a + a^2 \underline{Y}_b + a \underline{Y}_c}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}$$

і матиме *одно- або багатовимірну область симетрії*.

На рис. 3 для прикладу наведено три групи графічно побудованих поверхонь модуля $|\underline{\Delta}^*|$ питомої напруги зміщення нейтралі $\underline{\Delta}^*(\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c, \underline{Y}_0)$ для розглядуваних класів трифазних кіл за відсутності в цих колах реактивних елементів, коли комплексні провідності навантажень визначені лише над полем дійсних чисел. Область симетрії в цьому випадку буде *одновимірною*, точки якої лежать *на прямій*. На рисунку штриховою лінією показано проекцію цієї області симетрії на гіперплощину $(\underline{Y}_b, \underline{Y}_c)$, в системі координат якої і будувалися графіки за *трьох* фіксованих значень провідності $\underline{Y}_a$ фази А та *трьох* фіксованих значень провідності нульового проводу $\underline{Y}_0$. Перші три (позначені) поверхні відповідають випадку відсутнього в системі нульового проводу: $\underline{Y}_0 = 0$ (див. рис. 1).

І на додаток. За наявної схожості наведених регулярних груп графічних структур (наразі трьох і водночас) кожен з груп умовно названо *квіткою електричної нейтралі*. На назві автор не наполягає.

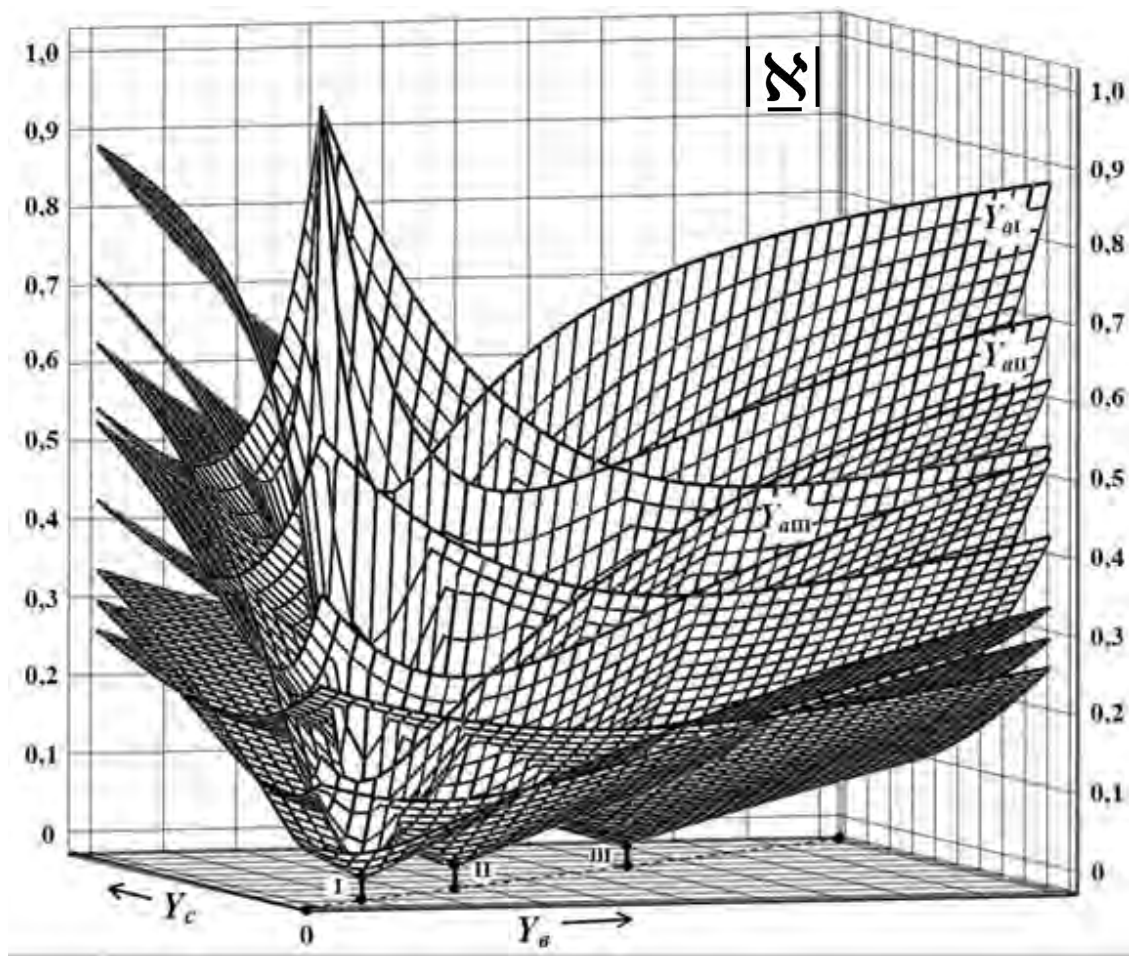


Рис. 3 Букет з квіток електричної нейтралі в координатному просторі абсолютних фізичних величин

2) В координатному ж просторі *частково відносних* фізичних величин (абсолютних комплексів діючих значень е.р.с. та відносних девіацій їх комплексних провідностей двох (!) фаз) формула для комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі трифазних кіл є окремим випадком формули (18) за тієї ж умови $n = 3$

$$\underline{U}_{OO} = \frac{\underline{E}_b \underline{\delta}_b + \underline{E}_c \underline{\delta}_c}{4 + \underline{\delta}_0 + \underline{\delta}_b + \underline{\delta}_c}.$$

3) В координатному просторі *відносних* фізичних величин, тобто девіацій комплексних провідностей двох фаз, питому комплексну діючого значення напруги зміщення нейтралі для трифазних кіл необхідно розраховувати за формулою, яка є окремим випадком формули (22) за накладеної для таких кіл умови $n = 3$:

$$\underline{\mathcal{N}} = \frac{a^{-1} \underline{\delta}_b + a^{-2} \underline{\delta}_c}{4 + \underline{\delta}_0 + \underline{\delta}_b + \underline{\delta}_c} = \frac{a^2 \underline{\delta}_b + a \underline{\delta}_c}{4 + \underline{\delta}_0 + \underline{\delta}_b + \underline{\delta}_c}. \quad (24)$$

Таким чином, область симетрії функції $\underline{\mathcal{N}}(\underline{\delta}_b, \underline{\delta}_c, \underline{\delta}_0)$ є *нульвимірною*, тобто *точкою*, а місцем розташування цієї точки слугує *початок системи координат* (рис. 4).

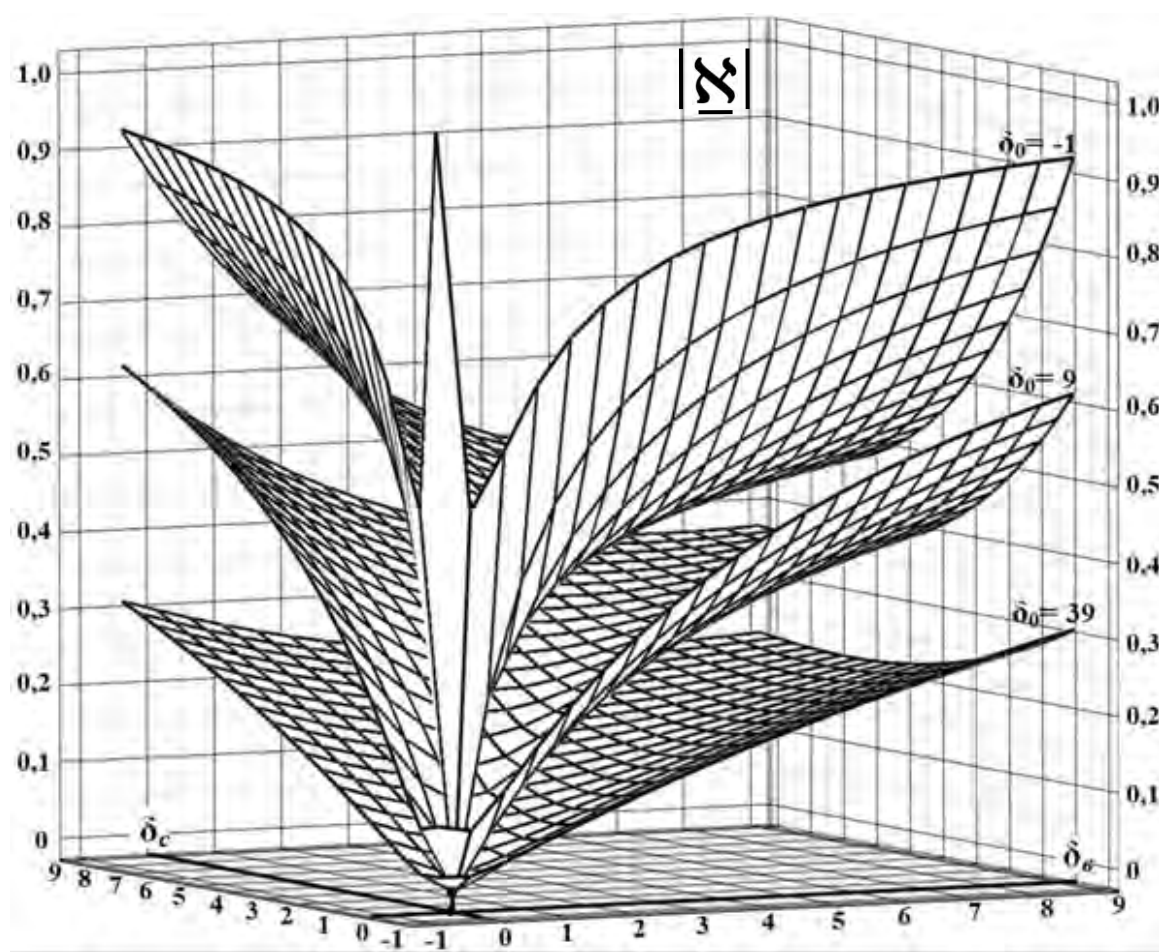


Рис. 4 Квітка електричної нейтралі в координатному просторі *відносних* фізичних величин

4) За *відсутності проводу нейтралі* в трифазному колі комплексна провідність $\underline{Y}_0 = 0$ (див. рис. 1), тому відповідно до формули (13) її відносна девіація $\underline{\delta}_0 = -1$. Тоді на підставі формули (24)

$$\underline{\mathcal{N}} = \frac{a^2 \underline{\delta}_b + a \underline{\delta}_c}{3 + \underline{\delta}_b + \underline{\delta}_c}.$$

Висновки

В роботі запропоновано новий метод аналізу багатофазних систем електричних кіл, який названо методом зіставленої несиметрії. Дієвість та ефективність методу доведена на прикладі успішного розв'язування нульвимірної задачі для області симетрії розглядуваного класу кіл. Постановку задачі і знаходження її розв'язків також проведено вперше. В основу дослідження покладено вихідний теоретичний базис теорії узагальненого електричного кола з урахуванням знедавна виявленого фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії між типовими елементарними ланками динамічних систем – наразі фазами багатофазних систем електричних кіл. Автор вважає, що як сам метод зіставленої несиметрії, так і наведені та можливі розв'язки нульвимірної задачі мають важливе значення в теоретичному і прикладному аспектах. В першому випадку з'являється можливість побудови принципово нових аналітичних функцій електричних параметрів багатофазних систем, які дозволять удосконалити методологію розрахунку та аналізу симетричних і несиметричних режимів роботи багатофазних систем, в другому – удосконалити методику експлуатації таких систем в номінальному, передаварійних та аварійних режимах роботи, що частково і продемонстровано в наявній роботі отриманими результатами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електричні апарати / В. О. Бржезицький, В. Ц. Зелінський, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. — 602 с.
2. Електроніка і мікросхемотехніка. Силова електроніка. Том 4. Кн. 1. Кн. 2 / В. І. Сенько, М. В. Панасенко, Є. В. Сенько, М. М. Юрченко та ін. — Київ: «Каравела», 2013 р. — 640 с.
3. Теоретичні основи електротехнік: У 3 т. / В. С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб та ін. — К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2004. — Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. — 272 с.
4. Перхач В. С. Теоретична електротехніка / В. С. Перхач. — К.: Вища школа, 1992. — 439 с.
5. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. — 456 с.
6. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацив, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 326 с.
7. Fleckenstein J. E. Three-Phase Electrical Power / J. E. Fleckenstein, CRC Press, 2017. — 413 p.
8. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 392 с.
9. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Том 1. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003. — 463 с.
10. Теоретичні основи електротехніки. Методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл в прикладах та задачах / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. — 262 с.
11. Ведміцький Ю. Г. Тектологія динамічних систем і явище гіперсилової взаємодії в структурних рівняннях узагальненого електричного кола / Ю. Г. Ведміцький // Наукові праці ВНТУ. — 2018. — №2. — С. 1-11. — Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/547/532>.
12. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький. — №2(58). — 2017. — С. 29-36.
13. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.
14. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналоги неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2010. — Випуск 2. — С. 63-69.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, wjg@ukr.net

Yurii G. Vedmitskyi — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, wjg@ukr.net

Представлення синусоїдних струмів в комплексній формі і їх обрахунки

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В даній доповіді розглядається способи задання синусоїдного струму через комплексні функції і способи обрахунку цього струму за допомогою закону Кірхгофа

Ключові слова: комплексна функція, закони Кірхгофа, синусоїдальний струм, напрямлений вектор

Abstract. In this report the methods of setting the sinusoidal current through complex functions and methods of calculating this current using Kirchhoff's law

Keywords: complex function, Kirchhoff's law, sinusoidal current, directional vector.

Як вже відомо комплексне число можна записати в 3 формах, а саме:

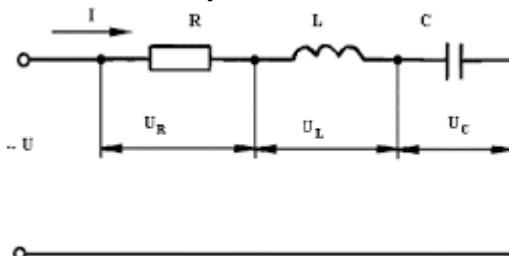
- Алгебраїчне $\underline{A} = A_1 + jA_2$
- Тригонометричне $\underline{A} = A \cos \alpha + jA \sin \alpha$
- Показникове $\underline{A} = Ae^{j\alpha}$ де $j = \sqrt{-1}$

З геометричної точки зору комплексне число, це напрямлений вектор під кутом до осі ОХ яка в свою чергу виступає реальною віссю, а вісь ОУ уявною віссю

Задамо комплексний вектор $\underline{A}_m$. Якщо цей вектор заставити обертатись в додатному напрямі, тобто проти годинникової стрілки, з деякою швидкістю ω , то в показниковій формі запису це буде виглядати наступним чином: $\underline{A}_m = Ae^{j(\omega t + \alpha)} = \underline{A}e^{j\omega t}$, де $\underline{A} = Ae^{j\alpha}$. Тобто, в часі цей вектор буде описувати синусоїд

За умовою в нас є струм: $i = I_m \sin(\omega t + \alpha)$. Якщо взяти заданий нами вектор $\underline{A}_m$ та розписати його в тригонометричній формі то в нас вийде $\underline{A}_m = A \cos(\omega t + \alpha) + jA \sin(\omega t + \alpha)$. З чого робив висновок, що для задання синусоїдальних струмів нам потрібна тільки уявна частина комплексного числа. А саме $I_m(\underline{A}_m) = I_m(Ae^{j(\omega t + \alpha)})$

Задамося якимось колом яке складається з резистора R, індуктивності L і ємності C як показано на малюнку



Будемо вважати, що нам задані параметри кола, тобто R, L, C та струм i , а потрібно знайти напругу u , причому: що напруга, що струм задані синусоїдними функціями

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \beta)$$

З відомих нам формул:

$$\blacksquare u_R = Ri$$

- $u_L = L \frac{di}{dt}$
- $u_C = \frac{1}{C} \int i dt$

За другим законом Кірхгофа в нас вийде:

$$\begin{aligned} u_R + u_L + u_C &= u \quad (1) \\ u_R &= Ri = RI_m \sin(\omega t + \alpha) \\ u_L &= L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin(\omega t + \alpha))}{dt} = \omega LI_m \cos(\omega t + \alpha) = \omega LI_m \sin(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}) \\ u_C &= \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int (I_m \sin(\omega t + \alpha)) dt = -\frac{I_m}{\omega C} \cos(\omega t + \alpha) \\ &= \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2}) \end{aligned}$$

З даних формул видно, що напруга на резисторі співпадає по фазі з струмом. Напруга на індуктивності випереджає струм по фазі на кут $\frac{\pi}{2}$, а напруга на ємності відстає від струму по фазі на кут $\frac{\pi}{2}$.

Як було сказано раніше ми можемо задати синусоїд через комплексну функцію що ми і робим для останніх рівностей. Звідси:

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin(\omega t + \alpha) = I_m e^{j(\omega t + \alpha)} = I_m e^{j\omega t} e^{j\alpha} \\ u &= U_m \sin(\omega t + \beta) = U_m e^{j(\omega t + \beta)} = U_m e^{j\omega t} e^{j\beta} \\ u_R &= RI_m \sin(\omega t + \alpha) = RI_m e^{j(\omega t + \alpha)} = RI_m e^{j\omega t} e^{j\alpha} \\ u_L &= \omega LI_m \sin(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}) = \omega LI_m e^{j(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2})} = \omega LI_m e^{j\omega t} e^{j\alpha} e^{j\frac{\pi}{2}} \\ &= j\omega LI_m e^{j\omega t} e^{j\alpha} \\ u_C &= \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2}) = \frac{I_m}{\omega C} e^{j(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2})} = \frac{I_m}{\omega C} e^{j\omega t} e^{j\alpha} e^{-j\frac{\pi}{2}} = -\frac{I_m}{\omega C} e^{j\omega t} e^{j\alpha} \\ &= \frac{I_m}{j\omega C} e^{j\omega t} e^{j\alpha} \end{aligned}$$

Оскільки: $e^{j\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{\pi}{2} + j \sin \frac{\pi}{2} = j$ $e^{-j\frac{\pi}{2}} = \cos(-\frac{\pi}{2}) + j \sin(-\frac{\pi}{2}) = -j = \frac{1}{j}$

З рівності (1) слідує:

$$RI_m e^{j\omega t} e^{j\alpha} + j\omega LI_m e^{j\omega t} e^{j\alpha} + \frac{I_m}{j\omega C} e^{j\omega t} e^{j\alpha} = U_m e^{j\omega t} e^{j\beta}$$

Як бачимо ми можемо поскорочувати рівність на $e^{j\omega t}$ та в лівій частині винести за дужки $I_m e^{j\alpha}$

$$\begin{aligned} I_m e^{j\alpha} (R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}) &= U_m e^{j\beta} \\ I_m e^{j\alpha} (R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})) &= U_m e^{j\beta} \end{aligned}$$

Величина $X_L = \omega L$ називають реактивним опором котушки, а величину $X_C = \frac{1}{\omega C}$ називають реактивним опором конденсатора. Відповідно повний реактивний опір буде $X = X_L - X_C$ тому що їхні напруги відстають по фазі з струмом на кут π .

Позначимо $Z = R + jX$ комплексний опір.

$$I_m e^{j\alpha} Z = U_m e^{j\beta} \quad \text{або} \quad I_m Z = U_m$$

Тобто ми отримали закон Ома в комплексній формі

Виразимо потужність в комплексній формі. Для цього обидві частини рівняння $Z = R + jX$ помножимо на I^2

$$I^2 Z = I^2 R + jI^2 X$$

Де $P = I^2 R$ – активна потужність, а $Q = I^2 X$ – реактивна потужність

Назвемо величину $I^2 Z$ комплексною потужністю і позначимо її як $\bar{S}$

Відповідно:

$$\bar{S} = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} e^{j\varphi} = S e^{j\varphi} \quad \text{де } \varphi = \beta - \alpha$$

Список використаною літератури

Ю.О.Карпов, Т.С.Магас, В.Г.Мадьяров Конспект лекцій з курсу «теоретичні основи електротехніки» частина 1. Вінниця ВПІ 1992 С. 42-47

Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов Основы теории цепей 5-е издание Москва ЕНЕРГОАТОМИЗДАТ 1989. С 65-84

Г. И. Атебеков Теоретические основы электротехники 5-е издание Москва «ЭНЕРГИЯ» 1978 с 76-91

Остапюк Юрій Михайлович , 1ЕМ-18б, ФЕЕЕМ вінницький технічний університет м. Вінниця

Ільчій Олександр Васильович , 1ЕЕ-18б ФЕЕЕМ вінницький технічний університет м. Вінниця

Науковий керівник **Мадьяров В'ячеслав Губейович** к.т.н., доцент , доцент кафедри ТОС

Ostapjuk Yuri Mikhailovich student of 1ЕМ-18b group , vinnytsia national technical university

Ilchey Oleksandr Vasilyevich student of 1ЕЕ-18b group , vinnytsia national technical university

Supervisor: **Madyarov Vyacheslav Gubeiovich** candidate of Techical Sciences Associate Professor, Associate Professor of department of theoretical foundations of electrical engineering Vinnytsia National Technical University

ПІДСУМКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ САК ПРИВОДОМ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Підведено підсумки експериментальних досліджень використання розробленої системи автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата в умовах виробництва. Проведено порівняльний аналіз доцільності використання запровадженої системи та вплив її на параметри надійності та ефективності роботи.

Ключові слова: похилий дифузійний апарат, електричний привод, надійність.

Abstract

The results of experimental researches of the using of the developed automated control system of an inclined diffusion apparatus drive in production conditions and a comparative analysis of the feasibility of using the introduced system and its influence on the reliability and efficiency parameters are represented in this article.

Keywords: inclined diffusion apparatus, electric drive, reliability.

Вступ

В цукровій промисловості знайшли широке застосування дифузійні апарати похилого типу, які використовуються для екстракції соку з бурякової стружки і є однією з основних ланок безперервного виробництва [1]. Похилий дифузійний апарат (ПДА) являє собою транспортуючі шнековали, охопленні коритоподібним корпусом. Бурякова стружка з бурякорізок завантажується в ПДА у його нижній частині та переміщуються вгору шнековалами. У верхній частині відбувається вивантаження позбавленої цукру стружки за допомогою черпального колеса.

Тривалі дослідження динамічних властивостей двохдвигунового приводу похилого дифузійного апарата (ПДА), що використовується в цукровому виробництві, проведені у [2, 3], виявили гостру необхідність синтезу систем автоматизованого керування, виконану на основі мікропроцесорної техніки. Це пов'язано з тим, що існуючі системи керування не можуть задовольнити вимог щодо бажаних динамічних властивостей у певних режимах роботи, оскільки у них відсутні засоби контролю важливих параметрів приводу. Зокрема, мова йде про механічні параметри приводу, серед яких одним із найінформативнішим є відносний кут повороту валів двигунів.

Розроблена на попередніх етапах досліджень система автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата вимагає апробації її в умовах виробництва для здійснення перевірки її працездатності та позитивного впливу на динамічні властивості та показники надійності роботи електротехнічного комплексу в цілому.

Метою роботи є узагальнення експериментальних досліджень проведених в умовах виробництва на реально діючому обладнанні та визначення доцільності впровадження розробленої системи.

Результати дослідження

Впровадження та монтаж розроблених систем, а також експериментальні дослідження, підсумки яких запропоновані в роботі, були проведені на трьох ПДА марки ДС – 12, якими обладнано підприємства ТОВ ПК «Зоря Поділля», м. Гайсин, Вінницька обл. та ТОВ «Новомиргородський

цукор», с. Капітанівка, Кіровоградська обл. протягом 2018 маркетингового року. Дифузійні апарати на цих підприємствах приводяться в рух системами приводу постійного струму. В табл. 1 подані деякі технічні характеристики обладнання, яке досліджувалось.

Табл. 1 Технічні характеристики ПДА

№	Параметр	ТОВ ПК «Зоря Поділля»	ТОВ «Ново-миргородський цукор»
1.	Марка ПДА	ДС-12	ДС-12
2.	Кількість ПДА на підприємстві	2	1
3.	Паспортна продуктивність, т/добу	2400	2400
4.	Планова продуктивність, т/добу	4000	3500
5.	Потужність встановлених двигунів приводу, кВт	80	120
6.	Наявність частотного приводу черпального колеса	так	так
7.	Тип перетворювача основного приводу	ТП4-500	Модернізований ТП4-320

Дослідження, що проводились на підприємствах були здійснено приблизно за один і той же період на трьох приводах ПДА з різними системами керування та вимірювання та захистів, що зумовлено, в першу чергу суб'єктивними причинами економічного походження. На ПДА в ТОВ «Новомиргородський цукор» та ДА №2 ТОВ ПК «Зоря Поділля» було встановлено систему автоматизованого керування, однак у другому випадку її було встановлено повністю разом з системою керування допоміжним приводом черпального колеса, а в першому – обмежились вимірювання та захистом. На ДА №1 ТОВ ПК «Зоря Поділля» діяла стара система автоматизованого керування без вимірювання механічних параметрів приводу.

До таблиці 2 зведені основні результати статистичних даних, отриманих в ході дослідження із системи SCADA, призначеної для управління технологічним процесом, з якою система автоматизованого керування має мережевий зв'язок.

Табл. 2 Зведені результати експериментальних досліджень

	Параметр	Не встановлено	Встановлено розроблену систему автоматизованого керування	Встановлено систему вимірювання та захисту	Од.
1.	Місце встановлення	Гайсин ДА 1	Гайсин ДА 2	Капітанівка	
2.	Період експериментальних досліджень	15.10.2018 – 28.10.2018		22.10 – 31.10.2018	
3.	Загальний час спостережень	336,00	336,00	240,00	год.
4.	Загальна кількість зупинок	73,00	56,00	53,00	
5.	з них по причині відмови обладнання	48,00	29,00	26,00	
6.	Середня кількість зупинок за зміну	2,61	2,00	2,65	
7.	Середня кількість відмов за зміну	1,71	1,04	1,30	
8.	Загальний час роботи	292,00	307,00	219,00	год.
9.	Загальний час простою	44,00	29,00	21,00	год.
10.	З нього по причині відмов	27,00	13,00	11,00	год.
11.	Коефіцієнт готовності	0,92	0,96	0,95	
12.	Коефіцієнт простою з причин відмов	0,08	0,04	0,05	

13.	Середній час роботи після запуску ПДА	4,00	5,48	4,13	год.
14.	Середній час безвідмовної роботи	6,44	11,14	8,81	год.
15.	Середній час простоїв	0,60	0,52	0,40	год.
16.	Середній час відновлення	0,56	0,45	0,42	год.
17.	Кількість зупинок тривалістю більше 1 год.	13	5	6	
18.	Середня продуктивність за добу	3470,00	3960,00	3510,00	т.
19.	По відношенню до планового показника	86,75	99,00	100,29	%

Як видно з отриманих у таблиці даних системи обладнанні засобами вимірювання механічних параметрів приводу ПДА демонструють кращі показники майже за всіма параметрами. Особливо це видно при порівнянні роботи дифузійних апаратів ТОВ ПК «Зоря Поділля», оскільки тут виключаються усі суб'єктивні фактори, адже вони керувалися тим самим персоналом та використовували однакову сировину, що виключає похибки пов'язані з різною якістю сировини.

Робота ДА №2, на якому була встановлена розроблена система автоматизованого керування з вимірюванням механічних параметрів та автоматичним регулюванням швидкості обертання черпального колеса за відносним кутом закручування валу двигуна продемонструвала найкращі показники надійності: час роботи найвищий, а час простоїв найнижчий, коефіцієнт готовності вищий на 0,04, а коефіцієнт простою, пов'язаний з відмовою ланок системи приводу менший у двічі, ніж у ДА №1.

Крім того, варто зазначити також, за економічною ефективністю також найкращі показники продемонструвала система, встановлена на ДА №2: 99% планової продуктивності проти 86,75% у ДА №1.

Висновки

В роботі проведено експериментальні дослідження розробленої системи автоматизованого керування приводом, яка оснащена засобами вимірювання механічних параметрів на двох ПДА. Здійснено порівняльний аналіз показників надійності та ефективності роботи. Найкращі показники вдалося отримати при використанні системи з автоматичним регулюванням допоміжним приводом черпального колеса за механічними параметрами, що пов'язано в першу чергу з тим, що така система володіє найкращими динамічними властивостями, що було показано в теоретичних дослідженнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1985. – 520 с.
2. Кухарчук В. Дослідження динамічних режимів роботи системи приводу похилого дифузійного апарата методом імітаційного моделювання / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2013. - №4. – С. 7 – 12.
3. Кухарчук В. Динамічні властивості системи привода похилого дифузійного апарата / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2013. – №2. – С. 86 – 93.
4. Коваль А. Система автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата / А. М. Коваль, В. С. Голодюк // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2017». – Київ: 2017. – С.3.62 – 3.65

Андрій Миколайович Коваль – асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний університет, м. Вінниця

Andriy M. Koval— Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

СИНХРОНІЗАЦІЯ ТА КЕРУВАННЯ ГЕНЕРОВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ ІНВЕРТОРІВ ФЕС ЗА ДОПОМОГОЮ ФАПЧ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПАРКА

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто метод синхронізації інверторів фотоелектричних станцій з мережею за допомогою фазового автопідлаштування частоти. А також спосіб керування генерованою потужністю за допомогою переходу з трифазної в альтернативну систему координат.

Ключові слова: інвертор, ФЕС, система координат, ФАПЧ, перетворення Парка.

Abstract

The synchronization method of photovoltaic inverters using a phase locked loop and managing of the generated power using the transformation of the three-phase coordinate system to an alternative coordinate system was represented in this article.

Keywords: inverter, photovoltaic, coordinate system, PLL, Park transformation.

Вступ

Одним із висновків, отриманих в результаті спостережень, щодо розвитку розподілених енергетичних системах протягом останніх кількох років, є те, що електричні мережі недалекого майбутнього будуть в значній мірі засновані на нових розробках енергетичної електроніки. Деякі з яких вже використовуються в інших галузях промисловості протягом десятиліть[1]. Це означає, що підключені до електромережі перетворювачі енергії, що застосовуються в системах розподіленої генерації електроенергії, повинні бути ретельно розроблені та максимально керовані для досягнення, навіть кращої, продуктивності, ніж звичайні електростанції, які вони частково прагнуть замінити.

Одними з найважливіших аспектів, які необхідно враховувати при керуванні перетворювачами енергії, підключеними до електричних мереж, є належна синхронізація з трифазними напругами промислової мережі, а також керування їх роботою.

Побудова систем керування мережевими інверторами значною мірою відрізняється від систем керування автономних інверторів. Це пов'язано з тим що на відміну від останніх мережеві інвертори мають генерувати на виході не просто модульовану за допомогою ШІМ синусоїдну напругу, а й сформувати її таким чином, щоб забезпечити генерацію потужності в мережу відповідно до заявлених оператором показників.

В даній роботі розглянуто математичний метод, що дозволяє спростити розробку системи автоматичного керування а також оптимізувати обчислювальні ресурси контролера керування силовим перетворювачем.

Результати дослідження

Синхронізація з мережею трифазних перетворювачів - це не просто питання множення на три системи синхронізації, що використовується в однофазних інверторах, оскільки фази трифазної системи не працюють автономно, а роблять це скоординовано, зберігаючи кут фазового зсуву і порядок чергування фаз. Тому трифазну напругу слід розуміти як вектор, що складається з трьох

компонентів напруги (рис. 1), що забезпечує можливість генерування та споживання потужності в трифазній системі.

Модуль і швидкість обертання трифазного вектора напруги мережі залишаються постійними, коли в трьох фазах системи синусоїдальні напруги з рівною амплітудою, частотою і відносною фазою.

Дане представлення напруги дозволяє легко оперувати нею за допомогою сучасних цифрових сигнальних процесорів, що використовуються в блоках керування мережевими перетворювачами. За їх допомогою проводиться і синхронізація генерованих перетворювачами напруг з мережею, при включенні їх на паралельну роботу.

Процес синхронізації в переважній більшості базується на використанні програмного фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ). ФАПЧ — це система автоматичного регулювання, що коригує частоту генератора так, щоб вона дорівнювала частоті опорного сигналу. Регулювання відбувається завдяки негативному зворотному зв'язку. Вихідний сигнал керованого генератора порівнюється на фазовому детекторі з опорним сигналом, результат порівняння використовується для керування частотою генератора [2].

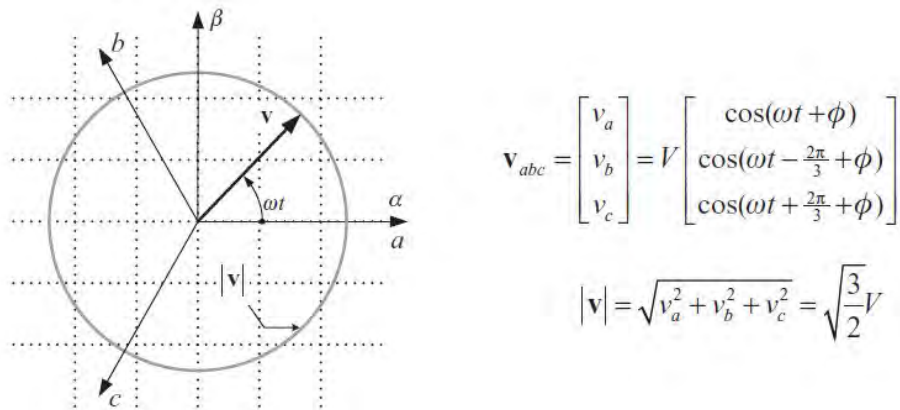


Рисунок 1. Представлення напруги трифазної мережі одним вектором

На сьогодні основним методом синхронізації мережеских інверторів є програмне ФАПЧ, реалізоване за допомогою цифрового керування [3] та математичного апарату, зокрема перетворення Парка (Park Transform) — це перетворення координат призначене для перетворення струмів з двофазної нерухомої системи координат у обертову систему координат орієнтовану по вектору, аналогічному вектору потокозчеплення ротора в електричних машинах, де змінні перетворюються до системи постійного струму. Застосовно до трифазних систем змінного струму, в техніці дане перетворення носить назву ABC-DQ0 Transformation.

$$\begin{pmatrix} U_d \\ U_q \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{pmatrix} \sin(\Theta) & \sin\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\Theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(\Theta) & \cos\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\Theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix}$$

де U_a, U_b, U_c - миттєві значення фазних напруг мережі, U_d, U_q - проекції просторового вектора на d та q осі відповідно а Θ - кут між вектором U_d і вектором U_a напруги мережі.

На рис. 2 проілюстровано описане перетворення.

Представлення трифазної системи у вигляді двох постійних величин дозволяє легко, не затрачаючи великої кількості обчислювальних ресурсів керувати амплітудою та частотою кожного з векторів окремих фаз трифазної системи.

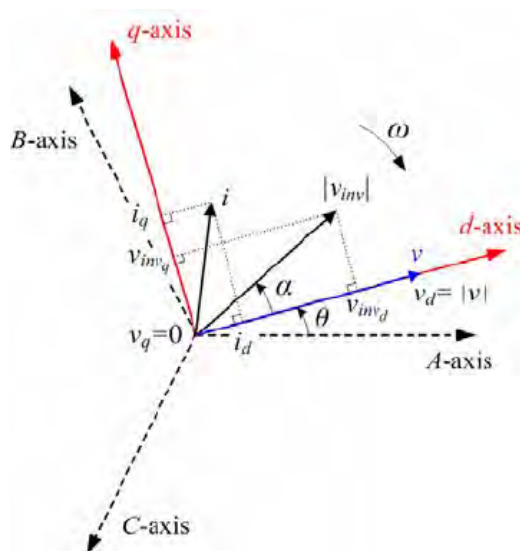


Рисунок 2. Перетворення системи координат

В свою чергу, можливість окремого регулювання d- та q-складовими вектора вихідного струму (до якого застосовується аналогічне ABC-DQ0 перетворення) дозволяє легко керувати генерованою активною та реактивною потужностями відповідно. Зазвичай до структури системи автоматичного керування мережевим перетворювачем входять один або кілька пропорційно - інтегруючих регуляторів, для регулювання компонент, зазначених вище, відповідно до завдання, поставленому системі автоматичного регулювання (рис. 3).

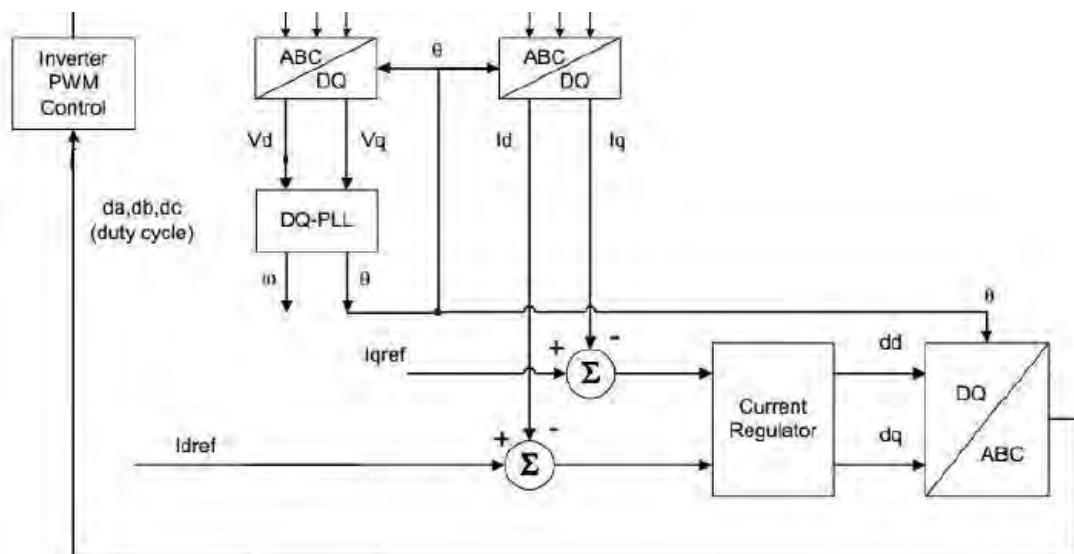


Рисунок 3. Система автоматичного керування мережевим інвертором

Після процесу регулювання здійснюється зворотнє перетворення (DQ0-ABC) та формується завдання на ШІМ-контроллер перетворювача. Таким чином досягається можливість ефективного та коректного управління, по суті, будь яким мережевим перетворювачем.

Висновки

В роботі розглянуто використання перетворення Парка при розробці систем керування мережевими інверторами.

Практичні дослідження, проведені на інверторах, системи керування яких побудовані за допомогою вказаного математичного апарата, підтверджують високу точність та ефективність

управління, не витрачаючи при цьому великої кількості обчислювальних ресурсів мікроконтролера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kazmierkowski, M., Krishnan, R. and Blaabjerg, F., Control in Power Electronics – Selected Problems, Academic Press, 2002.
2. ФАПЧ. Режим доступу — https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазове_автопідлаштування_частоти.
3. Manish Bhardwaj. Software Phase Locked Loop Design Using C2000™ Microcontrollers for Three Phase Grid Connected Applications. - Application report. Texas Instruments. November 2013
4. Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., Flexible Control of Small Wind Turbines with Grid Failure Detection Operating in Stand-alone and Grid-Connected Mode. IEEE Transactions on Power Electronics, 19, September 2004, 1323–1332.
5. Kaura, V. and Blasco, V., Operation of a Phase Locked Loop System under Distorted Utility Conditions. IEEE Transactions on Industry Applications, 33, January/February 1997, 58–63.

Голодюк Володимир Сергійович — студент групи ЕСМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vgolodyk@gmail.com

Коваль Андрій Миколайович — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.ua

Holodiuk Volodymyr S. — Department of electrical engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : vgolodyk@gmail.com

Koval Andriy M. — Department of electrical engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : koval.a.m@vntu.edu.ua

НЕРУЙНІВНИЙ МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ОДНОВИМІРНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі на прикладі довгої лінії запропоновано та аналітично обґрунтовано неруйнівний метод локалізації місцезнаходження короткого замикання в одновимірних системах електричних кіл з розподіленими параметрами. В основу метода покладено лінійне перетворення координати короткого замикання в аварійній системі у її вхідний електричний опір.

Ключові слова: теоретична електротехніка, електричне коло з розподіленими параметрами, довга лінія, аварійний режим роботи, коротке замикання, вхідний опір, рівняння перетворення

Abstract

In this paper, using the example of a long line, a method for determining the location of a short circuit in one-dimensional systems of electrical circuits with defined parameters is proposed and analytically justified. The method is based on the linear transformation of the short circuit coordinates in the emergency system to its input resistance.

Keywords: electrical engineering theory, electric circuit, continuous system, long line, emergency operation, short circuit, input resistance, transformation equation

1. Вступ

В одновимірних системах електричних кіл з розподіленими параметрами, які на сьогодні надзвичайно поширені в усіх важливих галузях промисловості, характерною ознакою є залежність їх електричних параметрів не тільки від часу, але і від просторової координати. Це створює додаткові і унікальні можливості встановлювати математичні зв'язки (взаємозалежності) між фізичними величинами принципово різної природи, через що доволі часто такі математичні моделі отримують суттєві переваги порівняно з відомими.

В наявній роботі пропонується метод вхідного опору, який дозволяє визначати координату місцезнаходження аварійного вияву (наразі короткого замикання) в довгих лініях за значеннями вхідного опору цієї системи. Увага авторів, і це є метою роботи, насамперед зосереджена на побудові рівняння перетворення запропонованого методу та можливості його оптимізації за запропонованими нижче критеріями. Важливими перевагами методу є можливість здійснювати процедуру вимірювання (або контролю) у неруйнівний спосіб та на відстані від об'єкту вимірювання, а також – лінійний характер рівняння перетворення.

2. Побудова рівняння перетворення методу вхідного опору

1) Як відомо [1-7], електричні (електромагнітні) процеси в довгій лінії з лінійними параметрами R_0 , G_0 , L_0 та C_0 підпорядковуються телеграфним рівнянням – системі диференціальних рівнянь в частинних похідних виду:

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = R_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t}, \end{cases} \quad (1)$$

розв'язками якої в усталеному синусоїдному режимі роботи лінії є функції

$$\begin{aligned} u(t, x) &= U_m(x) \sin[\omega t + \psi_u(x)], \\ i(t, x) &= I_m(x) \sin[\omega t + \psi_i(x)], \end{aligned} \quad (2)$$

де $U_m(x)$ та $I_m(x)$ – амплітудні значення розподілених вздовж довгої лінії миттєвих напруги та струму, а $\psi_u(x)$ та $\psi_i(x)$ – їх початкові фази, в обох випадках залежні від просторової координати x .

Синусоїдний характер розв’язків дозволяє скористатися символічним методом і переписати систему рівнянь довгої лінії в комплексній формі, склавши цю систему відносно комплексів діючих значень напруги $\underline{U}(x) = \frac{U_m(x)}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u(x)}$ та струму $\underline{I}(x) = \frac{I_m(x)}{\sqrt{2}} e^{j\psi_i(x)}$, надалі $\underline{U}$ та $\underline{I}$ відповідно:

$$\begin{cases} -\frac{d\underline{U}}{dx} = \underline{Z}_0 \underline{I}, \\ -\frac{d\underline{I}}{dx} = \underline{Y}_0 \underline{U}, \end{cases} \quad (3)$$

де $\underline{Z}_0 = R_0 + j\omega L_0$ – повздовжній комплексний опір лінії, а $\underline{Y}_0 = G_0 + j\omega C_0$ – її поперечна комплексна провідність.

Вилучимо з системи (3) комплексний струм $\underline{I}$, що зробити неважко, і отримаємо звичайне диференціальне рівняння другого порядку, складене виключно відносно комплексної напруги,

$$\frac{d^2 \underline{U}}{dx^2} = \underline{\gamma} \underline{U}, \quad (4)$$

яке за заданих крайових або в інших, наприклад, $\underline{U}(x_{кз})$ та $\underline{I}(x_{кз})$, умов і визначатиме закон розподілу цієї напруги, а відтак і її діючого значення $U(x)$ та початкової фази $\psi_u(x)$, вздовж довгої лінії в функції координати x .

В формулі (4) коефіцієнт $\underline{\gamma}$ – це стала поширення, яку визначаємо через первинні параметри довгої лінії

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{Z}_0 \underline{Y}_0} = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} \quad (5)$$

і яка, в свою чергу, визначає коефіцієнт згасання α та коефіцієнт фази β , оскільки

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta. \quad (6)$$

Загальним розв’язком диференціального рівняння (4) є сума двох складових

$$\underline{U}(x) = \underline{U}_{np}(x) + \underline{U}_{зв}(x), \quad (7)$$

перша з яких

$$\underline{U}_{np}(x) = \underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} - \quad (8)$$

це комплекс прямої хвилі напруги, а друга

$$\underline{U}_{зв}(x) = \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x} - \quad (9)$$

комплекс зворотної хвилі напруги.

В формулах $\underline{A}_1$ і $\underline{A}_2$ – це сталі інтегрування рівняння (4).

У схожий спосіб визначаємо розподіл комплексного струму з системи (3) вздовж довгої лінії. Для нього маємо

$$\underline{I}(x) = \underline{I}_{np}(x) - \underline{I}_{зв}(x), \quad (10)$$

де

$$\underline{I}_{np}(x) = \frac{\underline{A}_1}{\underline{Z}_C} e^{-\underline{\gamma}x} - \quad (11)$$

це комплекс прямої хвилі струму, а друга

$$\underline{I}_{зв}(x) = \frac{\underline{A}_2}{\underline{Z}_C} e^{\underline{\gamma}x} - \quad (12)$$

комплекс його зворотної хвилі.

В обох останніх співвідношеннях $\underline{Z}_C$ – хвильовий опір довгої лінії, який визначається через первинні параметри лінії

$$\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Y}_0}} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}}. \quad (13)$$

2) Отже, відносно початку довгої лінії (вхідних її полюсів), де значення просторової координати в обраній системі координат $x = 0$, для комплексу діючого значення напруги $\underline{U}$ відповідно до співвідношень (7) та (10) з урахуванням (8), (9), (11), (12) записуємо

$$\underline{U}(0) = \underline{A}_1 + \underline{A}_2, \quad (14)$$

а для струму –

$$\underline{I}(0) = \frac{\underline{A}_1 - \underline{A}_2}{\underline{Z}_C}. \quad (15)$$

3) Математичний зв'язок комплексного вхідного опору $\underline{Z}_{\text{вх}}$ зі сталими інтегрування $\underline{A}_1$ і $\underline{A}_2$ виявимо, скориставшись законом Ома в комплексній формі та співвідношеннями (14) та (15):

$$\underline{Z}_{\text{вх}} = \frac{\underline{U}(0)}{\underline{I}(0)} = \underline{Z}_C \frac{\underline{A}_1 + \underline{A}_2}{\underline{A}_1 - \underline{A}_2}. \quad (16)$$

4) Водночас встановимо математичний зв'язок обидвох сталих інтегрування $\underline{A}_1$ і $\underline{A}_2$ з координатою короткого замикання $x_{\text{кз}}$.

Оскільки сталі інтегрування можна визначати не тільки через крайові умови – значення комплексних напруг та струмів на початку або в кінці довгої лінії, але і через їх значення в будь-яких інших точках довгої лінії, розглянемо місце короткого замикання з актуальною для нас невідомою координатою $x_{\text{кз}}$.

Сталі інтегрування визначимо відносно цієї (!) координати.

а) Отже, в точці короткого замикання напруга дорівнює нулю $\underline{U}(x_{\text{кз}}) = 0$.

Тому у відповідності з формулами (7)-(9) можемо записати

$$\underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma} x_{\text{кз}}} + \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}} = 0, \quad (17)$$

звідки співвідношення поміж самими сталими інтегрування має вигляд

$$\frac{\underline{A}_2}{\underline{A}_1} = - \frac{e^{-\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}}. \quad (18)$$

б) Для суми сталих інтегрування з урахуванням співвідношення (18) можемо записати

$$\underline{A}_1 + \underline{A}_2 = \underline{A}_1 \left(1 + \frac{\underline{A}_2}{\underline{A}_1} \right) = \underline{A}_1 \left(1 - \frac{e^{-\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}} \right) = \underline{A}_1 \frac{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}} - e^{-\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}} = \frac{2 \underline{A}_1}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}} \text{sh } \underline{\gamma} x_{\text{кз}}. \quad (19)$$

Аналогічно – і для їх різниці

$$\underline{A}_1 - \underline{A}_2 = \underline{A}_1 \left(1 - \frac{\underline{A}_2}{\underline{A}_1} \right) = \underline{A}_1 \left(1 + \frac{e^{-\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}} \right) = \underline{A}_1 \frac{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}} + e^{-\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}} = \frac{2 \underline{A}_1}{e^{\underline{\gamma} x_{\text{кз}}}} \text{ch } \underline{\gamma} x_{\text{кз}}. \quad (20)$$

в) Відтак з рівнянь (19) та (20) випливає, що

$$\frac{\underline{A}_1 + \underline{A}_2}{\underline{A}_1 - \underline{A}_2} = \text{th } \underline{\gamma} x_{\text{кз}}. \quad (21)$$

5) Підставимо в формулу (16) співвідношення (21). В результаті отримаємо шуканий математичний зв'язок між комплексним вхідним опором довгої лінії $\underline{Z}_{\text{вх}}$ з наявним в ній коротким замиканням та координатою місця короткого замикання $x_{\text{кз}}$

$$\underline{Z}_{\text{вх}} = \underline{Z}_C \text{th } \underline{\gamma} x_{\text{кз}}. \quad (22)$$

6) Варто додати, що отримане рівняння перетворення цілком узгоджується з відомою в теоретичній електротехніці формулою, яка визначає вхідний опір $\underline{Z}_{\text{вх}}$ довільно навантаженої довгої лінії довжиною l

$$\underline{Z}_{\text{вх}} = \underline{Z}_C \frac{\underline{Z}_H + \underline{Z}_C \text{th } \underline{\gamma} l}{\underline{Z}_C + \underline{Z}_H \text{th } \underline{\gamma} l}, \quad (23)$$

оскільки за виконання водночас двох умов: $\underline{Z}_H \rightarrow 0$ і $l \rightarrow x_{кз}$, формула (23) сходиться до формули (22), що робить допустимою можливість розглядати короткозамкнену в кінці довгу лінію як електричний еквівалент довгої лінії з коротким замиканням в довільному місці, якщо тільки довжина першої буде відповідати локалізації місця короткого замикання другої лінії $l = x_{кз}$, також буде забезпечена усталеність синусоїдного режиму роботи лінії.

3. Рівняння перетворення методу вхідного опору для лінії без втрат

Якщо в довгій лінії виконуються умови

$$R_0 \ll \omega L_0; \quad G_0 \ll \omega C_0, \quad (24)$$

таку лінію допустимо вважати лінією без втрат (електромагнітної енергії).

Оскільки співвідношення поміж електричними параметрами для ліній без втрат зазнають суттєвих спрощень, тому скористаємося цією обставиною і перепишемо рівняння перетворення (22) методу вхідного опору за умов чинності нерівностей (24).

В цьому випадку гіперболічний тангенс вироджується в тригонометричний тангенс

$$\operatorname{th} \gamma x_{кз} = j \operatorname{tg} \beta x_{кз}, \quad (25)$$

позаяк відповідно до (5) та (6) коефіцієнт поширення допустимо вважати рівним нулю $\alpha = 0$, а стала поширення стає рівною

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L_0 C_0}. \quad (26)$$

Хвильовий опір лінії, в свою чергу, відповідно до (13) буде визначено лише над полем дійсних чисел

$$\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}. \quad (27)$$

Таким чином, рівняння перетворення методу вхідного опору (22) з урахуванням співвідношень (25)-(27) набуває вигляду

$$\underline{Z}_{вх} = \underline{Z}_C \operatorname{tg} \beta x_{кз}, \quad (28)$$

де $\beta = \omega\sqrt{L_0 C_0}$, $\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$.

4. Лінеаризація рівняння перетворення методу вхідного опору

1) Відомо, що функція тригонометричного тангенса є нелінійною періодичною функцією. Однак в певній області свого визначення і з певним ступенем апроксимації її значення лінійно залежать від аргументу. Навіть більше того – за таких умов з'являється можливість функцію тангенса від аргументу прирівняти до самого аргументу, водночас наклавши жорсткі умови, по-перше, щодо робочої області значень аргументу і, по-друге, відносного відхилення цього аргументу від функції тангенса!

Отже, зазначена обставина створює для нас практичну можливість сформулювати лінійне (!) рівняння перетворення, яке у разі виконання наперед заданих передумов (обмежень), пов'язаних з вищезазначеним, відповідно до (28) набуває вигляду

$$\underline{Z}_{вх} = \underline{Z}_C \beta x_{кз}, \quad (29)$$

або

$$\underline{Z}_{вх} \approx K x_{кз} \quad (30)$$

з лінійною залежністю між вхідним опором $\underline{Z}_{вх}$ довгої лінії та координатою $x_{кз}$ місця короткого замикання, де коефіцієнт пропорційності з урахуванням співвідношень (26) та (27) дорівнює

$$K = \underline{Z}_C \beta = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \omega\sqrt{L_0 C_0} = \omega L_0. \quad (31)$$

2) Визначимося з додатковими умовами, які забезпечать лінійність рівняння перетворення (31).

Оскільки перехід від рівняння перетворення з нелінійною функцією тангенсу (28) до рівняння перетворення з лінійною функцією (30) супроводжувався внесенням методичної похибки, то за основу візьмемо її максимально допустиме значення δ_{max} .

Тоді відповідно до зазначеного має виконуватися нерівність

$$\frac{|\operatorname{tg} \beta l - \beta l|}{\beta l} \leq \delta_{\max}, \quad (32)$$

де l – довжина довгої лінії, на ділянці якої сталося коротке замикання, тобто $x_{\text{кз}} \leq l$ або $\beta x_{\text{кз}} \leq \beta l$.

Задамо умову, відповідно до якої

$$\delta_{\max} = 0,03 \text{ (3\%)} \quad (33)$$

Для аргументу тангенса βl за область допустимих значень оберемо проміжок від 0 до $0,5\pi$. Тоді в цій області за заданого значення максимально допустимої відносної похибки $\delta_{\max}$ розв'язком трансцендентної нерівності (32) відносно добутку βl буде нерівність $\beta l \leq 0,295$ рад.

В цьому випадку неважко показати, що довжина електромагнітної хвилі λ в довгій лінії, в свою чергу, має відповідати умові:

$$\lambda \geq \frac{2\pi}{0,295} l = 21,3 l. \quad (34)$$

Нерівність (34) дозволяє розрахувати робочу частоту f джерела е.р.с. синусоїдних коливань в лінії, яка забезпечить виконання нерівності (34), оскільки довжина електромагнітної хвилі пов'язана з частотою співвідношенням $\lambda = \frac{v_{\phi}}{f}$, де $v_{\phi} = \frac{\omega}{\beta}$ – фазова швидкість руху електромагнітної хвилі в довгій лінії. За першого наближення значенню фазової швидкості допустимо надати швидкість світла у вакуумі.

Висновки

В роботі на прикладі довгої лінії запропоновано та аналітично обґрунтовано неруйнівний метод локалізації місцезнаходження короткого замикання в одновимірних системах електричних кіл з розподіленими параметрами. В основу метода покладено лінійне перетворення координати короткого замикання аварійної системи у її вхідний електричний опір.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теоретичні основи електротехнік: У 3 т. / В. С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб та ін. — К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2004. — Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. — 272 с.
2. Перхач В. С. Теоретична електротехніка / В. С. Перхач. — К.: Вища школа, 1992. — 439 с.
3. Електричні апарати / В. О. Бржезицький, В. Ц. Зелінський, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. — 602 с.
4. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. — 456 с.
5. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацев, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 326 с.
6. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 392 с.
7. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Том 1. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003. — 463 с.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, wjg@ukr.net.

Yurii G. Vedmitskyi — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, wjg@ukr.net

Ілля Олександрович Гненний — учень 10ІТ класу Подільського науково-технічного ліцею для обдарованих дітей, м. Вінниця.

Ілля О. Gnenny — the pupil 10IT class of Podolskogo of scientific and technical lycée for exceptional children, Vinnytsia.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

¹Подільський науково-технічний ліцей для обдарованої молоді

²Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано будову та конструктивні особливості мікропроцесорної платформи ARDUINO UNO. Досліджено особливості використання цієї платформи для реалізації на її основі мікропроцесорних вимірювальних систем.

Ключові слова: ARDUINO UNO, цифровий модуль атмосферного тиску BMP180, давач температури і вологості DHT22, ультразвуковий давач HC-SR04, давач швидкості LM393, давач температури DS18B20, давач диму (газу) MQ-2, давач вологості ґрунту (гігрометр), HC-06 Bluetooth радіотрансмісер, модуль ESP8266 бездротової wi-fi.

Abstract

The structure and design features of the microprocessor platform ARDUINO UNO are analyzed. The peculiarities of using this platform for design on basis of it microprocessor measuring systems are explored.

Keywords: ARDUINO UNO, digital BMP180 atmospheric pressure module, DHT22 temperature and humidity sensor, HC-SR04 ultrasonic sensor, LM393 speed sensor, DS18B20 temperature sensor, MQ-2 smoke detector, humidity sensor (hygrometer), HC-06 Bluetooth radio transceiver, ESP8266 wireless wifi module.

На сьогодні мікропроцесорні системи докорінно змінили як засоби автоматизації, так і технології створення електронної техніки, підняли суттєво технологічну культуру та рівень знань розробників нової техніки, користувачів і ремонтного персоналу. Уміння раціонально використовувати мікропроцесорну техніку стало сьогодні самим важливим показником рівня кваліфікації сучасного спеціаліста. В зв'язку з цим спеціалісти в галузі вимірювальної техніки, електротехніки, технологій кібербезпеки та енергетичних систем повинні знати не лише можливості універсальних мікропроцесорних пристроїв, комп'ютерів, але і володіти знаннями архітектури, принципів роботи та мати навички використання програмного забезпечення інформаційних систем керування [1].

Arduino Uno – це широко використовувана плата мікроконтролерів з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P. У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування всередині схеми (ICSP) і кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення від AC/DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю [2].

На відміну від всіх попередніх плат Ардуіно, Uno в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega16U2 (ATmega8U2 до версії R2) замість мікросхеми FTDI.

На платі Arduino Uno версії R2 для спрощення процесу оновлення прошивки доданий резистор, що підтягує до землі лінію HWB мікроконтролера 8U2 [2].

Arduino Uno може живитися від USB або від зовнішнього джерела живлення — тип джерела вибирається автоматично [2].

В якості зовнішнього джерела живлення (НЕ USB) може використовуватися мережевий AC/DC-адаптер або акумулятор/батарейка. Штекер адаптера (діаметр – 2,1 мм, центральний контакт – позитивний) необхідно вставити у відповідний роз'єм живлення на платі. У разі живлення від акумулятора / батарей, її проводу необхідно під'єднати до висновків Gnd і Vin роз'єму POWER [2].

Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 В. Однак, зменшення напруги живлення нижче 7В призводить до зменшення напруги на виході 5V, що може стати

причиною нестабільної роботи пристрою. Використання напруги більше 12В може призводити до перегріву стабілізатора напруги і виходу плати з ладу. З огляду на це, рекомендується використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12В [2].

Цифровий модуль атмосферного тиску BMP180 – високоточний цифровий датчик тиску з діапазоном вимірювання від 300 до 1100 гПа з точністю до 0,02 гПа. Він заснований на п'єзорезистивній технології, щоб забезпечити високу точність, міцність і довготривалу стабільність.

Давач температури і вологості DHT22 для Arduino містить сенсор вологості ємнісного типу, чутливим елементом якого є полімерний конденсатор. За допомогою такого давача вимірювання вологості проводяться у всьому діапазоні. Похибка вимірювання при використанні цього датчика складає не більше 2% [3].

Ультразвуковий давач HC-SR04 – це перетворювач, що дозволяє вимірювати відстань до перешкоди в діапазоні від 2 до 450 см. Він являє собою плату, на якій розміщені випромінювач і приймач ультразвуку, а також керуюча електронна схема. Датчик має невеликі габарити і простий інтерфейс. Ультразвуковий датчик може бути використаний в якості датчика присутності в «розумному будинку», а також в охоронних системах [3].

Давач швидкості LM393 для Ардуіно побудований на мікросхемі LM393 (подвійний компаратор). Цей давач використовується спільно зі спеціальними дисками, які одягаються на вал редуктора або електродвигуна. Таким чином, мікроконтролер отримує інформацію безпосередньо від енкодера про кількість оборотів, зроблених двигуном, і так визначається його швидкість [3].

Давач температури DS18B20 для Arduino – високоточний цифровий термометр з інтерфейсом 1-Wire. Лінія даних використовується для обміну інформацією між контролером і давачем. Пам'ять давача складається з оперативної ROM і незалежної EEPROM. Інформація про температуру зберігається в оперативній пам'яті давача. секція: Стандартизація, сертифікація і метрологічне забезпечення НК і ТД 121 [3].

Давач диму (газу) MQ-2 побудований на базі газоаналізатора. Він дозволяє виявляти наявність у навколишньому повітрі вуглеводневих газів (пропан, метан, бутан), диму (тобто, зважених частинок, які є результатом горіння), а також водню. Давач можна використовувати для виявлення витоків промислового газу і задимлення. Вихідним результатом є аналоговий сигнал. Він пропорційний змісту газів, до яких чутливий газоаналізатор. Чутливість налаштовується за допомогою тріммера на платі давача [3].

Давач вологості ґрунту (гігрометр) зібрано на мікросхемі LM393 і має окремий чутливий елемент і настройку чутливості. Між двома електродами давача створюється невелика напруга. Якщо ґрунт сухий, опір великий і струм буде менший. Якщо земля волога - опір менший, і струм - більший. За підсумками аналогового сигналу можна судити про ступінь вологості. Давач вологості ґрунту дає на виході 1 або 0, в залежності від того, чи достатньо вологий ґрунт. Працює давач вологості ґрунту (гігрометр) для Arduino так. Спочатку налаштовують його на потрібну вологість (підкручуємо резистор). Потім, якщо вологість вище порогової, давач видає низький рівень, якщо нижче, то високий [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мікропроцесорна техніка: Навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”/Уклад. В. В. Кирик. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2014. – 183с.

2. Монк С. Програмуємо Arduino. Професійна робота со скетчами / С. Монк – С-П.: Питер, 2017. – 154 с.

3. Валько В. М. Особливості побудови вимірювальних систем на основі платформи Arduino / В. М. Валько, О. П. Мочурад. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/151471944.pdf>

Сергій Павлович Дишкант – учень 10-ІТ класу Подільського науково-технічного ліцею для обдарованої молоді, м. Вінниця, Воїнів Інтернаціональців 9-А. E-mail: fantomka125@gmail.com

Валерій Федорович Граняк – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань ВНТУ, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. E-mail: titanxp2000@ukr.net

Sergiy Dyskant – student of the Podillya Scientific and Technical Lyceum for Gifted Youth

Valerii Graniak – Ph.D., Associate Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurement VNTU, Vinnytsia. E-mail: titanxp2000@ukr.net

СЦЕНАРІЙ МІКРОКЛІМАТУ В СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод керування підсистемою мікроклімат в системі «розумний будинок», який дозволив значно ефективніше використовувати енергетичні ресурси та поліпшити домашній затишок.

Ключові слова: розумний будинок, сценарій клімату.

Abstract

The method of managing of the microclimate subsystem in the "smart house" system which lets use energy sources much more effectively and improves the home comfort is offered.

Keywords: smart home, climate scenario.

Вступ

Домашня автоматизація є однією з найперспективніших напрямків розвитку інформаційних та комунікаційних технологій. Система розумного будинку дає змогу його власнику контролювати всі процеси в помешканні та попереджати всі можливі збурення дистанційно: будучи на роботі, на прогулянці чи взагалі в іншому місті або країні. Ця система заміняє рутинні завдання шляхом автоматизації задач, таких як керування освітленням, клімат-контролем, системами мультимедіа тощо. Ще один приємний бонус використання цієї системи полягає в тому, що всі задачі можна довести до автоматизму, без додаткових втручань користувача, шляхом відтворення щоденних «сценаріїв».

У кожному будинку можна зустріти кондиціонери, радіатори, теплу підлогу чи тепловентилятори. Управління мікрокліматом системи «розумний будинок» дозволяє всі ці прилади об'єднати в єдину злагоджену систему. Правильно розподіливши задачі цих приладів, можна побудувати власну надійну та ощадну екосистему.

Метою роботи є побудова сценарію керування мікрокліматом для розумного будинку з врахуванням ефективного використання ресурсів електроенергії та домашнього комфорту.

Результати дослідження

Більшість комерційних пропозицій системи «розумного будинку» передбачає налаштування зручних сценаріїв, які зможуть спростити керування помешканням, але, як відомо, більшість таких пропозицій є дороговартісними, при тому не дозволяють значно розширювати можливості системи. Тому доцільно таке планування здійснити на власній системі, до прикладу, на базі Arduino. Ключовим є повне розуміння того, які режими роботи будинку потрібно використовувати щоденно.

Розробка параметрів включення й відключення систем обігріву та охолодження дає можливість не лише отримати найбільш комфортні умови, а й значною мірою заощаджувати енергію. Налаштування програми «Ніч» дозволить отримати під час сну приємну прохолоду, а з настанням ранку система поступово підвищить температуру. У момент скупчення великої кількості людей інтенсивніше починає працювати система вентиляції.

На рис. 1 запропонований алгоритм керування мікрокліматом, на якому виділено найбільш типові режими роботи розумного будинку, а саме: «Сон», «Ранок», «На роботі», «Вечір» та «Ніч». Виконання цих режимів забезпечуються у разі надходження вхідного сигналу у вигляді зчитування даних температури та часу, на виході яких ми отримуємо бажаний режим роботи автоматично. Також розглядається варіант втручання в режими роботи за допомогою пульта, кишенькового комп'ютера чи смартфона (у разі потреби).

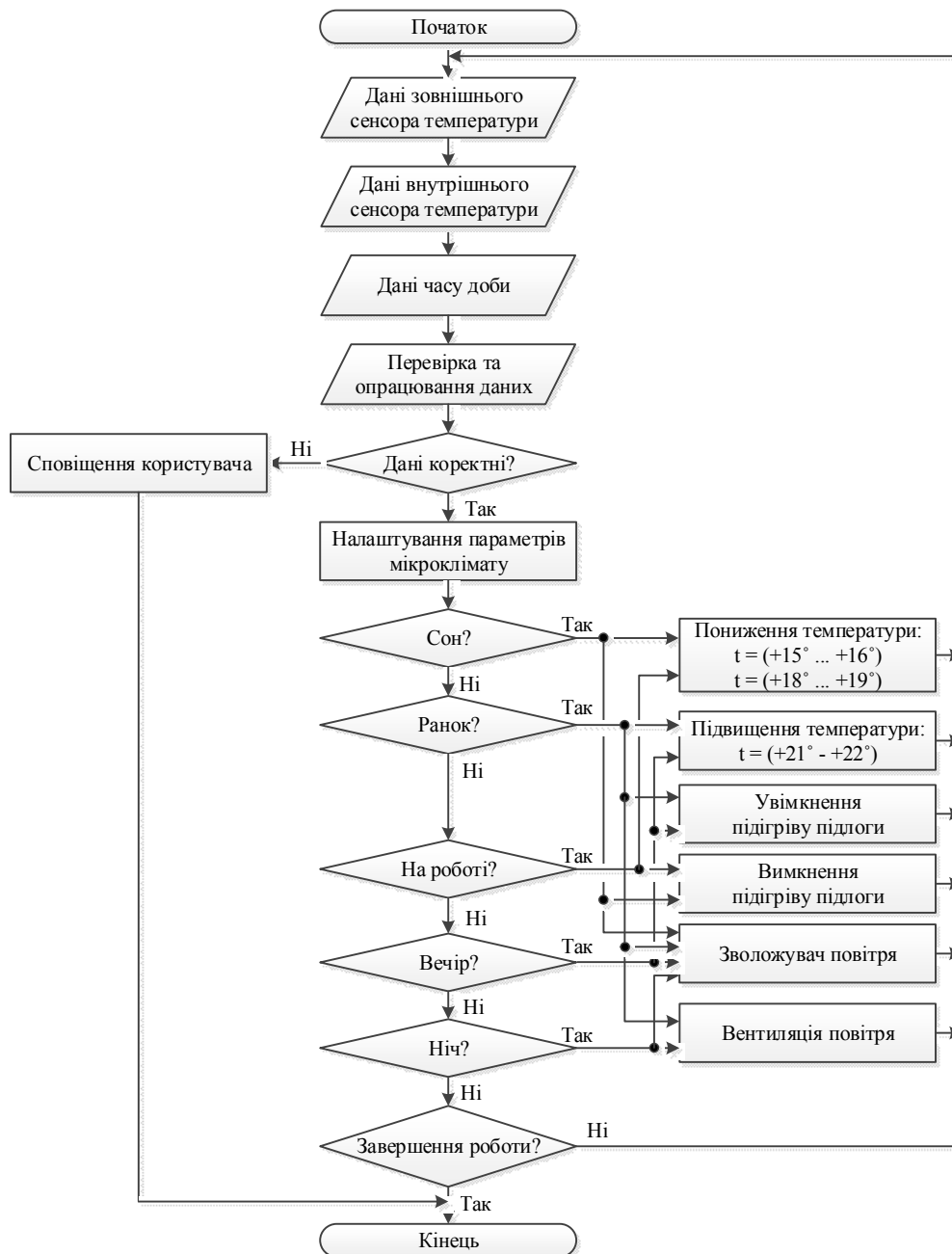


Рис. 1. Алгоритм керування мікрокліматом «Розумного будинку»

Висновки

Запропонований підхід керування мікрокліматом будинку дозволяє ефективніше розподілити енергоресурси в ньому та є значно комфортнішим у щоденному використанні.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Охов Владислав Володимирович – студент групи ІЕМ-156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: okhov.vladyslav@gmail.com

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Okhov Vladyslav V. – student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: okhov.vladyslav@gmail.com

НЕЧІТКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено математичну модель для визначення залишкового ресурсу електричного двигуна з використанням теорії нечітких множин.

Ключові слова: електричний двигун, нечітка модель, залишковий ресурс, fuzzy-регулятор.

Abstract

A mathematical model for determining the residual life of an electric motor with the use of the theory of fuzzy sets is developed.

Keywords: electric motor, fuzzy model, residual resource, fuzzy-regulator.

В більшості випадків електричні двигуни, в яких вже вичерпався гарантований заводом-виробником ресурс, і далі продовжують працювати, виконуючи покладені на них всі функції. Але при цьому надійність їх функціонування суттєво знижується, особливо коли електродвигун працює в умовах, при яких наявні часті перевантаження. Тому визначення залишкового ресурсу електричного двигуна в процесі його функціонування є питанням актуальним.

Існують достатня кількість робіт [1] – [12], спрямованих на визначення технічного стану електричних двигунів. Однак всі вони орієнтовані на використання класичного математичного апарату для розв'язання даної задачі. Але в багатьох випадках точність визначення вхідних даних для розрахунку далека від бажаного рівня.

Для усунення цієї проблеми запропоновано визначати залишковий ресурс електричного двигуна з використанням теорії нечітких множин та нечіткої логіки.

Проаналізувавши фактори, які найбільш суттєво впливають на зміну залишкового ресурсу електричного двигуна, як діагностичні ознаки обрано такі параметри: струм, що протікає по обмотці; температуру найбільш нагрітої точки обмотки; швидкість зміни температури обмотки; температуру підшипникових вузлів; рівень вібрації.

В результаті досліджень встановлені діапазони зміни вхідних змінних та їх лінгвістичні оцінки, розроблена нечітка база знань для системи нечіткого виведення, що дало можливість представити нечіткі терми у вигляді логічних рівнянь.

Для реалізації запропонованої моделі використано редактор системи нечіткого висновку FIS в графічному режимі математичного пакету Matlab. Зовнішній вигляд вікна цього редактора для налагодження fuzzy-регулятора для визначення залишкового ресурсу електричного двигуна приведено на рис. 1.

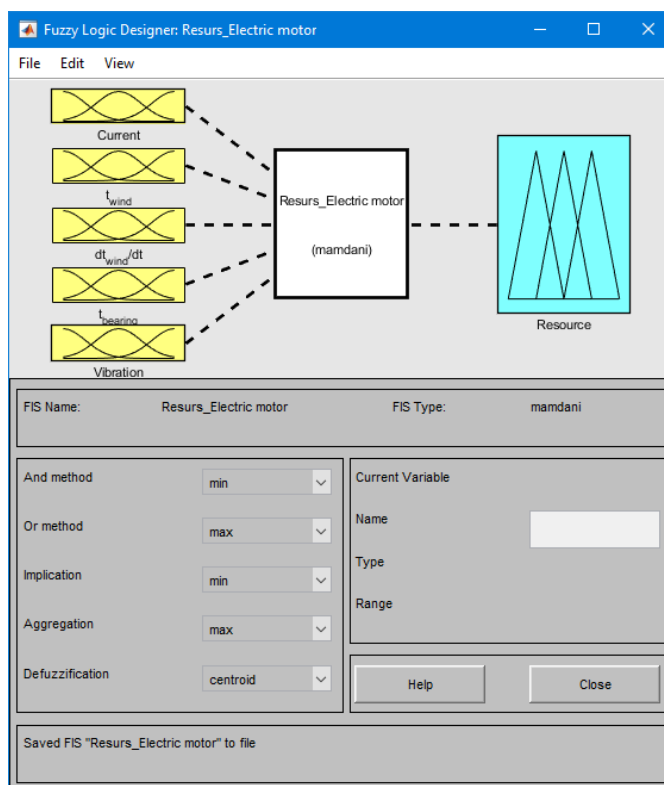


Рис. 1. Fuzzy-регулятор в редакторі FIS для визначення залишкового ресурсу електродвигуна

Висновки

Запропоновано визначати залишковий ресурс електричного двигуна з використанням теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Розроблено математичну модель, що дозволяє визначати залишковий ресурс електродвигуна з врахуванням струму, що протікає по обмотці, температури найбільш нагрітої точки обмотки, швидкості зміни температури обмотки, температури підшипникових вузлів та рівня вібрації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. William T. Thomson, Mark Fenger. Development of a tool to detect faults in induction motors via current signature analysis // IEEE Industry Application Magazine July / August 2001.
2. Виговський О.В. Діагностика асинхронних двигунів блоків атомних електростанцій / О. В. Виговський // Проблеми безпеки атомних електростанцій і чорнобиля. – 2018. – Вип. 31. – С.36-40. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/2018_31/c36.PDF
3. Макотринський О.В. Штучна нейромережева система неперервного типу для діагностики тягового електропривода // О.В. Макотринський, Я.В. Ващенко, С.І. Яцько // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 141. – С. 230-234.
4. Розводюк М.П. Синтез структури пристрою для контролю технічного стану асинхронного двигуна / М.П. Розводюк, Д.С. Хайнацький // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2019), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 11-30 травня 2019 р. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/6176>
5. Розводюк М.П. Діагностування електродвигуна за параметрами його зовнішнього магнітного поля [Електронний ресурс] / М. П. Розводюк // Тези доповідей науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 21-23 березня 2018 р. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4688/3750>
6. Мокін Б. І. Математичні моделі та системи технічної діагностики основних електротехнічних систем міських трамваїв [Текст] : монографія / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 126 с.
7. Пат. 104052 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю робочого ресурсу електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Поліщук А.Л. (Україна). – № у 2015 06627; заявл. 06.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. – 10 с. : кресл.
8. Пат. 105197 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю робочого ресурсу електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Гоноровський В.В. (Україна). – № у 2015 08132; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 9 с. : кресл.
9. Пат. 105198 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю робочого ресурсу електричного двигуна постійного струму [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Тимошенко О.Л. (Україна). – № у 2015 08133; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 11 с. : кресл.
10. Пат. 105199 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Янчук О.М. (Україна). – № у 2015 08134; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 14 с. : кресл.
11. Пат. 105201 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Беседін Р.О. (Україна). – № у 2015 08136; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 14 с. : кресл.
12. Пат. 105570 UA, МПК G07C 3/10, G07C 3/14. Пристрій для контролю електричного двигуна / Грабко В.В., Розводюк М.П., Тимошенко О.Л. (Україна). – № у 2015 09327; заявл. 28.09.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6. – 16 с. : кресл.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМИ «GRAVITY PORTAL»

¹Вінницький національний технічний університет

²Компанія «Гравіті Електрик»

Анотація

Розроблено програму «Gravity Portal» для виконання проектних рішень з напрямку електротехнічної інженерії.

Ключові слова: проектування, електротехнічна інженерія, Розумний Дім, Gravity Portal, програмне середовище.

Abstract

A program «Gravity Portal» was developed for implementation of project decisions on the direction of electrotechnology engineering.

Keywords: design, electrical engineering, Smart Home, Gravity Portal, software environment.

Вступ

Якщо порівнювати приватний та комерційний сектори діяльності з огляду на виконання підрядних робіт, то від неефективності та зниженої якості їх виконання страждає саме перший. Це пояснюється тим, що комерційний сектор має більший штат працівників, які займають типові посади з відпрацьованих методологій ведення проектування та монтажу на рівні законодавчих документів, виконання яких контролюються державними органами. В законодавстві не прописано, що вони створені для комерційного сектору, але зазначено, що їх дотримання приватним сектором не обов'язкове. Це обумовлене тим, що в приватному секторі ризики виконання робіт набагато менші порівняно з комерційним. Це є перевагою для дрібних компаній, які переважно працюють в приватному секторі та принципово не можуть виконати всі прописані регламенти. Крім того, невеликі компанії через обмеженість ресурсів належним чином не впроваджують новітні технології побутової автоматизації інженерних систем «Розумний Дім». Тому виконання проектних рішень здебільшого має ряд труднощів. Використання ж автоматизованих систем, зокрема спеціалізованих програм, усувають зазначені проблеми.

Метою роботи є підвищення швидкодії проектувальних робіт з електротехнічної інженерії, підвищення їх якості за рахунок розробки відповідного програмного середовища.

Результати дослідження

За результатами досліджень було розроблено програму «Gravity Portal» компанією «Гравіті Електрик», яка використовується для внутрішніх потреб, але планується до виходу в якості on-line сервісу. Вікна програми приведено на рис. 1 та на рис. 2.

Проектування за допомогою розробленої програми дозволяє враховувати побажання замовника та сформуванню відповідне технічне завдання.

Перелік деяких можливостей програми:

- розрахунок комерційних пропозицій, специфікацій та кошторисів на основі даних об'єкта та вибраних налаштувань;
- формування технічних завдань на проектування, монтаж, пуско-налагодження тощо;
- підбір технічних рішень;
- формування кабельного журналу, таблиць комутації тощо;

- перевірочні таблиці та чек-листи процесів виконання;
- ведення проектів з фіксуванням всіх етапів виконання робіт;
- формування регламентів обслуговування та фіксування їх виконання.

Предварительный расчет системы Умный Дом на оборудовании Larnitech (Германия)						
Клиент:						
Объект: квартира в ЖК Заречный						
№	Функция	Ед.	Эконом	Базовый	Стандарт	Расширен.
Базовый комплект			2	1,8	3,2	3,2
1	Центральное оборудование с возможностью расширения до любых функций		+	+	+	+
2	Управление с неограниченного количества мобильных устройств		+	+	+	+
3	Легко настраиваемые сценарии управления		+	+	+	+
4	Режимы "Ушли"/"Вернулись"		+	+	+	+
Климат-контроль			1	1,0	2,7	5,1
5	Управление климатическими зонами	зон	4	4	4	4
6	Управление теплыми полами электрическими	зон	4	4	4	4
7	Управление теплыми полами водяными	зон	-	-	-	-
8	Управление насосом циркуляционным	шт	-	-	-	-
8	Управление радиаторами водяными/ковекторами (с пассивной конвекцией)	зон	3	3	3	3
Сумма		USD	5 474	11 036	23 202	33 591
Сумма за кабелизацию для системы Умный Дом						
Сумма за кабелизацию электроснабжения						
Сумма за щит электроснабжения						
Сумма ВСЕГО						

Рис.1 – Вікно програми «Gravity Portal»: Комерційна пропозиція в розгорнутому вигляді

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--

Рис. 2 – Вікно програми «Gravity Portal»: Таблиця пристроїв об'єкту

Висновки

Запропоновано здійснювати проектування систем електротехнічної інженерії з використанням програмного середовища «Gravity Portal», яка дозволяє мінімізувати час на розробку технічної документації з врахуванням побажань замовника.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, rozvodiukmp@gmail.com

Качай Тимофій Володимирович – технічний директор ТОВ «Гравіті Електрик», Київ, tim@gravity.com.ua

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Kachai Tymofii V. – Chief technical officer LLC «Gravity Electric», Kyiv, tim@gravity.com.ua

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ З ВРІВНОВАЖЕНОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ СХЕМОЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комп'ютерну модель підйомної лебідки з врівноваженою кінематичною схемою та проведено її імітаційне моделювання. Запропонована модель дозволяє отримати коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни коефіцієнта корисної дії механічної передачі.

Ключові слова: підйомна лебідка, електропривод, комп'ютерна модель.

Abstract

A computer model of a lift winch with a balanced kinematic scheme was developed and its simulation modeling was carried out. The proposed model allows obtaining the correct results throughout the range of loads, taking into account the change in the coefficient of mechanical transmission efficiency.

Keywords: lifting winch, electric drive, computer model.

Вступ

Одним із важливих напрямків розвитку сучасного електропривода (ЕП) є розвиток науково-дослідних робіт по створенню математичних моделей і алгоритмів технологічних процесів, комп'ютерних засобів проектування ЕП [1, 2].

Метою роботи є розроблення комп'ютерної моделі підйомної лебідки з врівноваженою кінематичною схемою, яка б забезпечувала коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни ККД механічної передачі.

Результати дослідження

Підйомна лебідка з врівноваженою кінематичною схемою спрощено зображена на рис. 1: 1 – приводний двигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – протизага; 5 – канатоведучий шків (КВШ); 6 – кабіна, 7 – врівноважуючий канат.

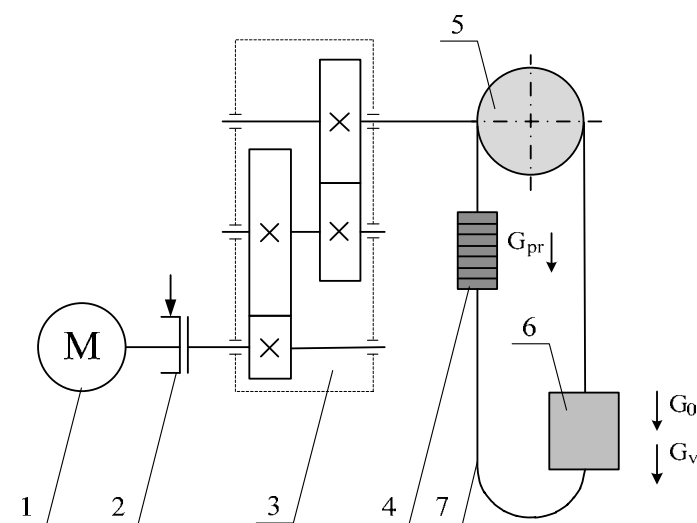


Рис. 1. Кінематична схема підйомної лебідки

Узагальнена система рівнянь, які описують механічну частину підйомної лебідки з врівноваженою кінематичною схемою, має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{\omega_{dv} \cdot D}{2 \cdot i_{mp} \cdot u}, \\ G_0 = m_0 \cdot g, \\ G_v = m_v \cdot g, \\ G_{v \text{ nom}} = m_{v \text{ nom}} \cdot g, \\ G_{pr} = G_0 + \alpha \cdot G_{v \text{ nom}}, \\ F = G_v - \alpha \cdot G_{v \text{ nom}}, \\ M_c = M_A + M_p \cdot \text{sign}(V), \\ M_A = \frac{F \cdot D}{2 \cdot i_{mp} \cdot u}, \\ M_p = |M_A| \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mp}} - 1 \right). \end{array} \right. \quad (1)$$

де V – лінійна швидкість транспортування кабіни; ω_{dv} – кутова швидкість приводного двигуна; D – діаметр КВШ; i_{mp} – передаточне число механічної передачі; u – кратність поліспасти; G_0 – вага кабіни; m_0 – маса кабіни; g – прискорення вільного падіння; G_v – вага вантажу; m_v – маса вантажу; $G_{v \text{ nom}}$ – вага номінального вантажу; $m_{v \text{ nom}}$ – маса номінального вантажу; G_{pr} – вага противаги; α – коефіцієнт врівноваження; F – зусилля на КВШ; M_c – момент статичного опору; M_A – активна складова моменту статичного опору; M_p – реактивна складова моменту статичного опору.

Відповідно до виразів системи (1) розроблено відповідну структурну схему підйомної лебідки (рис. 2) та реалізовано її у вигляді елемента бібліотеки Simulink (рис. 3).

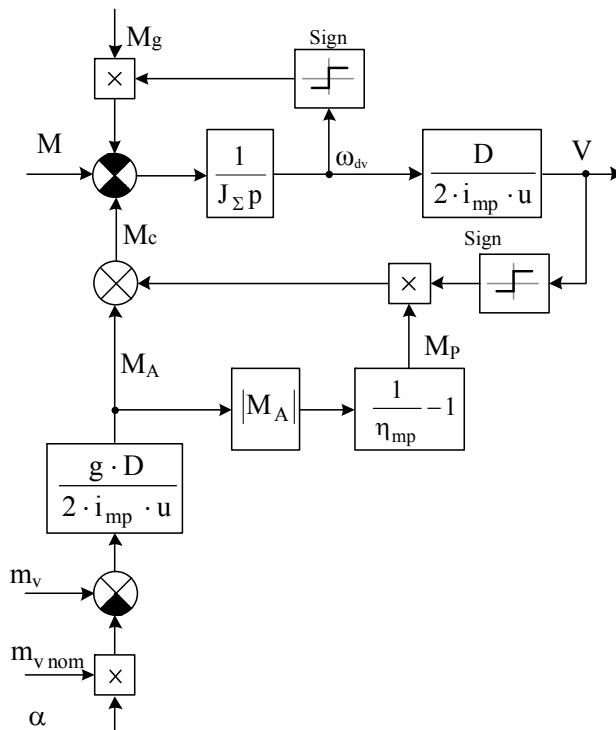


Рис. 2. Структурна схема підйомної лебідки з врівноваженою кінематичною схемою

На рис. 2 позначено: M – момент приводного двигуна; M_g – гальмівний момент; J_Σ – приведений до вала двигуна момент інерції привода.

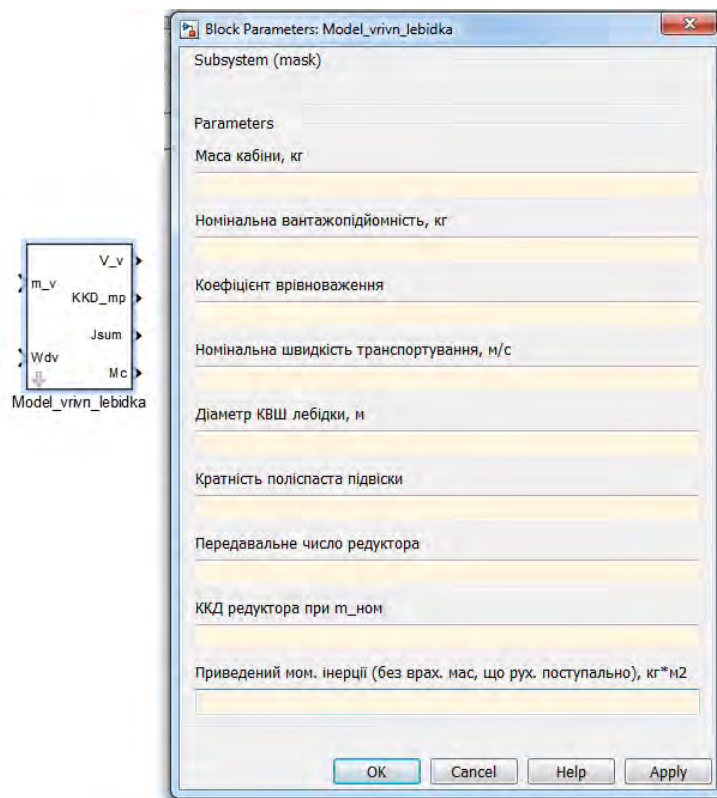


Рис. 3. Модель підйомної лебідки з врівноваженою кінематичною схемою в Simulink

Висновки

На основі виразів для статичних навантажень розроблено комп'ютерну модель підйомної лебідки з врівноваженою кінематичною схемою та проведено її імітаційне моделювання. Запропонована модель дозволяє отримати коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни коефіцієнта корисної дії механічної передачі. Використання даної моделі дозволить суттєво спростити процес проектування електроприводів вантажопідйомних машин з відповідною кінематичною схемою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Москаленко В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
2. Бабій С. М. Комп'ютерна модель підйомної лебідки вантажного крана в середовищі Matlab / С. М. Бабій, А. М. Ратушна // Zbiór artykułów naukowych. «Inżynieria i technologia. East European Conference» (29.06.2017 – 30.06.2017) – Warszawa : Wydawca : Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2017. – 40 str. – S. 11–13. – Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Inżynieria i technologia. East European Conference» 29.06.2017 – 30.06.2017 roku. Łódź.

Косій Дмитро Владиславович – студент групи ІЕМ-166, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dimaskosiy@gmail.com.

Бабій Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Kosy Dmitry V. – Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Babiy Sergiy M. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВИМИКАЧА

Вінницька філія ТОВ “КСК-Автоматизація”

Анотація

В роботі запропоновано метод діагностування електромагнітного приводу вакуумного вимикача на основі аналізу вебер-амперних характеристик.

Ключові слова: вакуумний вимикач, вебер-амперна характеристика, діагностування, електромагнітний привід, обмотка.

Abstract

The proposed method allows to determine the technical state of the electromagnetic actuator of a vacuum circuit breaker is used on the basis of the analysis of the weber-ampere characteristics.

Keywords: vacuum circuit breaker, weber-ampere characteristic, diagnostics, electromagnetic actuator, winding.

Вступ

В Україні існує стійка тенденція до підвищення кількості порушень електропостачання відповідальних енергетичних об'єктів, що призводить до негативних наслідків. Світова тенденція розвитку електротехнічного устаткування свідчить про заміну поширених у минулому масляних та маломасляних вимикачів напругою 6-35 кВ на вакуумні вимикачі [1].

Однією із головних причин відмов надійної роботи вакуумного вимикача є некоректна робота приводу. У більшості випадків вакуумні вимикачі середньої напруги в якості приводів використовують електромагнітний привід на основі “магнітної защіпки”. Електромагнітний привід здійснює ввімкнення та вимкнення вимикача, фіксує вимикач у крайніх положеннях. Вихід з ладу приводу спричиняє відмову роботи вакуумного вимикача, що призводить до повного припинення подачі електроенергії населенню, припинення роботи промислових і сільськогосподарських підприємств, транспорту та інше. Перспективним є аналіз вебер-амперних характеристик електромагніту вакуумного вимикача та встановлення їх взаємозв'язку з дефектами в електромагнітному приводі.

Метою роботи є розробка методу діагностування електромагнітного приводу, що дозволить підвищити надійність його роботи та довговічність експлуатації вакуумного вимикача.

Результати дослідження

Після введення нового вимикача в експлуатацію або після його капітального ремонту здійснюється вимірювання необхідних електричних величин для розрахунку його вебер-амперної характеристики. Отримана характеристика $\Psi_{em} = f(I_{em})$ є еталонною, яка порівнюється із вимірними магнітними характеристиками $\Psi_e = f(I_e)$ в процесі подальшої експлуатації вимикача.

Для визначення поточного технічного стану електромагніту необхідно мати набір значень еталонної вебер-амперної характеристики $\Psi_{i.em} = f(I_{i.em})$ та поточної вебер-амперної характеристики $\Psi_{i.e} = f(I_{i.e})$. Кількість розрахованих значень для еталонної і поточної вебер-амперної характеристики мають бути рівними ($i.em = i.e$).

Відносний квадрат відхилення між еталонними та поточними значеннями на кожному кроці вимірювання [2]:

$$\delta\Psi_i^2 = \left(\frac{(\Psi_{i.e} - \Psi_{i.em})}{\Psi_{i.em}} \right)^2, \quad (1)$$

де $\Psi_{i.в}$ – поточне значення потокозчеплення розраховане на i – ому кроці вимірювання; $\Psi_{i.ет}$ – еталонне значення потокозчеплення розраховане на i – ому кроці вимірювання.

Коефіцієнт відхилення враховує загальний ступінь відхилення між еталонними та поточними значеннями вебер-амперної характеристики:

$$K_B = \sum_{i=1}^N \delta \Psi_i^2. \quad (2)$$

Даний коефіцієнт відображає ступінь відхилення, що відповідає зміні кривої вебер-амперної характеристики електромагніта від її початкової форми.

Коефіцієнт відхилення може бути застосований у моделі прийняття діагностичного висновку про поточний стан електромагніту:

$$\begin{cases} K_B \leq K_{ГР1} \rightarrow \text{справний стан}; \\ K_{ГР1} < K_B \leq K_{ГР2} \rightarrow \text{на межі несправності}; \\ K_B > K_{ГР2} \rightarrow \text{несправність}, \end{cases} \quad (3)$$

де $K_{ГР1}$, $K_{ГР2}$ – граничні коефіцієнти, які відповідають технічному стану електромагнітного привода вимикача.

Для отримання коефіцієнтів $K_{ГР1}$, $K_{ГР2}$ необхідно по осцилограмах ввімкнення/вимкнення при різному технічному стані привода розрахувати вебер-амперні характеристики обмоток. Осцилограми на яких зображено криві струму та напруги (виміряні для різних технічних станів електромагнітного привода) при ввімкненні/вимкненні вимикача надаються заводом виробником вакуумного вимикача. По розрахованих вебер-амперних характеристиках при різному технічному стані розраховують коефіцієнти відхилення від еталонної кривої. Значення еталонної кривої для розрахунку коефіцієнтів відхилення надаються також заводом виробником вакуумного обладнання. Отримані коефіцієнти можуть використовуватися в процесі отримання діагностичного висновку про технічний стан електромагніту вимикача.

Висновки

Запропоновано метод діагностування технічного стану електромагнітного привода вакуумного вимикача. Метод побудований на порівнянні еталонної вебер-амперної характеристики із поточною та визначенні коефіцієнта відхилення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. К.А. Набатов, В.В. Афонин, Высоковольтные вакуумные выключатели распределительных устройств: учебное пособие. Тамбов, Россия: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010.
2. В.В. Грабко, О.В. Дідушок, МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВИМИКАЧА НА ОСНОВІ ВЕБЕР-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 6, с. 53-61, 2018.

Дідушок Олег Васильович — інженер автоматизованих систем керування виробництвом, Вінницька філія ТОВ “КСК Автоматизація”, м. Вінниця.

Oleh Didushok — Industrial Process Automatization Engineer, KSK Automation Vinnytsia branch, Vinnytsia.

МОЖЛИВОСТІ ІОТ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ І ПРОМИСЛОВОСТІ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі дано коротку характеристику можливості використання технології ІоТ для автоматизованого управління технологічними процесами, вказано на переваги використання та сформовано рекомендації для використання даної технології в енергетиці.

Ключові слова: ІоТ, автоматизований, технологічний, ПЛК.

Abstract

The paper gives a brief description of the possibilities of using the IoT technology for automated control of technological processes, identifies the benefits of using it and formulates recommendations for the use of this technology in the energy sector.

Keywords: IoT, automated, technological, PLC.

Вступ

«Інтернет речей (Internet of Things, IoT) - це мережа фізичних об'єктів, які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан і приймати дані ззовні». В умовах переходу України до європейських стандартів та впровадження в багатьох сферах нових інформаційних технологій особливо актуальним стає питання використання технології, що зможе спростити контроль, збір даних на промислових об'єктах.

Так, наприклад, для управління різного роду технологічними процесами використовують ПЛК різних виробників, у кожного виробника обладнання є своя специфіка роботи, одною з напрямків розвитку ІоТ є уніфікація і здешевлення всього обладнання тобто, щоб процес налаштування і мова програм для роботи на ПЛК були однакові[1]. До того ж не потрібно забувати, що вартість якісного ПЛК є достатньо високою. В енергетиці технологія ІоТ має місце в таких сферах, як збір даних і промисловий ІоТ.

Результати дослідження

Node-RED (Нод-РЕД) — інструмент для візуального програмування потоком даних, розроблений працівниками компанії ІВМ для поєднання різноманітних пристроїв, АРІ та онлайн-сервісів як складових частин Інтернету речей.

В області програмного забезпечення технологія Node-RED дозволяє використовувати графічні програмні інструменти для написання примітивів і складних програм для управління технологічними процесами[2]. Крім того, даний інструмент надає величезні можливості роботи з різноманітним обладнанням ПЛК які мають інтерфейс Ethernet, Modbus[2]. Використання Node-RED для написання програм для ПЛК, дозволяє з допомогою однієї мови програмування розбивати системи управління для різноманітного обладнання від різних виробників, це дозволяє пришвидшити процес розробки програмного забезпечення. Оскільки Node-RED є безкоштовним ресурсом, це дає можливість зменшити вартість процесу розробки програмного продукту. Даний інструмент дозволяє створити свій власний вузол з унікальним функціоналом для вирішення різноманітних задач.

Node-RED дозволяє отримати візуалізацію параметрів контролю технологічного процесу з допомогою розроблених блоків візуалізації. Також в програмі реалізовано можливість запису в бази даних, обмін інформацією з низькорівневим обладнанням по протоколам RS232[3].

Нижче наведені рисунки для прикладу систему управління і візуалізацію технологічного процесу, всі налаштування проводяться в редакторі який розвертається в браузері. Це дозволяє використо-

вувати Node-RED на будь-якому комп'ютері з операційними системами Windows і Linux де встановлений інтернет браузер.

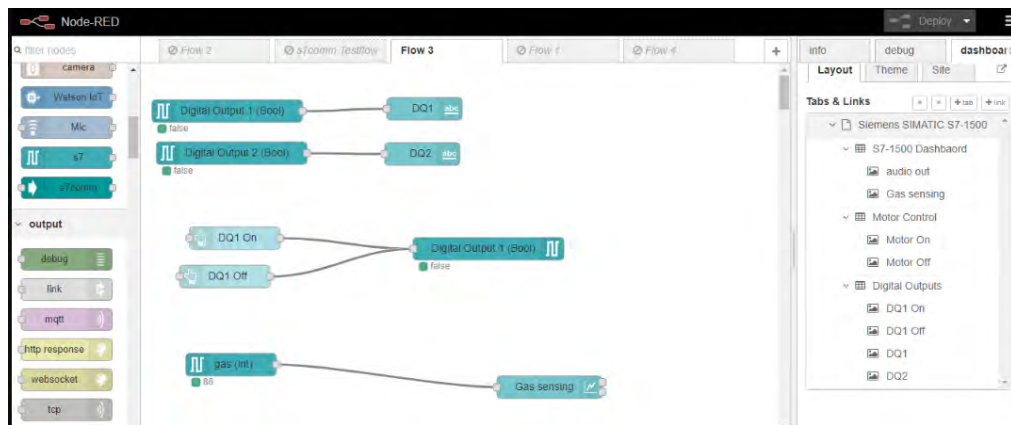


Рисунок 1 – Середовище розробки

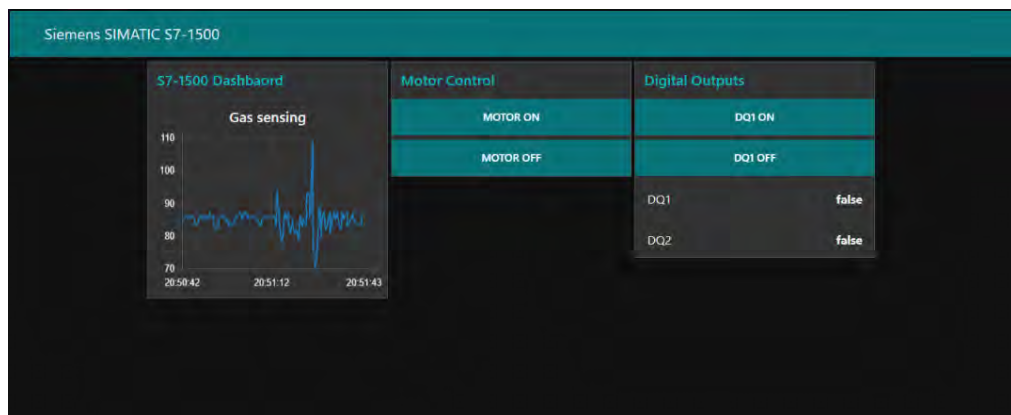


Рисунок 2 – Графічна візуалізація

The screenshot shows the 'Connection' configuration window in the Siemens SIMATIC S7-1500 software. The window has two tabs: 'Connection' and 'Variables'. The 'Connection' tab is active, showing the following fields: IP Address (127.0.0.1), Port (102), Mode (Rack/Slot), Rack (0), Slot (1), Cycle time (2000 ms), Timeout (1500 ms), Debug (Default (command line)), and Name (Name).

Рисунок 3 – Налаштування зв'язку з ПЛК

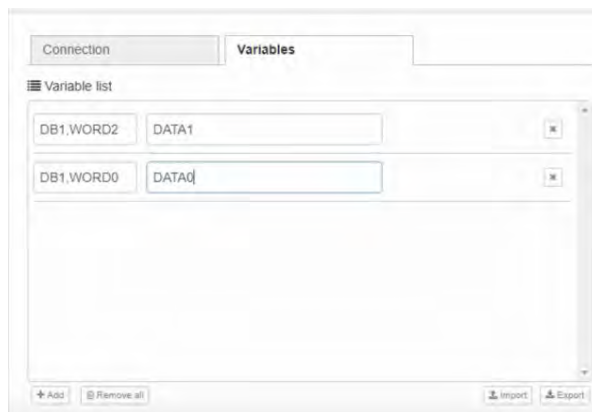


Рисунок 4 – Ініціалізація перемінних для ПЛК

Кожне з'єднання з ПЛК представлено вузлом конфігурації кінцевої точки S7. Є можливість налаштувати адресу ПЛК, доступні змінні та їх адреси, а також час циклу читання змінних.

Широке застосування інструменту Node-RED набуло популярності на однопалатних комп'ютерах, причиною є те що вони дешевші за промислові ПЛК і є більш гнучкими і ширшими у використанні ніж ПЛК.

Висновки

Отже інструмент Node-RED задовольняє всім вимогам до написання програмних продуктів для управління технологічних процесів, у інструмента є розширена бібліотека програмних рішень. Використання інструмента в навчальному процесі покращить розуміння, про те як інтегрувати сучасні технології у виробництво та позитивно вплине на працевлаштування майбутніх спеціалістів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Управління освітленням . Режим досугу: <https://habr.com/ru/post/396985>.
2. ВІКІПЕДІЯ. Node-RED . Режим досугу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Node-RED>.
3. Node-RED . Режим досугу: <https://nodered.org/docs/>.

Паланюк Олександр Вячеславович — аспірант, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksanderp020895@gmail.com

Науковий керівник: **Габко Володимир Віталійович** – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця.

Palanyuk Oleksandr V. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: Grabko Volodymyr V. – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,

ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ ПОШУКУ ТОЧКИ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто питання вибору алгоритму пошуку точки відбору максимальної потужності сонячним модулем в складі фотовольтаїчної станції.

Ключові слова: сонячний модуль, точка відбору максимальної потужності.

Abstract

The question of choosing algorithm of maximum power point tracking by solar module within the photovoltaic station was considered.

Keywords: solar module, maximum power point tracking.

Сьогодні все більшу популярність набувають фотовольтаїчні електростанції. Основною перевагою таких станцій є отримання «чистої» електроенергії, невичерпність. Однак, однією з проблем фотовольтаїчних електростанцій є те, що електроенергія, яка виробляється сонячними модулями має нестабільні показники, оскільки останні залежать від ряду факторів таких як температура навколишнього середовища, рівень освітленості та інші, а це в свою чергу повинно враховуватись системою керування інвертором для правильного вибору його режиму роботи. Мережеві інвертори виконують функцію відслідковування максимальної потужності для усього масиву сонячних модулів, при чому в таких системах інвертор задає струм, який протікає через усі сонячні модулі. Тому для підвищення ефективності роботи інвертора застосовуються різні алгоритми для визначення точки відбору максимальної потужності (MPPT) сонячним модулем [1]. Для MPPT використовуються цифрові пристрої, які аналізують вольт-амперну характеристику для визначення режиму роботи сонячного модуля. Пристрій для MPPT вимірює вихідні характеристики сонячного модуля, задаючи параметри і обчислює таке значення опору (навантаження), яке необхідне для отримання максимальної потужності в даних погодних умовах. Тому MPPT реалізовано в більшості алгоритмів керування мережевими багаторівневими інверторами напруги для відновлювальних джерел електроенергії.

В наш час існує декілька основних алгоритмів пошуку точки відбору максимальної потужності, які базуються на таких методах як: збудження і спостереження, інкрементної провідності, струмової розгортки та постійної напруги. Методи збудження і спостереження та інкрементної провідності є «висхідними» методами за допомогою яких можна знайти локальний максимум потужності для робочого стану масиву сонячних модулів. На основі методу збудження і спостереження можна реалізувати алгоритм трьох точок, який є відносно дешевою альтернативою та має менші коливання навколо точки максимальної потужності, однак вимагає спеціального контролера. Робота MPPT алгоритму, який використовує метод струмової розгортки полягає у використанні сигналу розгортки для струму масиву сонячних модулів для оновлення вольт-амперної характеристики через фіксовані проміжки часу, при чому напруга максимальної потужності буде визначатись з такою ж періодичністю. MPPT алгоритм, який базується на методі постійної напруги (напруги холостого ходу) має просту реалізацію, але є неефективним та неточним через паузи в роботі, які необхідні для визначення напруги холостого ходу.

MPPT алгоритм можна реалізувати використовуючи й інші методи:

- Yan Hong Lim and D.C. Namill метод. Переваги використання: швидка динаміка, система керування робастна, висока ефективність пошуку. Недоліки: астатизм та постійні коливання [2];
- метод Ripple Correlation Control. Переваги: висока точність і швидкодія при частих змінах погодних умов. Недоліки: алгоритм може давати збої при високих частотах комутації [3];
- A load-voltage-based метод з двома ШІП. Переваги: знижений ударний струм та незначні пульсації вхідної та вихідної напруг. Недоліки: складність реалізації [4].

Висновки

Здійснено огляд та порівняння алгоритмів пошуку точки відбору максимальної потужності сонячним модулем в складі фотовольтаїчної електростанції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бомбик В. С. Аналітична модель MPPT-функції системи керування інвертором напруги сонячної електростанції / В. С. Бомбик // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2016. – № 2 (29). – С. 35-46.
2. Yan Hong Lim Simple maximum power point tracker for photovoltaic arrays / Yan Hong Lim, D.C.Hamill // Electronics letters. – 2000. – Vol. 36, N. 11.
3. Trishan Esum Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control / Trishan Esum, Jonathan W. Kimball, Philip T. Krein, Patrick L. Chapman, Pallab Midya. // IEEE Transactions on power electronics. – 2006. – Vol. 21, N 5.
4. Veerachary M Maximum power point tracking of coupled inductor interleaved boost converter supplied PV system / Veerachary M., Senju T., Uezato K. // IEE Proc.-Electr. Power Appl. – January 2003. – Vol. 150, No. 1.

Бомбик Вадим Сергійович – к.т.н., ст. викл. Кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bombyk.v.s@vntu.edu.ua

Bombyk Vadym S. – Phd, senior lecturer, department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bombyk.v.s@vntu.edu.ua

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ В ДВОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод контролю ізоляції полюсів відносно землі двопровідної мережі постійного струму, який ґрунтується на вимірюванні активної складової струму від джерела змінного струму, який накладається на мережу.

Ключові слова: двопровідна мережа постійного струму, контроль ізоляції.

Abstract

A method for controlling the isolation of poles in relation to the ground of a two-conductor DC network is proposed, which is based on the measurement of the active component of the current from the source of AC, which is superimposed on the network.

Keywords: domestic network of direct current, isolation control.

Вступ

Двопровідні мережі постійного струму широко застосовуються на підприємствах хімічної, металургійної, нафтопереробної, гірничовидобувній промисловості, на електричних станціях і підстанціях.

Пошкодження ізоляції полюсів може призвести до виникнення пожежі, вибуху, простою високопродуктивних машин механізмів, ураженню людей електричним струмом.

Метою роботи є підвищення чутливості методу омичного опору ізоляції полюсів шляхом накладання джерела змінного струму промислової частоти, компенсації ємнісної провідності та вимірювання активної складової струму від стороннього джерела живлення.

Результати дослідження

Існуючі методи і засоби контролю ізоляції є недосконалими. Найбільш розповсюдженими є мостові схеми. Вони мають різний рівень чутливості до зміни провідності ізоляції окремих полюсів відносно землі та не реагують на симетричне захищення опору ізоляції полюсів. Методи, які ґрунтуються на принципі накладання гармонічного сигналу на контрольовану мережу, також не забезпечують необхідну чутливість до зміни технічного стану ізоляції полюсів через вплив ємної провідності ізоляції полюсів відносно землі.

Функціональна схема пристрою безпосереднього контролю ізоляції зображена на рис. 1.

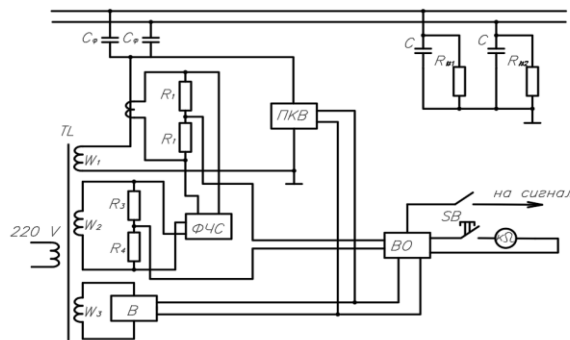


Рис. 1. Функціональна схема пристрою для безпосереднього контролю ізоляції двопровідної мережі постійного струму.

Змінний оперативний струм від обмоток W1 проміжного трансформатора TL подається в розподільчу мережу 1 через фільтр приєднання 2 з ємністю Cφ. Вимірювання ємності C розподільчої мережі здійснюється з використанням LC генератора, який входить до складу пристрою вимірювання і компенсації ПБК. Для вимірювання активної складової струм від оперативного змінного джерела струму використано трансформатор струму ТА, ділянки R1, R2, R3, R4 і фазочутлива схема ФЧС. Напряга обмотки W2 є керуючою, вона тільки відкриває або закриває діодну схему ФЧС. Обмотка W3 проміжного трансформатора TL і випрямляч В виконавчого органа ВО схеми контролю. Кілоомобр кΩ передбачено для періодичного вимірювання опору ізоляції полюсів відносно землі.

Вимірювання значення опору полюсів відносно землі можна визначити як

$$R_{\text{ум}} = \frac{U}{I_a} = R \cdot \frac{(C_\phi + C)^2}{C_\phi} = R \cdot (1 + 2n + n^2) \cdot n_{\text{та}},$$

Де U – напруга джерела живлення; I_a – активна складова струму; $n = \frac{C}{C_\phi}$; $n_{\text{та}}$ – коефіцієнт транс-

формації трансформатора струму ТА; $R = \frac{R_{i31} \cdot R_{i32}}{R_{i31} + R_{i32}}$ – загальний опір ізоляції мережі.

Висновки

Запропонований метод дозволяє здійснювати неперервний контроль омичного опору ізоляції полюсів двопровідної мережі. Методична похибка залежить від співвідношення $n=C/C_\phi$. В реальних умовах $n < 0,01$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутін В.М. Метод та пристрій захисного вимикання двопровідної мережі постійного струму / В.М. Кутін // Промислова електромеханіка та електротехніка: Промелектро. -2003.-№5 - с.34-40.
2. Кутін В.М. Контроль ізоляції двопровідної мережі постійного струму / В.М. Кутін, В.А. Жогов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2002. -№3 -158 с.

Семенюк Ростислав Віталійович — студент групи ЕПА-17м, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenyk.rw@gmail.com

Науковий керівник: **Кутін Василь Михайлович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Semenyuk Rostislav Vitaliyovych - student of the group EPA-17m, faculty of electric power and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : semenyk.rw@gmail.com

Supervisor: **Kutin Vasily Mikhailovich** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of electromechanical systems auto-tion in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ СТУДЕНТАМИ ДИСЦИПЛІН, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ ЗА ОСВІТНЬОЮ ПРОГРАМОЮ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонована технологія навчання та підвищення рівня знань студентів молодших курсів, які знайомляться з елементами дисциплін майбутньої спеціальності через реалізацію та вивчення простих електронних цифрових засобів, функціонування яких відповідає функціонуванню складних вузлів сучасних електромеханічних систем.

Ключові слова: електромеханіка, студенти, рівень знань, якість навчання.

Abstract

The paper suggests the technology for training and improvement of junior students knowledge level, who learn the elements of future specialization subjects through the realization and learning the simple electronic digital devices, which functioning corresponds to the operation of complex aggregates of modern electromechanical systems.

Keywords: electrical engineering, students, level of knowledge, learning quality.

Відомо, що з кожним роком рівень реалізації технічних систем підвищується, а, отже, і рівень навчання в технічних закладах вищої освіти має відповідати потребам ринку. Це обумовлено, в першу чергу, проникненням в усі сфери життєдіяльності інформаційних технологій. І сьогодні, аналізуючи роботу будь-якої технічної (електромеханічної) системи, ми приходимо до висновку, що вони в порівнянні з аналогічними, що впроваджувались 20-30 років тому, мають складнішу структуру. Очевидно, що кожна електромеханічна система в першу чергу має виконувати ті функції, які на неї покладено, тобто в сучасній системі безпосередньо система автоматизації або система електропривода є основою. Але в кожній сучасній системі є і надбудова. Сутність цієї надбудови полягає у необхідності вимірювання цілого ряду електричних та неелектричних величин, первинна їхня обробка з подальшою передачею інформації (інколи через «хмару») оперативному персоналу з введенням додаткових діагностичних функцій, накопиченням статистичної бази режимів роботи, обміном даними різними каналами, із застосуванням нечітких і нейромережевих технологій налаштування та самоналаштування регуляторів систем керування технологічним механізмом. Простою для студента має бути задача налаштування Wi-Fi або GSM модулів, написання або модифікація драйверів для них тощо.

Студентам молодших курсів, які починають вивчати основні електротехнічні дисципліни і не розуміють принципів побудови зазначених систем, складно у відведений термін навчання стати повноцінним фахівцем. Тому виникає питання пошуку інших додаткових технологій навчання студентів.

Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті запроваджує для студентів першого курсу навчально-технічну допомогу для вивчення основ побудови вищевказаних систем. Зокрема, в межах дисципліни «Вступ до фаху» згідно програми студенти мають поверхнево познайомитись зі всіма типами систем, які потрібно освоїти протягом всього циклу навчання. На допомогу їм із залученням студентів старших курсів кафедра розробляє різноманітні компактні пристрої, які допомагають розібратись у тонкощах реалізації складних систем.

Так, наприклад, відомо, що в багатьох випадках обробка інформації здійснюється в цифрових пристроях або мікропроцесорних засобах, які містять функції цифрових пристроїв. Для засвоєння основ цифрової техніки кафедрою із залученням студентів розроблені і розробляються елементарні цифрові пристрої. Зокрема, функція управління «біжучими вогнями» використовується у системі імпульсно-фазового керування тиристорами або транзисторними модулями. Аналогія роботи дозволяє студентам швидше зрозуміти принцип їх організації. Реалізація всеможливих цифрових таймерів дозволяє студентам зрозуміти та уміло застосувати відповідні знання для формування з

різними методами синхронізації формувачів часових інтервалів. Музичні автомати мають аналогію з різноманітними багатофункціональними дільниками частоти і т. ін. Реалізація зазначених та інших пристроїв візуально демонструє студентам особливості функціонування кожного пристрою та результати їхньої роботи в цілому.

Практичний досвід показує, що запровадження такої технології сприяє залученню студентів до творчої наукової діяльності і підвищує рівень розуміння технологій побудови електромеханічних систем.

Висновки

1. Впровадження в навчальний процес для молодших курсів навчання розроблених простих різноманітних цифрових засобів дозволяє підвищити зацікавленість студентів до обраної спеціальності та пришвидшити рівень їхнього зростання як майбутніх фахівців.

2. Безпосередня реалізація студентами найпростіших цифрових розробок підвищує їхній інтерес до наукової діяльності.

Гرابко Володимир Віталійович – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Grabko Volodymyr V. – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

ДІАГНОСТУВАННЯ РОТОРА ПРАЦЮЮЧОГО ГІДРОГЕНЕРАТОРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано підхід, який передбачає врахування короточасних впливів потоків енергії на теплове старіння ізоляції обмоток ротора гідрогенератора, що дозволяє підвищувати точність у визначенні залишкового робочого ресурсу ізоляції обмоток.

Ключові слова: ротор гідрогенератора, діагностування, теплове старіння, температура.

Abstract

There had been suggested an approach allowing to register the short time energy flux influence on heat aging of rotor coil insulation of hydro generator. It allows to improve accuracy in determining the residual operation life of coils insulation.

Keywords: hydro generator rotor, diagnosing, heat aging, temperature, thermal image.

Як відомо, гідрогенератори є специфічними електричними машинами і для їх надійної роботи використовуються різноманітні системи захисту і контролю. Ізоляція обмоток гідрогенератора, як і будь-якого електричного обладнання, під дією температури втрачає свої властивості і у разі некваліфікованої експлуатації може привести до аварійної ситуації. Інтенсивність зносу ізоляції визначається робочими і короткостроковим екстремальними режимами роботи гідрогенератора. Тривалий (усталений) режим роботи характеризується, як правило, стабільною робочою температурою, яка спричиняє рівномірне спрацювання робочого ресурсу ізоляції. Короткострокові зміни режиму роботи гідрогенератора, обумовлені короткими перевантаженнями або струмами короткого замикання, також впливають на остаточний ресурс ізоляції, однак виявляти їх набагато складніше.

В цілому в гідрогенераторах використовують термопари для контролю за температурним станом ізоляції обмоток. Окрему задачею є контроль за тепловим станом ротора, який обертається в процесі роботи. Зауважимо, що зазначені підходи не дозволяють отримувати повну картину теплового стану ізоляції, а, отже, і визначення залишкового робочого ресурсу ізоляції здійснюється з великою похибкою.

В роботі [1] запропоновані тепловізійні методи і засоби діагностування об'єктів, що обертаються, які можуть бути застосованими і для контролю за тепловим старінням обмотки ротора гідрогенератора. Задача ускладнюється тим, що гідрогенератор є машиною закритого виконання і запропоновані засоби безпосередньо застосувати неможливо.

В роботах [2, 3] розроблені засоби, які дозволяють контролювати тепловий портрет ротора гідрогенератора з виведенням інформації про температуру поверхні обмоток в комп'ютер, однак ці засоби не дозволяють оцінювати вплив на процес старіння ізоляції короточасних імпульсів енергії.

В даній роботі пропонується оцінювати температурний вплив на обмотку ротора гідрогенератора за вимірними значеннями струму та напруги в моменти короточасних перевантажень. В подальшому отримана інформація про значення величин та їх тривалість обробляється за математичною моделлю, яка враховує напрям розповсюдження теплового потоку та його безпосередній вплив на кожен шар обмоток. Очевидно, що на внутрішні шари обмоток спрямований додатковий температурний вплив від сусідніх шарів в порівнянні із зовнішнім шаром обмоток.

Комп'ютерне моделювання підтверджує ефективність такого підходу.

Висновки

1. Здійснено аналіз підходів до теплового діагностування обмоток ротора гідрогенератора з метою контролю процесу старіння ізоляції з врахуванням особливостей його роботи.

2. Запропоновано підхід до визначення впливів короточасних потоків енергії на процес теплового старіння ізоляції ротора гідрогенератора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В.В. Методи і засоби для дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями: монографія / В.В. Грабко, В.В. Грабко – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 155 с.
2. Пат. 128524 Україна, МПК G 01 K 13 / 08. Пристрій для безконтактного вимірювання температури ротора гідрогенератора / Грабко В.В., Грабко В.В., Паланюк О.В., Охов В.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201802438; Заявл. 12.03.2018; Опубл. 25.09.2018; Бюл. №21. – 9 с.
3. Пат. 131237 Україна, МПК G 01 K 13 / 08. Пристрій для безконтактного вимірювання температури ротора гідрогенератора / Грабко В.В., Поліщук А.Л., Грабко В.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний університет. – № u201807219; Заявл. 26.06.2018; Опубл. 10.01.2019; Бюл. №1. – 8 с.

Грабко Володимир Віталійович – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Ротар Андрій Вікторович – аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Grabko Volodymyr V. – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

Rotar Andriy V. - Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано підхід для визначення впливу на процес старіння ізоляції обмоток силового трансформатора під дією короточасних внутрішніх та зовнішніх впливів. Показано, що нагрівання обмоток відбувається після завершення дії короточасного імпульсу енергії. Пропонується з використанням теорії теплопровідності оцінювати температуру обмоток та враховувати її при визначенні спрацювання робочого ресурсу обмоток силового трансформатора.

Ключові слова: силовий трансформатор, діагностування, ізоляція обмоток, теплове старіння, пристрій.

Abstract

There had been suggested an approach to determine the impact on the process of power transformer coils insulation aging under the influence of short time internal and external actions. It had been demonstrated that the heating of coils takes place upon the completion of the short time energy pulse. The paper suggests to evaluate the coils temperature and take it into consideration for the determination of tearing the operation resource of the power transformer coils, using the heat conducting theory.

Keywords: power transformer, diagnostics, coils insulation, heat aging, device.

Силові трансформатори енергосистем відносяться до основного силового електрообладнання, яке забезпечує передачу електроенергії. Від їх надійності роботи залежить в цілому робота частини енергосистеми, де трансформатори є ключовим електрообладнанням. Надійність роботи силового трансформатора залежить від його робочого ресурсу, який витрачається нерівномірно протягом робочого циклу в залежності від впливу внутрішніх та зовнішніх факторів. Зокрема, робочий ресурс ізоляції обмоток силового трансформатора залежить від температурного впливу. Відомо, що чим вища температура ізоляції, тим швидше вичерпується її робочий ресурс. В усталеному режимі роботи температура обмоток трансформатора визначається його режимом навантаження або перевантаження. Ця температура ізоляції визначається відповідно до температури верхніх шарів трансформаторного масла. При цьому сенсор температури розташовується саме в цій області, що дозволяє відслідковувати процес старіння ізоляції та враховувати витрачання робочого ресурсу при оцінці залишкового робочого ресурсу ізоляції.

Існують і інші типи впливів на ізоляцію обмоток трансформатора, обумовлені появою короточасних імпульсів електроенергії, які протікають через трансформатор та здійснюють свою руйнуючу дію. Такі імпульси енергії виникають від короточасних перевантажень, наскрізних та внутрішніх струмів коротких замикань тощо.

Враховуючи той факт, що процес розповсюдження температури є інерційним в переважній більшості випадків нагрівання обмоток здійснюється після появи імпульсу енергії. А тому звичайними методами виявити вплив на процес старіння ізоляції обмоток складно, що обумовлює необхідність пошуку нових рішень. Очевидно, що внутрішні витки обмотки матимуть вищу температуру ізоляції в порівнянні з верхніми шарами, що обумовлено впливом сусідніх шарів обмоток. І це свідчить про пришвидшене спрацювання ресурсу ізоляції в середині обмотки.

В роботах [1, 2] запропоновано підходи до контролю за вичерпанням робочого ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора, однак нерозв'язаною залишається задача визначення миттєвого впливу потоку енергії на процес старіння ізоляції.

В даній роботі передбачено дослідження теплових процесів розповсюдження температури в залежності від тривалості та величини короточасних імпульсів впливу на обмотки силового трансформатора. Такий підхід дозволяє шляхом вимірювання миттєвих значень потужності та їх

тривалості впливу оцінювати ступінь старіння ізоляції обмоток силового трансформатора. Очевидно, що розв'язання такої задачі можливе із застосуванням технічного засобу.

Висновки

1. Запропоновано підхід для визначення ступеню теплового старіння ізоляції обмоток силового трансформатора під дією короткочасних імпульсів енергії, обумовлених внутрішніми та зовнішніми факторами впливу.

2. Показана можливість реалізації математичної моделі та технічного засобу діагностування обмоток силового трансформатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В.В. Діагностування трансформаторів власних потреб та систем технологічних захистів енергоблока теплової електростанції: монографія / В.В. Грабко, Д.О. Березницький – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 124 с.

2. Пат. 100440 Україна, МПК G 01 R 29 / 027. Пристрій для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора / Грабко В.В., Бомбик В.С.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний університет. – № u201500997; Заявл. 09.02.2015; Опубл. 27.05.2015; Бюл. №14. – 10 с.

Грабко Володимир Віталійович – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Паланюк Олександр В'ячеславович – аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Grabko Volodymyr V. – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

Palaniuk Olexandr V. - Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено короткий огляд задач, які стосуються дослідження високовольтних вимикачів та діагностування їх технічного стану. Звернено увагу на особливості визначення комутаційного ресурсу в умовах неповної інформації та з врахуванням знаходження високовольтного вимикача під напругою.

Ключові слова: високовольтний вимикач, ресурсні характеристики, діагностування.

Abstract

There had been made a short review of tasks, relating to the examination of high voltage switches and diagnosing of their state. There had been emphasized the peculiarities in determining the switching resource in condition of incomplete data and with consideration that the high voltage switcher is charged with electricity.

Key words: high-voltage switch, life characteristic, diagnosing.

Відомо, що високовольтні вимикачі відносяться до основного силового електрообладнання електричних мереж. Від надійності їх роботи залежить надійність всього тракту передачі електричної енергії.

Роботоздатність високовольтного вимикача визначається багатьма складовими, до яких відносяться ресурсні характеристики, швидкісні характеристики, стан ізоляції, робота привода, механічний ресурс тощо. Результати досліджень викладені в багатьох працях, наприклад [1-3]. Зокрема, комутаційний ресурс залежить від допустимої кількості комутацій певних значень струму. Ці значення, як правило, у вигляді таблиці для декількох точок ресурсної характеристики вказуються у паспорті високовольтного вимикача. Очевидно, що для прийнятної оцінки при визначенні залишкового комутаційного ресурсу вимикача потрібна повна залежність допустимої кількості комутацій від значень комутуваного струму.

В ряді робіт [4-8] запропоновані математичні моделі та технічні засоби, які дозволяють реалізувати комутаційні залежності високовольтних вимикачів, однак запропоновані рішення не дозволяють охопити весь спектр комутаційних апаратів та підходів до визначення залишкового комутаційного ресурсу. Зауважимо, що в даному випадку розглядаються комутаційні апарати, що знаходяться в експлуатації під робочою напругою. Проблема ускладнюється ще й тим, що обмеженість інформації щодо співвідношень між кількістю комутацій та значеннями комутуваного струму не дозволяє приймати однозначне рішення по оцінці залишкового комутаційного ресурсу високовольтного вимикача.

Не менш складною є оцінка комутаційного ресурсу, наприклад, повітряних вимикачів надвисокої напруги, в конструкції яких використовуються головні та дугогасильні контакти.

Тому задача дослідження роботи та діагностування високовольтних вимикачів є актуальною.

В даній роботі пропонується дослідження процесу спрацювання комутаційного ресурсу високовольтного вимикача, який містить дві групи силових контактів – головних та дугогасильних. Очевидно, що проводити натурні експерименти з таким обладнанням не так-то просто, а тому пропонуються підходи, які передбачають імітаційне та комп'ютерне моделювання.

Висновок

Здійснено короткий огляд задач, які стосуються проблем діагностування високовольтних вимикачів. Звернено увагу на можливість визначення їх комутаційного ресурсу в умовах обмеженої інформації та обмеженого доступу до обладнання, що знаходиться під напругою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутін В. М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №1. – С.109–113.

2. Кутін В.М., Рубаненко О.Є., Мисенко С.В. Оптимізація параметрів пристрою контролю швидкісних характеристик високовольтних вимикачів. *Наукові праці ДонНТУ*. Серія: «Електротехніка і енергетика». 2013. № 2 (15). С. 141–146.
3. Грабко В.В. Метод діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача на основі вебер-амперних характеристик / В.В. Грабко, О.В. Дідушок // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2018. – №6. – С.53–61.
4. Грабко В.В. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів. Монографія / В.В. Грабко, Б.І. Мокін – Вінниця: Універсум-Вінниця, 1999. – 74 с.
5. Грабко В.В. До питання побудови ресурсних характеристик повітряних високовольтних вимикачів / В.В. Грабко // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2001. – №4. – С.61–65.
6. Пат. 104549 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу групи комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Янчук О.М.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506643; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.02.2016; Бюл. №3. – 10 с.
7. Пат. 104550 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу повітряних високовольтних вимикачів / Грабко В.В., Грабко В.В., Тимошенко О.Л.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506646; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.02.2016; Бюл. №3. – 10 с.
8. Пат. 105094 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Поліщук А.Л., Грабко В.В., Співак І.А.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506642; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.03.2016; Бюл. №5. – 8 с.

Грабко Валентин Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Осадчий Сергій Володимирович – аспірант факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Grabko Valentyn V. – PhD, Docent, Docent with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

Osadchiy Serhiy V. - Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИВОДНИХ ЕЛЕКТРО-
ДВИГУНІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено математичну модель для визначення напрацювання на відмову приводного двигуна в даних умовах експлуатації.

Ключові слова: діагностування, електропривод, електродвигун.

Abstract

A mathematical model was developed for determining the failure time of a driving engine in the given conditions of operation.

Keywords: diagnostics, electric drive, electric motor.

Сьогодні в переважній більшості випадків застосовують електроприводи (ЕП) змінного струму з асинхронними двигунами. Такі ЕП, у порівнянні з ЕП з двигунами постійного струму, є більш надійними, однак значна частина їх відмов все ще пов'язана з відмовами приводних двигунів. Так, згідно [1] щорічно пошкоджується 20-25% від загальної кількості установлених асинхронних двигунів. В окремих галузях промисловості цей показник може досягати 50% [2].

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором зазвичай розраховані на 15...20 років експлуатації без капітального ремонту за умови їх правильної експлуатації. Однак у реальних умовах мають місце відхилення від номінальних умов експлуатації [2]. Тому визначення фактичного напрацювання на відмову приводного двигуна в даних умовах експлуатації є питанням актуальним.

Залежно від умов експлуатації фактичне напрацювання на відмову T_f приводного двигуна може відрізнятись від паспортного T_n і наближено може бути розраховано так:

$$T_f = T_n \cdot k, \quad (1)$$

де k – експлуатаційний коефіцієнт, який враховує вплив декількох вагових коефіцієнтів ($k_1, k_2, \dots, k_n$), що відображають реальні умови експлуатації:

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n. \quad (2)$$

Визначати експлуатаційний коефіцієнт запропоновано з використанням теорії нечітких множин. Проаналізувавши умови експлуатації приводних двигунів в якості вхідних змінних вибрано такі параметри: температура навколишнього середовища; умови пуску; кількість пусків за годину.

Для даних параметрів було встановлено діапазони значень та їх лінгвістичні оцінки, сформовано експертну базу знань та відповідну базу нечітких логічних рівнянь. Моделювання запропонованої моделі здійснено в середовищі Matlab.

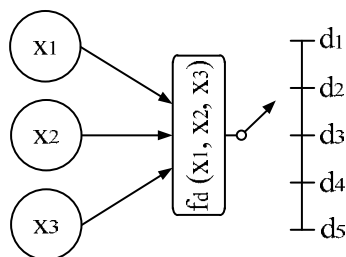


Рис. 1. Дерево логічного висновку

Висновки

Встановлено, що значна частина відмов ЕП обумовлена саме відмовами приводних двигунів. Запропоновано визначати фактичне напрацювання приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнту, що дозволяє враховувати погіршення умов експлуатації привода.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Полковниченко Д. В. Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей / Д. В. Полковниченко // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – № 1. – С. 59–62.
2. Закладний О. М. Методика прискореного діагностування електродвигунів / О. М. Закладний, О. О. Закладний // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2007. – №2. – С. 47–53.

Бабій Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Бартецький Андрій Анатолійович – канд. техн. наук, асистент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Babiy Sergey N. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Bartheckiy Andriy A. – Cand. Sc. (Eng), Assistant of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРА КЕРУВАННЯ СЕРВОДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано підхід до побудови системи керування серводвигуном постійного струму для вирішення задач позиціонування на основі відпрацювання step-dir протоколу керування.

Ключові слова: система керування, серводвигун постійного струму П-регулятор, мікроконтролер, зворотній зв'язок, енкодер.

Abstract

An approach to the construction of a control system for a direct current servomotor for solving positioning problems based on the work of the step-dir control protocol is proposed.

Keywords: control system, direct current servomotor, P-regulator, microcontroller, feedback, encoder.

Вступ

Класично в задачах точного позиціонування використовуються крокові двигуни [1], які безпосередньо отримують сигнали керування у вигляді імпульсної послідовності та перетворюють їх в дискретні переміщення свого вала. Контролери крокових двигунів частіше всього працюють з step-dir протоколом керування. Незважаючи на переваги крокових двигунів вони мають ряд недоліків: постійне споживання енергії, навіть при зменшенні або відсутності навантаження; можливі резонансні явища; із-за відсутності зворотного зв'язку можливі пропуски кроків; падіння крутного моменту на високій швидкості; високі маса та габарити в порівнянні з серводвигунами постійного струму тієї ж потужності.

Тому актуальним є розробка контролерів керування серводвигуном постійного струму для вирішення задач позиціонування на основі відпрацювання step-dir протоколу керування. Такий підхід з використанням серводвигунів постійного струму має ряд переваг в порівнянні з кроковими двигунами: при малих розмірах двигуна можна отримати високу потужність; великий діапазон регулювання; наявність зворотного зв'язку; високий крутний момент по відношенню до інерції; високий крутний момент при високій швидкості, відсутність резонансу і вібрації. висока точність підтримки швидкості і стабільності крутного моменту; висока перевантажувальна здатність; малий момент інерції двигуна, низька вага, компактні розміри.

Метою роботи є поліпшення характеристик електропривода позиціонування за рахунок використання контролера керування серводвигуном постійного струму з відпрацюванням step-dir протоколу керування.

Результати дослідження

В якості об'єкта керування виступає серводвигун постійного струму з магнітоелектричним збудженням ЕМ-115. Живлення обмотки якоря здійснюється від джерела постійного струму через транзисторний міст на схемі L298. Мікроконтролер Atmega 328 виступає пристроєм керування. На вхід мікроконтролера подаються сигнали step-dir протоколу керування та сигнал зворотного зв'язку по положенню від вбудованого в двигун інкрементного енкодера. Вихідними сигналами мікроконтролера є сигнали на пряму та величини заповнення ШІМ напруги, яка подається на якірну обмотку двигуна. Запропоновано алгоритм функціонування контролера керування серводвигуном постійного струму в мікропроцесорному виконанні, що передбачає відпрацювання положення його вала, із заданою швидкістю. Встановлено, що точність відпрацювання положення залежить від роздільної здатності енкодера та параметрів налаштування зони нечутливості. Для забезпечення стійкості та якості регулювання застосовано П-регулятор, та підібрані межі зони нечутливості.

Проведені практичні дослідження контролера серводвигуна постійного струму показали працездатність запропонованих апаратних та алгоритмічних засобів. Точність відпрацювання координати та швидкості, перерегулювання та момент утримання перебуває в заданих межах.

Висновки

Отже підхід до побудови системи керування серводвигуном постійного струму для вирішення задач позиціонування на основі відпрацювання step-dir протоколу керування, дозволяє отримати переваги серводвигуна постійного струму, використовуючи широкий спектр апаратних та програмних засобів, призначених для керування кроковими двигунами. Таким чином виникає можливість модернізації приводів позиціонування на базі крокових двигунів, за рахунок застосування серводвигуна постійного струму із зворотним зв'язком за положенням вже існуючі мікропроцесорні системи в тому числі такий підхід дозволяє розробляти нові та модернізувати існуючі лабораторні стенди для дослідження динамічних характеристик електроприводів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Багатоконтрольний пристрій керування роботом-маніпулятором з електричними сервоприводами постійного струму та інкрементальними енкодерами / І. С. Конох, М. Ю. Базишин // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах.- 2013 .- №2.- С.90-102. - Режим доступу до журналу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>.

Дмитро Петрович Проценко — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Dmytro P. Protsenko — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electromechanical systems automation in in industry and transport departament, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД «ХВИЛЯ» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ В СИСТЕМАХ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВОДИ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблено лабораторний стенд «Хвиля» для дослідження автоматизації в системах перекачування води, який дозволяє дослідити процеси керування під час перекачування води з однієї ємності в іншу. При цьому враховується можливість зворотнього перекачування, перекачування в циркуляційному режимі та відкачування води з однієї ємності в іншу.

Ключові слова: перекачування води, лабораторний стенд, система водопостачання, електропривод насосів, насосна станція, накопичувальна ємність.

Abstract

A laboratory stand "Wave" was developed for the study of automation in water transfer systems, which allows you to explore the control processes during pumping water from one capacity to another. In this case, the possibility of reverse pumping, pumping in circulation mode and pumping water from one capacity to another is checked.

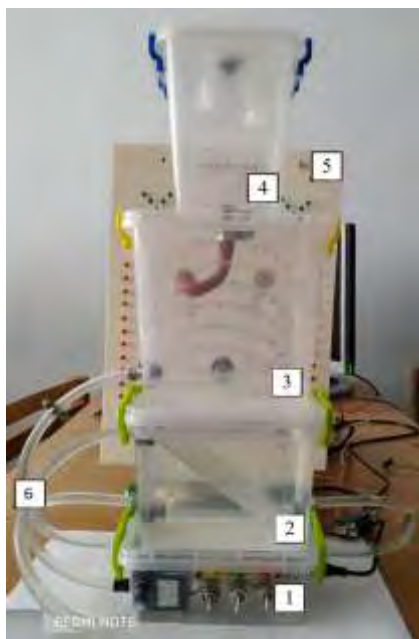
Keywords: water pumping, laboratory stand, water supply system, electric pump, pump station, storage capacity.

Вступ

Якість освіти залежить від кількості проведених лабораторних робіт. Дуже добре коли всі фізичні закономірності можна перевірити експериментальним шляхом. це сприяє кращому засвоєнню матеріалу. Одним із основних механізмів в електроприводі є насос. Системи перекачування води бувають дуже різноманітними. Для вивчення процесів керування електроприводами насосів розроблено лабораторний стенд, у якому використовується три насоси: Н1 («зворотний»), Н2 («фонтан») та Н3 («прямий») та три ємності з водою (рис.1).

Результати дослідження

Загальний вигляд лабораторного стенда «Хвиля» зображено на рис. 1. На рис. 1 позначено:



- 1 – насосна станція з пультом керування;
- 2 – резервуар для води 1;
- 3 – резервуар для води 2;
- 4 – резервуар для води 3;
- 5 – світлодіодна панель;
- 6 – система трубопроводів.

Лабораторний стенд працює наступним чином: при подачі живлення на насосні агрегати, вони починають перекачувати воду з одного резервуару в інший. Насос Н1 забезпечує подачу води з ємності 3 у ємність 2. Крім цього у лабораторному стенді передбачена можливість самовільного стікання води з резервуару 3 в резервуар 2. Тобто, фактично, насос Н1 прискорює процес викачування води з ємності 3. Насос Н2 забезпечує подачу води з резервуару 2 в резервуар 4 через фонтан. Тобто, у резервуарі 4 встановлено фонтан. В ємності 4 також влаштовано самовільний витік води в резервуар 3. За рахунок самовільних витоків у резервуарах вода з верхніх ємностей завжди витікає у нижні під дією сили земного тяжіння. Насос Н3 виконує підйом води з резервуару 2 у резервуар 3 через вертикальне сопло. Таким чином, під час роботи стенду у всіх ємностях працюють фонтани і видно роботу насосів.

Рис. 1. Загальний вигляд лабораторного стенда «Хвиля»

Світлодіодна панель створює світловий ефект під час роботи стенда.

Насосними агрегатами стенду необхідно керувати. Розроблено схеми ручного управління лабораторним стендом (рис. 2а) та автоматичного керування (рис. 2б).

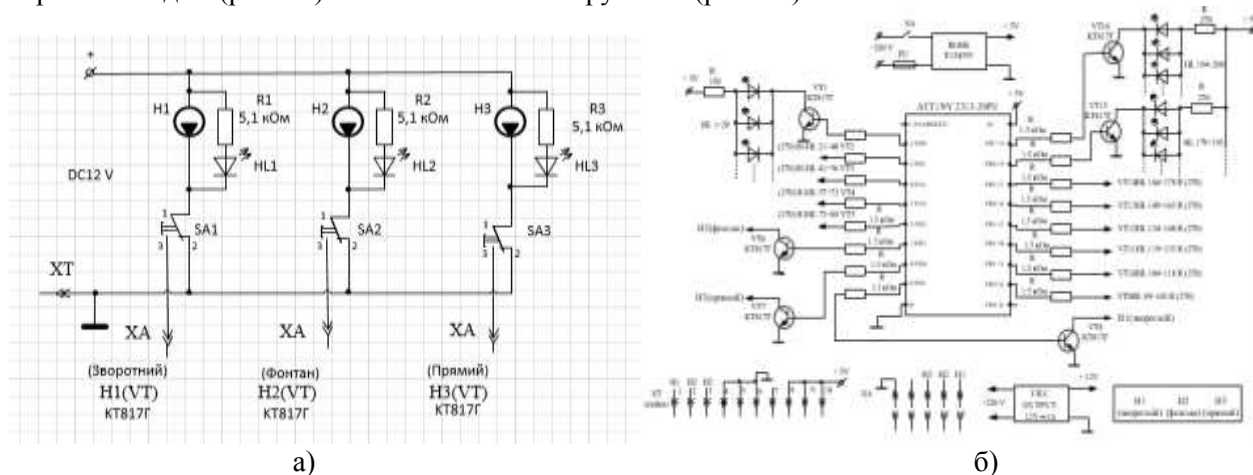


Рис. 2. Схема електрична принципова ручного керування (а) та автоматичного керування (б) насосами стенда «Хвиля»

Перемикачами SA1 – SA3 забезпечується ручне вмикання та вимкнення насосних агрегатів. Світлодіоди інформують про роботу насосів. Мікроконтролер, зображений на рис. 2б, забезпечує автоматичну роботу насосів за певною програмою.

Для виконання лабораторних робіт розроблено методичні вказівки, у яких подається інформація про всі роботи, що можна виконувати на даному стенді.

Автори висловлюють подяку за програмування мікроконтролера стенда доцентам кафедри ЕМСАПТ Грабку В. В. та Проценку Д. П.

Висновки

Лабораторний стенд дозволяє вивчати процеси у системах перекачування води та керування цими процесами; його можна використовувати у лабораторних роботах таких дисциплін: електричні апарати, основи електропривода, електропривод типових виробничих механізмів, автоматизація технологічних комплексів, мікропроцесорні системи керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міліх В. І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка / Міліх В. І., Шавьолкін О. О. – К. Каравела, 2008 – 688 с.
2. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
3. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.

Казак Микола Омелянович — інженер кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Майданський Олександр Дмитрович — студент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Мошнорізі Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

Науковий керівник: **Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

Nikolay Kazak — Engineer of the Department of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Olexandr Maydanskiy — student of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Nikolay Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

Supervisor: **Nikolay Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено математичну модель лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання. Стенд дозволяє виконувати лабораторні роботи з метою вивчення процесів керування електроприводами насосів та системою водопостачання в цілому. Розроблена математична модель забезпечує можливість прогнозування у системах водопостачання і описує роботу системи в режимі перекачування води з однієї ємності в іншу.

Ключові слова: лабораторний стенд, система водопостачання, режим роботи, електропривод, моделювання, структурна схема, Matlab, Simulink.

Abstract

The mathematical model of the laboratory stand for the research of water supply systems was developed. The stand allows for laboratory work to study the processes of controlling electric drives of pumps and the water supply system as a whole. The developed mathematical model provides the possibility of forecasting in water supply systems and describes the operation of the system in the mode of pumping water from one capacity to another.

Keywords: laboratory stand, water supply system, operating mode, electric drive, modeling, structural diagram, Matlab, Simulink.

Вступ

На кафедрі Електромеханічні системи автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету розроблено лабораторний стенд для дослідження електропривода систем водопостачання. Системи водопостачання можуть бути різноманітними. Часто виникає необхідність дослідження таких систем. У роботі пропонується розробити на основі існуючого лабораторного стенда таку математичну модель, яку можна буде використати для дослідження інших систем водопостачання.

Результати дослідження

Математичне моделювання є ефективним методом дослідження роботи технічної системи. Воно дозволяє отримати результати без необхідності проведення реальних експериментів. Крім того, за результатами моделювання роботи пристрою чи системи, можна передбачити їхню поведінку в інших режимах.

Розроблено модель лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання. Для цього використано програмне середовище MatLab, а саме, його підпрограма структурного моделювання Simulink. Структурна схема лабораторного стенда зображено на рис. 1.

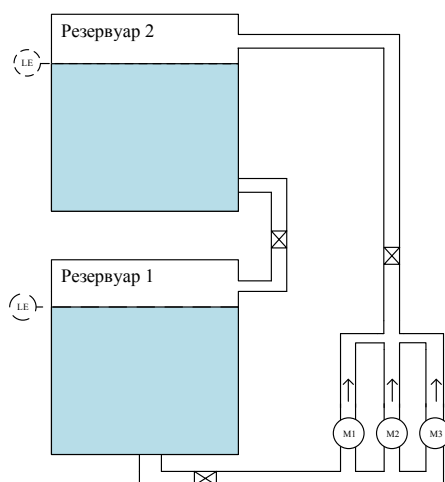


Рис. 1. Структурна схема стенда

Лабораторний стенд складається з двох резервуарів води (нижнього 1 та верхнього 2), трьох насосних агрегатів М1 – М3, вентилів та системи трубопроводів.

Під час роботи насосів вода з нижньої ємності перекачується у верхню і самовільно витікає назад у нижню. Інтенсивність перекачування води можна регулювати швидкістю насосів або прикриттям вентилів в трубопроводах подачі чи перетоку.

Під час виконання лабораторних робіт можна виконувати дослідження кількості спожитої енергії на перекачування певної кількості води; розраховувати коефіцієнт корисної дії електропривода та насоса; обирати оптимальний режим роботи системи; забезпечувати автоматизацію процесу перекачування тощо.

Модель лабораторного стенда в структурному вигляді, зібрана в програмному середовищі MatLab Simulink, зображена на рис. 2.

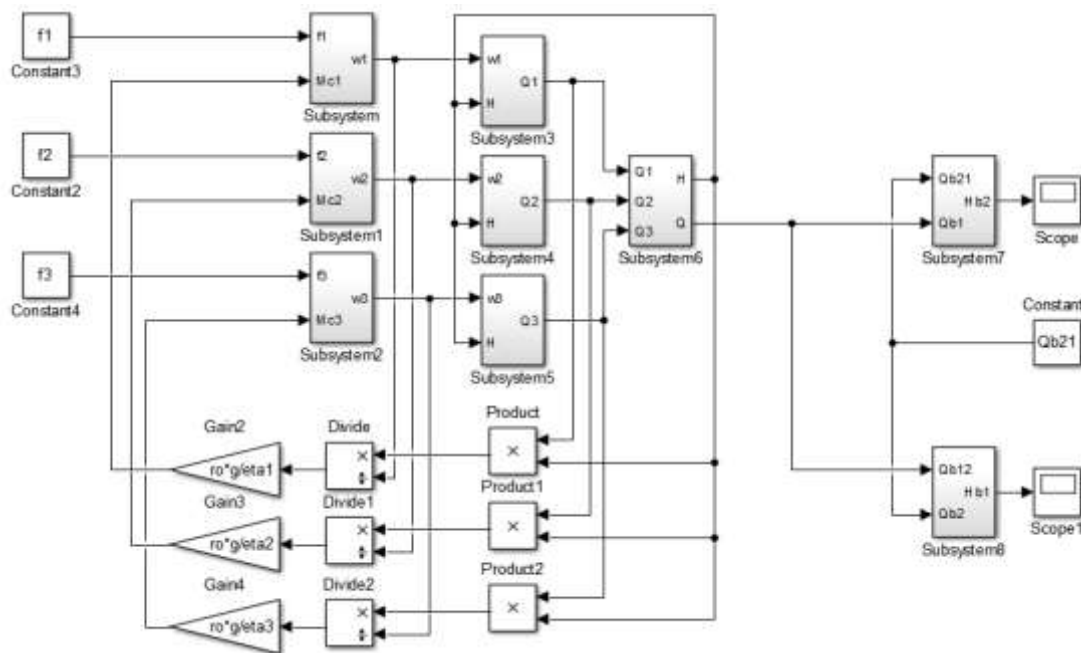


Рис. 2. Модель лабораторного стенда системи водопостачання

На вхід моделі подаються сигнали частоти напруги живлення приводних двигунів насосів f_1 , f_2 , f_3 . Для моделювання електричних двигунів використано лінеаризовану модель асинхронного двигуна. Моделі двигунів на рис. 2 позначено блоками Subsystem – Subsystem2. На виході кожної з них отримується частота обертання ротора. У моделях насосів Subsystem3 – Subsystem5 частота обертання робочого колеса перетворюється у продуктивність кожного насоса Q1, Q2, Q3. Потім у моделі мережі водопостачання Subsystem6 сума продуктивностей насосів дає продуктивність станції Q та напір води H в трубопроводі. Моделі першого та другого резервуарів позначено відповідно Subsystem8 та Subsystem7.

Висновки

Таким чином, розроблена модель лабораторного стенда дозволить отримати всі характеристики стенда під час роботи в різних режимах. Крім того, на основі цієї моделі можна побудувати модель інших систем водопостачання. Результати моделювання лабораторного стенда можна порівняти з реальними експериментальними даними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мошноріз М. М. Розробка методики виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XLVII науково-технічної конференції факультету електроенергетики та електромеханіки (2018), Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4483/3599>.
2. Мошноріз М. М. До питання моделювання технічних об'єктів [електронний ресурс] // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Оптимальне керування електроустановками – ОКЕУ'17», Вінниця, 27.11.2017 – 28.11.2017. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/okeu/okeu/paper/view/3564/3023>.

Федотов Дмитро Юрійович – студент групи ІЕМ-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: arko1398@gmail.com;

Мошноріз Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

Науковий керівник: **Мошноріз Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

Fedotov Dmytro – student group ІЕМ-15b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: arko1398@gmail.com;

Nikolay Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

Supervisor: **Nikolay Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

ВИКОРИСТАННЯ MPPT-КОНТРОЛЕРА В МЕЖАХ ФОТОВОЛЬТАІЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто принцип роботи та доцільність використання MPPT-контролера в складі фотовольтаїчної станції.

Ключові слова: MPPT-контролер, сонячний модуль, мережевий інвертор.

Abstract

The principle of work and expediency of using MPPT-controller in the composition of the photovoltaic station is considered.

Keywords: MPPT-controller, solar module, grid-tied inverter.

В наш час використання відновлюваних джерел енергії набуває все більшої популярності. Зокрема широкого поширення набули фотовольтаїчні електростанції, які порівняно з іншими електростанціями є екологічно чистими та невичерпними. Для збільшення виробітку електроенергії сонячними батареями використовуються контролери пошуку точки відбору максимальної потужності (MPPT-контролери). Такі контролери дозволяють збільшити кількість виробленої електроенергії в порівнянні з широтно-імпульсними контролерами. Встановлення MPPT-контролера (рис.1) в робоче коло сонячних модулів дозволяє збільшити виробіток електроенергії до 30%.



Рис. 1 - MPPT-контролер

Принцип роботи MPPT-контролера полягає в постійному скануванні вольт-амперної характеристики сонячного модуля, перемножає струм і напругу та визначає значення, при яких потужність сонячного модуля буде максимальна. Точка відбору максимальної потужності сонячним модулем може знаходитись різними способами. В найпростішому випадку контролер послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитись десь на проміжку між цими значеннями. Положення точки максимальної потужності залежить від декількох параметрів: рівня сонячної іррадіації, температури, рівня запиленості панелей. MPPT-контролер періодично намагається “відхилитись” від знайденої точки на попередньому кроці в більшу та меншу сторони і якщо потужність більша, то він переходиться на роботу в цій точці.

Використовувати MPPT-контролер можна як і окремо при роботі із кожним сонячним модулем так і при роботі модулів з’єднаних в лінії.

MPPT-контролер може бути складовою мережевого інвертора напруги (рис. 2).



Рис. 2 — Мережевий інвертор напруги

Мережевий інвертор напруги [2] — це пристрій, який перетворює постійну напругу від сонячних модулів в змінну напругу і передає його напряму в мережу, тим самим зменшуючи споживання електроенергії з мережі. Ще однією функцією мережевого інвертора є синхронізація вихідної напруги з мережею. Мережеві інвертори напруги побудовані по модульному принципу для мінімізації втрат і отримання максимальної ефективності від використання сонячної енергії.

Висновки

Здійснено огляд принципу роботи та використання контролерів пошуку точки відбору максимальної потужності, а також мережевих інверторів напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бомбик В. С. Аналітична модель МРРТ-функції системи керування інвертором напруги сонячної електростанції / В. С. Бомбик // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2016. – № 2 (29). – С. 35-46.

2. Corzine K.A. Operation and design of multilevel inverters / K. A. Corzine // University of Missouri: Rolla. - 2005. - P. 79.

Бомбик Вадим Сергійович – к.т.н., ст. викл. кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bombyk.v.s@vntu.edu.ua

Рибанюк Руслан Юрійович — студент групи ІЕМ-186, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rurybanyuk@gmail.com

Bombyk Vadym – Phd, senior lecturer, department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bombyk.v.s@vntu.edu.ua

Rybanyuk Ruslan — student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rurybanyuk@gmail.com

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СЕС

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновані рішення по створенню автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії на об'єктах сонячних електростанцій (надалі СЕС), спрямовані на практичне впровадження сучасних схем, систем і технологій комерційного обліку електричної енергії на підприємстві.

Ключові слова: енергооблік, сонячна електростанція, автоматизація, генерація потужності, сервер.

Abstract

Proposed solutions for the creation of an automated system of commercial electricity accounting at solar power plants are aimed at the practical implementation of modern schemes, systems and technologies for commercial accounting of electric energy at the enterprise.

Keywords: power calculation, solar power plant, automation, power generation, server.

Вступ

АСКОЕ – це система організаційних, математичних, інформаційних, програмно-алгоритмічних і технічних засобів і методів, що входять в структуру автоматизованого обліку і контролю споживання електроенергії. Система призначена для забезпечення безперервного автоматизованого контролю за режимом надходження електричної енергії та електричної потужності, отримання надійних, заснованих на реальних даних, показників роботи, формування документів звітності, вирішення завдань комерційних розрахунків. Особливо такі системи важливі для забезпечення енергообліку на СЕС.

Метою роботи є розробка оптимальної технічних рішень, щодо побудови АСКОВ для використання на СЕС

Результати дослідження

Проаналізувавши особливості та вимоги, відносно систем енергообліку СЕС [1-9] було встановлено, що АСКОВ повинно забезпечувати виконання ряду задач:

- автоматизацію комерційного обліку споживаної електричної енергії та електричної потужності в кожній точці обліку;
- отримання (30, 60 хвилинних) значень потужності в кожній точці розрахункового обліку;
- побудова півгодинних (погодинних) графіків навантажень на добовому, місячному й річному інтервалах часу;
- підвищення швидкості обробки й обміну інформацією;
- підготовку таблиць, довідок, актів, протоколів та іншої необхідної документації по обліку електроенергії;
- підвищення оперативності в управлінні режимами енергоспоживання, визначення й прогнозування усіх складових балансу електроенергії;
- автоматизацію контролю технічного стану засобів обліку електроенергії.

В основу АСКОВ закладені принципи відкритості архітектури, відкритості комунікацій і розподіленого функціонування. Це забезпечує незалежність від технічних засобів обліку й систем зв'язку, легку інтеграцію в існуючі системи обробки даних, поетапне розширення АСКОВ й адаптацію до поточних вимог з мінімальними витратами. У той же час кожний компонент АСКОВ забезпечує погоджений захист даних від несанкціонованого доступу, а також їх безпеку й цілісність.

Висновки

В роботі розглянуто вирішення задачі по оцінці якості виробленої та споживаної потужності на об'єктах СЕС. Приведено найбільш оптимальні рішення, та можливі варіанти їх застосування. Оцінено переваги та недоліки у використанні даних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. «Концепція побудови автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в умовах енергоринку», затверджена 17.04.2000р.
2. «Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії», затверджена Радою оптового ринку електричної енергії України 08.10.1998 р.
3. Технічні вимоги до систем комерційного обліку електроенергії ГKD 34.35-97, затверджені Міненерго України 21.04.1998 р.
4. «Технічні й організаційні вимоги до побудови автоматизованих систем обліку електричної енергії на об'єктах НЕК «Укренерго»» від 29.03.2000р.
5. «Правила устройств электроустановок», изд. 6; Москва, Энергоатом, 1987.
6. ГОСТ 22261-82 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия».
7. ГОСТ 30206-94 (МЭК 687-92) «Статические счетчики ватт-часов активной энергии переменного тока (классы точности 0,2S и 0,5S)»;
8. ГОСТ 30207-94 (МЭК 1036-90) «Статические счетчики ватт-часов активной энергии переменного тока (классы точности 1 и 2)».
9. ГОСТ 26104-89Э «Приборы электронные измерительные, поставляемые на экспорт. Технические требования в части безопасности. Методы испытаний».

Дмитро Петрович Проценко — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Мельник Ілля Володимирович – студент факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Dmytro P. Protsenko — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electromechanical systems automation in industry and transport department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Melnyk Ilya Vladimirovich - a student of the faculty of electricity and electrical engineering, Vinnytsia national technical university, Vinnytsa.

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблено комплексний підхід до моделювання систем транспортування води, який базується на методі електрогідродинамічних аналогій і дозволяє побудувати математичну модель довільної системи транспортування води.

Ключові слова: система транспортування води, електрогідродинамічні аналогії, математична модель, ефективність роботи.

Abstract

An integrated approach to the modeling of water transport systems based on the method of electrohydrodynamic analogies is developed and allows to construct a mathematical model of an arbitrary water transport system.

Key words: water transport system, electrohydrodynamic analogies, mathematical model, efficiency of work.

Вступ

Моделювання широко використовується в дослідженні систем різної природи, але особливого значення воно набуває в житлово-комунальній сфері [1]. Важливе місце у комунальному господарстві обіймає напрям водопостачання та водовідведення. Саме системами транспортування води споживається найбільша кількість електроенергії. Побудова математичних моделей системи водопостачання дозволить обрати доцільний режим роботи системи, дозволить спрогнозувати момент виникнення несправності в системі, виявити місце виникнення несправності та вибрати оптимальний спосіб вирішення чи усунення несправності. Це, у свою чергу, призведе до підвищення ефективності роботи системи водопостачання, зменшить споживання електроенергії насосними станціями, зменшить втрати (витоки) питної води та підвищить рівень комфортності споживача. Таким чином, розглянуте питання є актуальним [2].

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності роботи системи транспортування води за рахунок використання в цих системах комп'ютерного моделювання.

Для досягнення заданої мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- Провести аналіз існуючих систем транспортування води з метою виділити їх основні елементи.
- Розробити комплексний підхід до моделювання існуючих систем транспортування води.
- Розробити моделі основних елементів систем транспортування води з врахуванням комплексного підходу.
- Розробити модель системи транспортування води.

Результати дослідження

Виходячи з аналізу різних систем транспортування води можна виділити класифікацію цих систем за конструктивним виконанням. Відповідно до конструктивного виконання системи транспортування води можна класифікувати на системи водопостачання та системи водовідведення. Системи водопостачання у свою чергу діляться за конструкцією на системи централізованого водопостачання, децентралізованого та оборотного. Системи водовідведення діляться на поверхові та системи каналізації [1, 3].

Основні елементи кожної з названих систем однакові. Провівши аналіз різних систем транспортування води можна виділити сім основних елементів: насосні станції, фільтраційні пристрої, магістральні трубопроводи, резервуари води, водопровідну мережу, запірно-регулююча арматура та джерела водозабору. Таким чином, якщо побудувати моделі кожного з названих елементів, можна буде отримати модель будь-якої системи транспортування води.

Для побудови моделей елементів системи транспортування води пропонуємо використати метод

електрогідродинамічних аналогій. Ідея методу полягає у тому, що між основними гідравлічними параметрами існує такий самий зв'язок, як і між певними електричними параметрами. Кожен елемент системи транспортування води пропонується представити ділянкою електричного кола, яка описується певною системою рівнянь. Якщо розв'язати таку систему рівнянь, то можна отримати чітку залежність між основними електричними параметрами. Використовуючи метод аналогій отриману залежність можна перетворити в аналогічну для гідравлічних параметрів. Таким чином, використовуючи відомі методи аналізу електричних кіл, можна отримати моделі гідравлічних процесів.

У роботі я пропоную виконати заміну основних елементів системи транспортування води на ділянки електричного кола відповідно до рис. 1.

• Насосна станція.

• Трубопровідна мережа.

• Користувач

• Запірна арматура.

• Резервуари води.

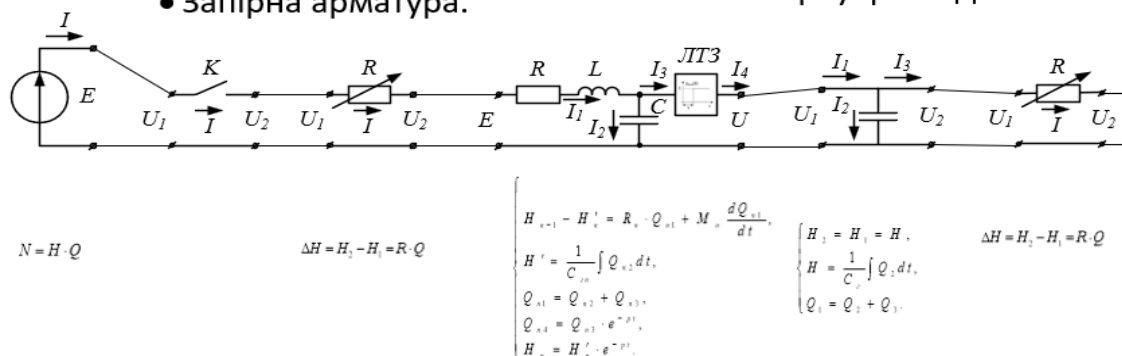


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема та математична модель гідравлічної системи

Висновки

Виконано аналіз існуючих систем транспортування води і виділено сім основних елементів системи: насосні станції, джерела водозабору, трубопровідні мережі, магістральні трубопроводи, комутаційна апаратура, резервуари води та фільтруючі пристрої систем очистки води. Розроблено комплексний підхід до моделювання існуючих систем транспортування води, який базується на методі електрогідродинамічних аналогій. Розроблено математичні моделі основних елементів систем транспортування води з врахуванням комплексного підходу. Для прикладу розроблено модель системи транспортування води, що складається з насосної станції, водонапірної башти біля споживача і мережі водопостачання. Запропонований підхід дозволить виконати моделювання довільної системи транспортування води, що допоможе покращити ефективність роботи таких систем та зменшити споживання електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 359 с.
2. Мошноріз М. М. Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XVI Міжнародної конференції КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ (КУСС-2018), Вінниця, ВНТУ, 15-17 жовтня 2018 року. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mccs/mccs2018/schedConf/presentations?searchField=&searchMatch=&search=&track=0>.
3. Мошноріз М. М. Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів // Вісник НТУ «ХПІ». - №19 (1241). - 2017. - С. 80 - 85. ISSN 2411-2798.

Мошноріз Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua.

Moshnoriz Nikolai Nikolaevich – PhD, associate professor of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ МЕТЕОСТАНЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено метеостанцію з автономним живленням від сонячної панелі. Виміряні дані передаються на сайт, на якому здійснюється їх візуалізація у вигляді відповідних графіків.

Ключові слова: метеостанція, метеорологічні показники, мікроконтролер, алгоритм.

Abstract

Meteorological station was developed with autonomous power from solar panel. Measured data is transmitted to the site, where they are rendered in the form of corresponding charts.

Keywords: meteorological station, meteorological indicators, microcontroller, algorithm.

Сучасні системи автоматизації нерідко потребують інформації про метеорологічні показники.

Існує безліч систем моніторингу погоди. Їх вартість може суттєво відрізнятися. Дешеві метеостанції не придатні для використання в таких системах, як «розумний будинок», автоматизація управління мікроклімату теплиць тощо, а дорогі – недоцільно використовувати в невеликих системах.

Тому доцільно розробити власну метеостанцію, яка, з однієї сторони, володіла б всіма необхідними функціями, а з іншої – була б недорогою при реалізації.

В процесі досліджень розроблена бездротова метеостанція на базі мікроконтролера NodeMCU з автономним живленням від сонячної панелі (рис. 1).



Рис. 1. Зовнішній вигляд метеостанції

Метеостанція містить зовнішню систему збору метеорологічних показників та внутрішню систему прийому інформації з її систематизацією.

Функціональна схема метеостанції приведена на рис. 2.

Сенсори тиску, температури й відносної вологості виконані на основі мікросхеми BME280. Інтерфейси підключення – I2C. Параметри сенсорів приведені в табл. 1.

Табл. 1. Параметри сенсорів

Показник	Вимірювання температури	Вимірювання вологості	Вимірювання тиску
Межі вимірювання	-40°C ... 85°C	0% ... 100%	300 гПа ... 1100 гПа
Точність вимірювання	0,5°C ... 1°C	3%	1 гПа

Вимірювання ультрафіолетового випромінювання виконується за допомогою цифрового сенсора VEML 6070. Інтерфейс датчика – I2C. Анемометр виконано на базі сенсора Холла.

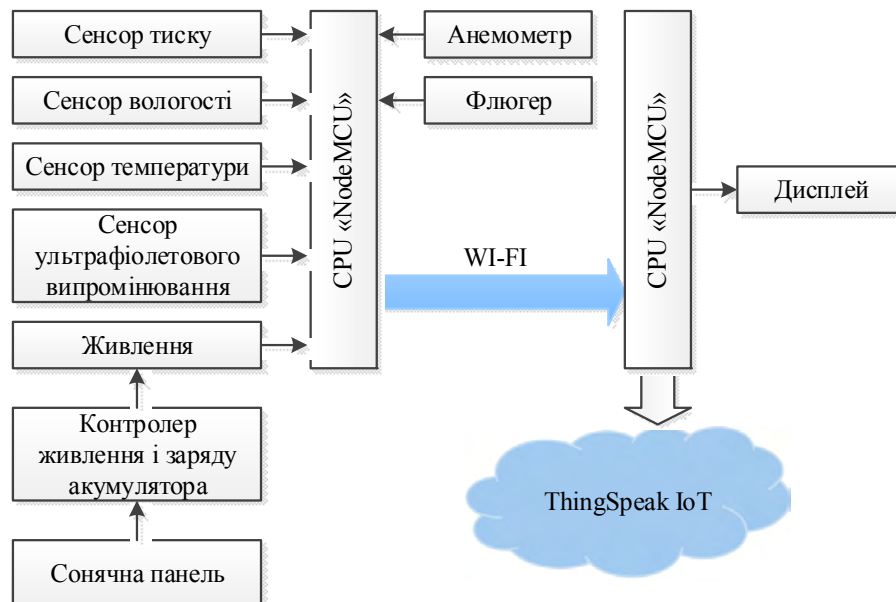


Рис. 2. Функціональна схема метеостанції

Алгоритм роботи метеостанції приведено на рис. 3.

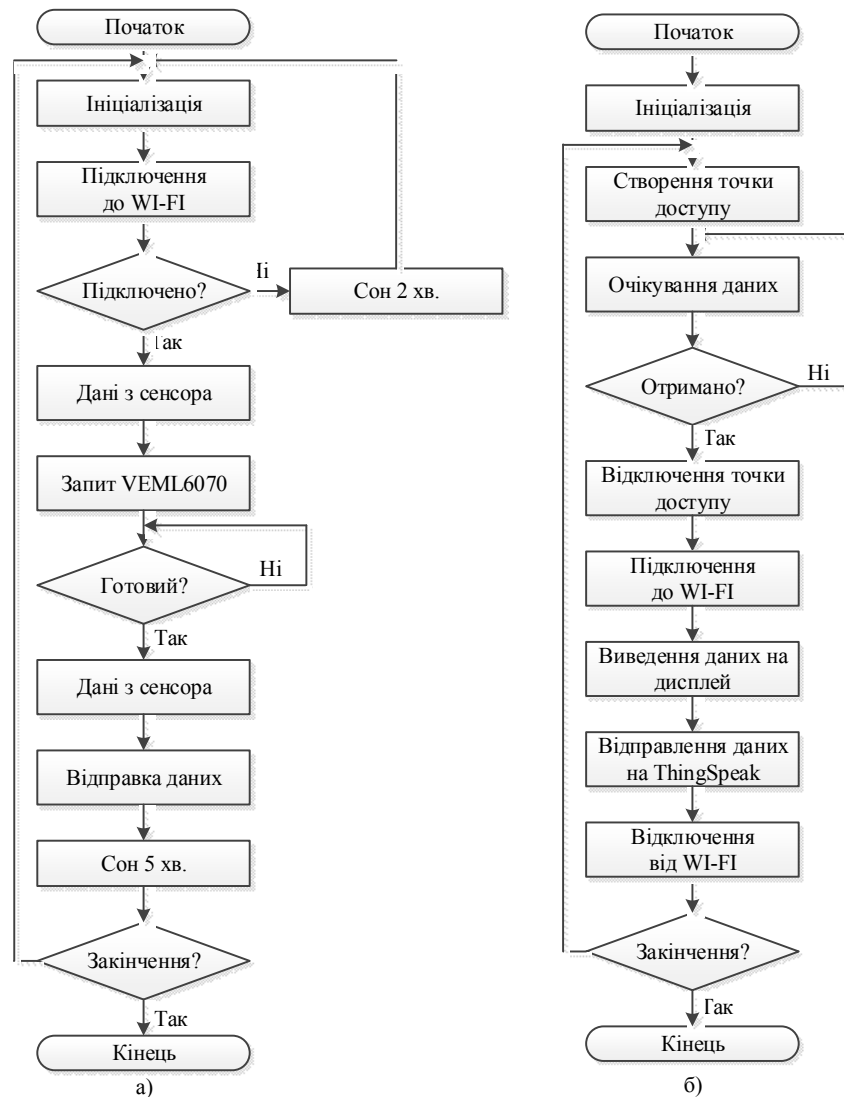


Рис. 3. Алгоритм роботи метеостанції: а) зовнішньої частини; б) внутрішньої частини

Виміряні дані відправляються на сайт ThingSpeak.com. При надходженні інформації з контролера, алгоритми сайту перетворюють її у відповідні графіки (рис. 4).

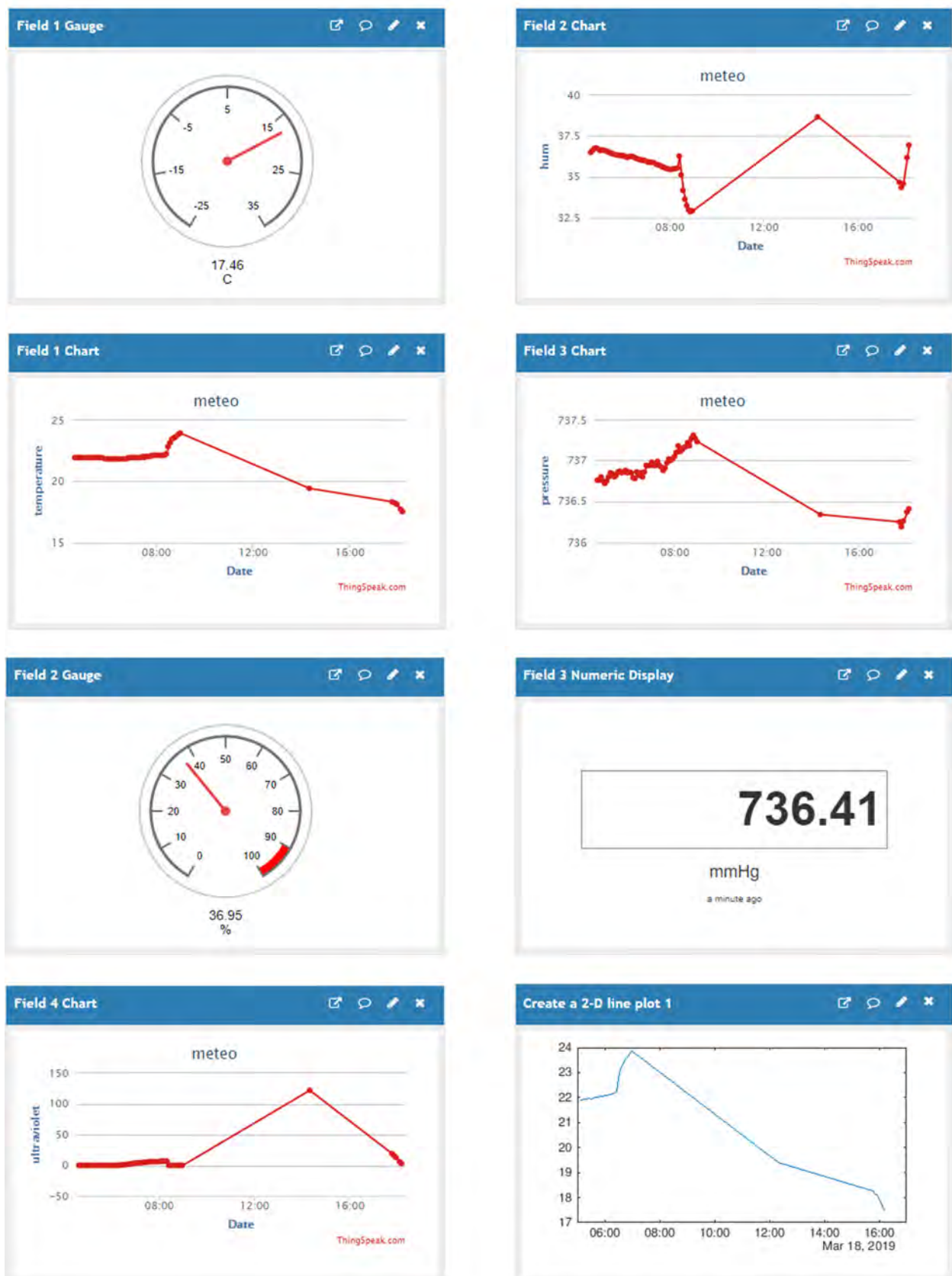


Рис. 4. Графіки вологості, тиску, температури та рівня ультрафіолетового випромінювання

Висновки

Запропоновано варіант реалізації автономної метеостанції як дешевого аналога заводських рішень з моніторингу погоди й подальшої її обробки. Система реалізована на базі мікроконтролера NodeMCU з можливістю передачі даних на сайт ThingSpeak.com та візуалізацією даних у вигляді відповідних графіків.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Ільницький Андрій Олексійович – студент групи ЕМ-17бмс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ilnickii1997@gmail.com

Чернявський Дмитро Русланович – студент групи ЕМ-17бмс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Ilitskyi Andrii A. – student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ilnickii1997@gmail.com

Chernyavskiy Dmitro R. – student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ПІДГОТОВКА ДО ВИКОНАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗА МЕТОДОМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОДНОГО КЛАСУ ЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено розрахунок згідно приведеного методу ідентифікації математичної моделі одного класу лінійних динамічних систем зі змінними параметрами електроприводу підйомного крану, шляхом підстановки реальних фізичних показників системи.

Ключові слова: рівняння динаміки, моделювання, електропривод, крановий механізм.

Abstract

The calculation according to the given method of identification of a mathematical model of one class of linear dynamic systems with variable parameters of the electric drive of a crane is carried out, by substituting real physical indicators of the system.

Keywords: dynamics equation, simulation, electric drive, crane mechanism..

Вступ

В опублікованих раніше публікаціях наведено [1, 2, 3], що не врахування змінності в часі приведенного моменту інерції та моменту навантаження при роботі кранового механізму вносить суттєву похибку при розрахунку його оптимального керування.

Основна частина

Вирішенням даної задачі запропоновано використання загального рівняння динаміки у вигляді

$$\frac{d(J\omega)}{dt} = J(t) \frac{d\omega}{dt} + \omega(t) \frac{dJ}{dt} = M_{ed} - M_w(t) = \Delta M(t)$$

в якому враховуються дані зміни. Приведений в роботі [3] метод ідентифікації даної моделі в якому з підстановкою символічних значень параметрів системи, отримано її розв'язок

$$\omega = \frac{(b_{\omega}^2 - \Delta_{\omega}) \left(e^{\sqrt{\frac{4\Delta_{\omega}}{\Delta_t}} \arctg \frac{2a_t \sqrt{\Delta_t} t}{\Delta_t + b_t^2 + 2a_t b_t t}} - 1 \right)}{2a_{\omega} \left(b_{\omega} (1 - e^{\sqrt{\frac{4\Delta_{\omega}}{\Delta_t}} \arctg \frac{2a_t \sqrt{\Delta_t} t}{\Delta_t + b_t^2 + 2a_t b_t t}}) + \sqrt{-\Delta_{\omega}} (1 + e^{\sqrt{\frac{4\Delta_{\omega}}{\Delta_t}} \arctg \frac{2a_t \sqrt{\Delta_t} t}{\Delta_t + b_t^2 + 2a_t b_t t}}) \right)},$$

що, дозволяє виконувати числовий розрахунок параметрів системи при довільному виборі її складових.

Для моделювання роботи кранового механізму в ППП Mathcad був виконаний запропонований метод ідентифікації для розрахунку необхідних для моделювання значень. Фрагмент виконання даної математичної моделі приведено на рис. 1

$$a_t := \frac{c_{2*}}{2}$$

$$b_t := -c_{1*}$$

$$c_t := J_{0*}$$

$$\Delta_t := 4 \cdot a_t \cdot c_t - b_t^2$$

$$a_w := -M_p \cdot k_2$$

$$b_w := M_p \cdot k_1$$

$$c_w := M_p - M_w(t_4)$$

$$\Delta_w := 4 \cdot a_w \cdot c_w - b_w^2$$

$$w(t) := \frac{(b_w^2 - \Delta_w) \left(e^{\sqrt{-\frac{4 \cdot \Delta_w}{\Delta_t}} \cdot \arctan\left(\frac{2 \cdot a_t \cdot \sqrt{\Delta_t} \cdot t}{\Delta_t + b_t^2 + 2 \cdot a_t \cdot b_t \cdot t}\right)} - 1 \right)}{2 \cdot a_w \cdot \left(b_w \cdot \left(1 - e^{\sqrt{-\frac{4 \cdot \Delta_w}{\Delta_t}} \cdot \arctan\left(\frac{2 \cdot a_t \cdot \sqrt{\Delta_t} \cdot t}{\Delta_t + b_t^2 + 2 \cdot a_t \cdot b_t \cdot t}\right)} \right) + \sqrt{-\Delta_w} \cdot \left(1 + e^{\sqrt{-\frac{4 \cdot \Delta_w}{\Delta_t}} \cdot \arctan\left(\frac{2 \cdot a_t \cdot \sqrt{\Delta_t} \cdot t}{\Delta_t + b_t^2 + 2 \cdot a_t \cdot b_t \cdot t}\right)} \right) \right)}$$

Рис. 1 – Фрагмент розрахунку математичної моделі в ППП Mathcad

Висновки

Виконана математична модель дозволить отримати значення системи для її подальшого моделювання в ППП Matlab з використанням ПП Simulink. А можливість зміни початкових параметрів дозволить оптимізувати процес розрахунку та дати змогу зосередитись на процесі моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mokin B. I. Synthesis of mathematical models for one class of electromechanical systems with variable parameters. Electrical and Computer Engineering (UKRCON) [Text] / B. I. Mokin, O. B. Mokin, O. M. Kryvonis // 2017 IEEE First Ukraine Conference on(YSF-2017). -2017. -DOI:10.1109/UKRCON.2017.8100504.
2. Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, та О. М. Кривоніс, «Моделювання режимів роботи системи керування електроприводом підйомного крану з врахуванням змін в часі моменту інерції махових мас.» на XIV Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)». Тези доповідей, Вінниця, 2018, с. 14.
3. Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, та О. М. Кривоніс, «Метод ідентифікації математичної моделі одного класу лінійних динамічних систем зі змінними параметрами.» Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2018. № 6, с. 62-86.

Борис Іванович Мокін — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, професор кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail borys.mokin@gmail.com;

Мокін Олександр Борисович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email:abmokin@gmail.com;

Кривоніс Олександр Михайлович — аспірант кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kryvonis.ol@gmail.com.

Mokin I. Borys — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Professor of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: borys.mokin@gmail.com;

Mokin B. Oleksandr — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: abmokin@gmail.com;

Kryvonis M. Oleksandr — post-graduate student of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kryvonis.ol@gmail.com.

ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ ПРИСВЯЧЕНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯМ З ТЯГОВИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЗМІННОГО СТРУМУ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Здійснено огляд наукових праць присвячених дослідженню електромобілів з тяговими електроприводами змінного струму, законам оптимального руху електромобіля, системам керування електроприводів та стратегій по мінімізації споживання енергії акумуляторних батарей.

Ключові слова: електромобіль, електропривод, асинхронний двигун, синхронний двигун, інвертор, система керування, акумуляторні батареї.

Abstract

An overview of scientific works devoted to the study of electric vehicles with traction electric drives of alternating current, the laws of optimal motion of electric vehicles, control systems of electric drives and strategies for minimizing the energy consumption of rechargeable batteries.

Keywords: electric vehicle, electric drive, induction motor, synchronous motor, inverter, control system, rechargeable batteries.

Вступ

Зважаючи на теперішній стан розвитку людства можна впевнено сказати що наш вплив на екологію та і світ в цілому є досить значним. До того ж ми не стоїмо на місці а невпинно продовжуємо розвиватись і збільшуємо відповідно свій вплив на середовище в якому перебуваємо. І варто все більше приділяти уваги тому як саме ми здійснюємо вплив, контролювати його. Тому важливим є завдання сприяти та пришвидшувати перехід, шляхом їх вдосконалення, від транспортних засобів із двигунами внутрішнього згорання, які є досить значним джерелом забруднення, до екологічно безпечніших електромобілів.

Результати огляду

Здійснивши огляд наукових робіт можна сказати що для розвитку екологічних електричних транспортних засобів приділяється достатньо уваги, проте все ще необхідно прикласти багато зусиль для вирішення нагальних питань, що мають місце в даному виді транспорту.

Для легкових електричних транспортних засобів, на сьогодні, застосовують переважно двигуни змінного струму. Використовуються як асинхронні двигуни, яким присвячені роботи [1], [2], [3], так і синхронні [4], [5].

Експеримент, що провели автори роботи [1] із живленням асинхронного двигуна від двох інверторів (рисунок 1) підтвердив їхні теоретичні дослідження щодо зменшення струмових пульсацій, зменшення акустичних шумів та електромагнітного випромінювання. Проте експеримент проводився із двигуном при роботі без навантаження та без динамічних режимів

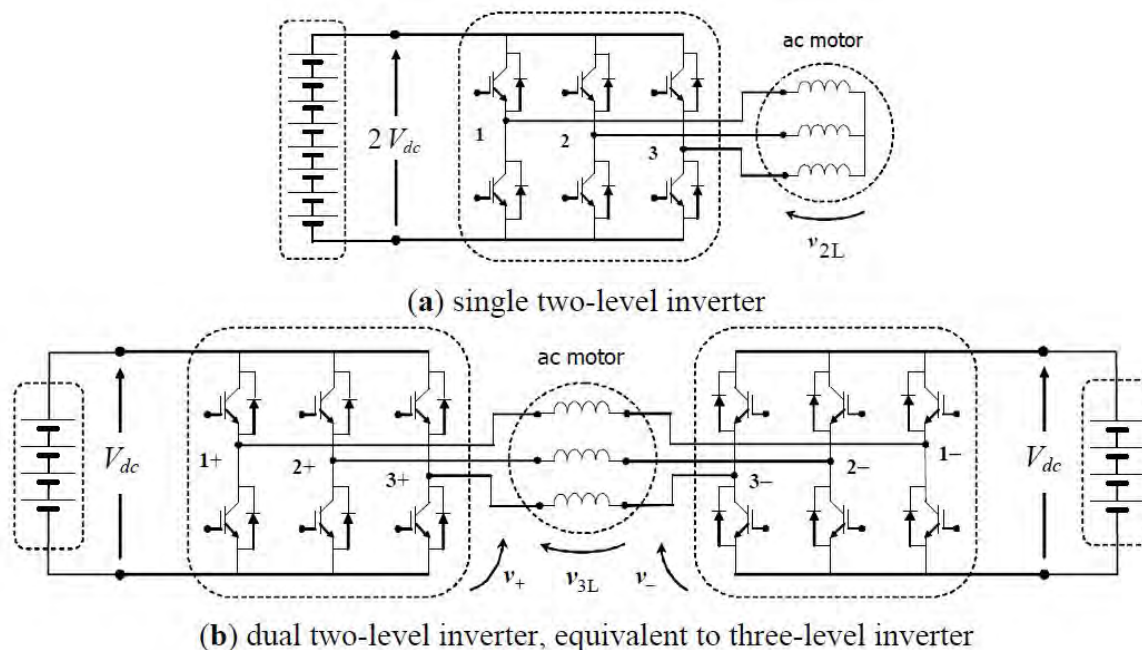


Рисунок 1 - Схеми підключення асинхронного двигуна (а) від одного інвертора за схемою з'єднання зірка та (b) від двох інверторів за схемою прохідного типу.

Системи керування асинхронним двигуном представлені в роботах [2], [3] а система керування синхронним двигуном в роботі [4]. В [2] система побудована на основі непрямого векторного керування, ПІ-регуляторі швидкості із системою усунення затримок та системі керування струмом гістерезису для трифазного асинхронного двигуна. В роботі [3] система керування побудована на основі Процесора Цифрових Сигналів (Digital Signal Process). Для синхронного електропривода [4] систему керування було розроблено за допомогою мови опису апаратури інтегральних схем аналогових та змішаних сигналів (з англ. Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language - мова опису апаратури інтегральних схем, analog and mixed-signal extensions - аналогових та змішаних сигналів [6]). Проте моделювання що здійснене в роботі [2] за допомогою Matlab/Simulink, моделювання роботи [4], що виконане в Simplorer [7], та експеримент роботи [3] проведені за умов руху транспортного засобу при сталій швидкості, при прискоренні та сповільненні, (також, лише в [3], [4] виконано рух на підйом і спуск) не були враховані інші можливі випадки руху електромобіля а також вплив погодних умов на рух транспортних засобів.

Роботи [5], [8], [9] націлені на мінімізацію споживання заряду акумуляторних батарей. Моделювання що проводилися в роботі [5] за допомогою Matlab/Simulink дозволило знайти мінімальну конфігурацію акумуляторних батарей що задовольняє потреби електричного транспортного засобу за енергетичними показниками, але оскільки основна увага приділена системі живлення електричного транспортного засобу, значно менше уваги приділено іншим елементам електромобіля (електричні машини, силовій електроніці, батареям тощо).

Завданням мінімізації споживання заряду акумуляторних батарей гібридного автомобіля присвячено роботу [8] шляхом оптимізації передачі крутного моменту від електродвигуна до приводного валу автомобіля. Кожна складова моделі що пройшла симуляцію в Matlab/Simulink була просимульована окремо для того щоб впевнитись у відповідності їх реакцій при статичних і динамічних режимах. Симуляція хоть і містила в собі динамічні режими роботи електропривода, проте аналогічно роботам [2], [3], [4] автори обмежились лише режимами

прискорення та сповільнення, не проводячи симуляцію інших можливих режимів водіння та впливу погодних умов.

В роботі [9] представлена адаптивно еквівалентна стратегія мінімального живлення (A-ECMS) для електробуса. Результати показали, що адаптивно еквівалентна стратегія мінімального споживання забезпечує повне використання потужності акумуляторних батарей. Проте дана стратегія розроблена на основі даних здійснених циклів водіння на фіксованих маршрутах.

Висновки

Із огляду наукових праць видно, що дослідженню проблем електромобілів приділяється суттєва увага. В роботах досліджуються як асинхронні так і синхронні електроприводи, їх системи управління, різні стратегії мінімізації витрат заряду акумуляторних батарей, проте законам оптимального руху якщо і приділяється увага то не в повній мірі, приймається багато спрощень параметрів які можуть суттєво вплинути на рух та витрати заряду акумуляторних батарей електромобіля. Тому метою наступних досліджень поставлено завдання розробити закони оптимального руху електромобіля з електроприводом змінного струму на ділянках дороги, які містять не лише горизонтальні ділянки, але і спуски та підйоми і повороти, а також враховуючи погодні умови, використовуючи критерій оптимізації у вигляді функціоналу, яким визначаються витрати електроенергії, що надходить від силової акумуляторної батареї, та який мінімізується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jelena Loncarski, Mats Leijon, Milan Srndovic, Claudio Rossi and Gabriele Grandi. Comparison of Output Current Ripple in Single and Dual Three-Phase Inverters for Electric Vehicle Motor Drives, *Energies* 2015, Vol. 8(5), 3832-3848 pp.; Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/en8053832>
2. Prasun Mishra. Design and Implementation of Speed Controller with Anti-Windup Scheme for Three Phase Induction Motor Used in Electric Vehicle, *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 89 – No 9, March 2014, Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Prasun_Mishra3/publication/262985880_Design_and_Implementation_of_Speed_Controller_with_Anti-Windup_Scheme_for_Three_Phase_Induction_Motor_Used_in_Electric_Vehicle/links/592013ae458515e3d401ceec/Design-and-Implementation-of-Speed-Controller-with-Anti-Windup-Scheme-for-Three-Phase-Induction-Motor-Used-in-Electric-Vehicle.pdf
3. Saidi Hemza, Noureddine Mansour, Midoun Abdelhamid. Electric Vehicle Speed Control using Three Phase Inverter operated by DSP-based Vector Pulse Width Modulation Technique, *International Journal of Control Systems and Robotics*, Vol. 2, 2017, Режим доступу: [http://www.iaras.org/iaras/filedownloads/ijcsr/2017/011-0031\(2017\).pdf](http://www.iaras.org/iaras/filedownloads/ijcsr/2017/011-0031(2017).pdf)
4. K. Jaber, A. Fakhfakh and R. Neji. Modeling and Simulation of High Performance Electrical Vehicle Powertrains in VHDL-AMS, *Electrical Vehicle Design and Modeling*, 2011, 25-40 pp., Режим доступу: <https://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/modeling-and-simulation-of-high-performance-electrical-vehicle-powertrains-in-vhdl-ams/>
5. Erik Schaltz - Electrical Vehicle Design and Modeling, *Electrical Vehicle Design and Modeling*, 2011, 1-24 pp., Режим доступу: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/19571.pdf>
6. Мова опису апаратури інтегральних схем / Вікіпедія. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/VHDL>
7. Ansoft Designer / Вікіпедія. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ansoft>
8. Sanjai Massey. Modeling, simulation and control of hybrid electric vehicle drive while minimizing energy input requirements using optimizing gear ratio, *Open Access Master's Report, Michigan Technological University*, 2016, Режим доступу: <https://digitalcommons.mtu.edu/etdr/133/>
9. Hongwei Liu, Chantong Wang, Xin Zhao and Chong Guo. An Adaptive-Equivalent Consumption Minimum Strategy for an Extended-Range Electric Bus Based on Target Driving Cycle Generation, *Energies*, July 2018, Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/7/1805>

Вадим Вікторович Горенюк — аспірант кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, факультет електроенергетики електротехніки та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gvv.ghost@gmail.com;

Науковий керівник: **Борис Іванович Мокін** — акад. НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Horeniuk Vadym V. — Postgraduate Student of the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Faculty of Electric Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : gvv.ghost@gmail.com;

Supervisor: **Mokin Borys I.** — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКІВ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ПАРИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наведений опис програмної реалізації математичної моделі стану води та пари. Показані похибки розрахунків для різних ділянок діаграми стану водяної пари.

Ключові слова: паротурбінна установка, ентальпія, ентропія, коефіцієнт корисної дії.

Abstract

The description of the program realization of the mathematical model of water and steam state is given. Calculations error for different sections of the diagram of the state of water vapor is shown.

Keywords: steam turbine installation, enthalpy, entropy, coefficient of performance.

Вступ

В проектуванні котельних установок теплових електростанцій (ТЕС), паротурбінних установок ТЕС та атомних електростанцій (АЕС) визначаються параметри води та пари. Звіти ТЕС за формою №3 – тех. “Техніко-економічні показники роботи устаткування” також складаються за допомогою розрахунків параметрів води та пари. За цією формою коефіцієнт корисної дії (ККД) паротурбінної установки розраховується діленням вихідної електричної потужності електрогенератора на потужність теплоти підведеної до робочого тіла в парогенераторі. Ця теплота при розрахунку за прямим тепловим балансом визначається через різницю ентальпій пари та води на виході та вході до парогенератора. Поняття «ентальпія» (від грецького *ενναλπω* – нагріваю) було введено голландським фізиком Хейке Камерлінг-Оннесом. Перевага цього поняття полягає в тому, що воно дозволяє описувати зміни енергії термодинамічного середовища без урахування відмінності між теплотою і роботою. Ілюстрацією параметра «ентальпія» – є циліндр об’ємом V з рухомих поршнем, під яким знаходиться газ з внутрішньою енергією U , з тиском p , який врівноважується вагою поршня. Енергія такої системи дорівнює ентальпії і позначається літерами I або H і складає $H=U+p \cdot V$, кДж. Питома ентальпія визначається, як $h=u+p \cdot v$, кДж/кг, де v – питомий об’єм газу, м³/кг. При постійному тиску p зміна ентальпії дорівнює кількості теплоти, підведеної до системи, тому ентальпію називають ще й тепловмістом. Також ентальпію називають повною енергією системи, але із деякими застереженнями. Ентальпія є кількісною характеристикою теплової енергії. В циліндрі парової машини 1 кг пари з більшою температурою виконає більшу роботу аніж 1 кг пари з такою ж ентальпією але меншою температурою. Якісною, з точки зору роботоспроможності, характеристикою теплоти є ентропія S . Поняття «ентропії» та її назву ввів німецький фізик Р. Клаузиус (від грецького *ἐντροπία* – перетворення). Ентропія визначається з виразу $\Delta S = \Delta Q / T$, де ΔS – зміна ентропії, ΔQ – зміна теплоти, T – абсолютна температура. Зменшення роботоспроможності ΔL пов’язане зі збільшенням ентропії ΔS в рівнянні Гюї-Стодоли $\Delta L = T \cdot \Delta S$. Розмірність питомої ентропії – Дж/(кг·К). Ентальпія та ентропія є функціями двох із трьох термічних параметрів $p, v, T(t)$. По даним експериментів з водою та парою при різних термічних параметрах були розраховані h та S . Результати розрахунків німецький теплотехнік Р. Моль’є в 1904р. представив діаграмою, яка в нашій країні відома як $h(i)$ - S діаграма.

Основна частина

При розрахунках теплоенергетичних установок для визначення параметрів води та пари користуються $h(i)$ - S діаграмою або таблицями [1]. В [1] наведені рівняння апроксимацій h - S діаграми. Їх недоліком є складність та, відповідно, великі трудовитрати на програмування. Значно простішими

є рівняння [2]. Проте, вони були розроблені раніше ніж більш сучасні рівняння, за якими розраховані загальноприйняті таблиці [1]. Тому є доцільним визначити точність рівнянь [2] відносно даних [1], які прийняті за еталон.

Програмна реалізації рівнянь [2] «ISD ВНТУ» містить підпрограми розрахунків параметрів води $h_b=h(p, t)$, $S_b=S(p, t)$, $v_b=v(p, t)$, $t_b=t(p, h_b)$ та пари. Це прямі функції $t_s=t(p)$, $p_s=p(t)$, $h_n=h(p, t)$, $S_n=S(p, t)$, $v_n=v(p, t)$ та зворотні функції x , $t=x$, $t(p, h_n)$, $h_n=h(p, S_n)$, $v_n=v(p, h_n)$.

Результати розрахунків за прямими функціями наведені в таблицях 1 та 2. В них позначені: «прогр.» – розраховані параметри, «довідн.» – параметри з довідника [1], δ – похибка розрахунку.

Таблиця 1. Дослідження параметрів водяної пари прямими функціями при тиску 3 кПа

P = 3 кПа t, °C	V, м/кг			H, кДж/кг			S, кДж/кг·град		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	прогр.	довідн.	δ , %	прогр.	довідн.	δ , %	прогр.	довідн.	δ , %
30	46,5722	46,58	0,016745	2556,1	2556,3	0,007824	8,614	8,6145	0,005804
40	48,1208	48,13	0,019115	2575	2575	0	8,675	8,6755	0,005763
50	49,6668	49,67	0,006443	2593,9	2593,8	0,003855	8,735	8,7345	0,005724
100	57,3801	57,38	0,000174	2688,3	2688,1	0,00744	9,006	9,0057	0,003331
150	65,0812	65,08	0,001844	2783,5	2783,3	0,007186	9,246	9,2451	0,009735
200	72,778	72,78	0,002748	2879,9	2879,6	0,010418	9,461	9,4603	0,007399
250	80,4728	80,47	0,00348	2977,7	2977,3	0,013435	9,657	9,6565	0,005178
300	88,1667	88,16	0,0076	3076,9	3076,5	0,013002	9,839	9,8375	0,015248
350	95,86	95,86	0	3177,7	3177,2	0,015737	10,007	10,006	0,009994
400	103,5529	103,55	0,002801	3280,1	3279,5	0,018295	10,165	10,164	0,009839
450	111,245	111,24	0,004495	3384,1	3383,3	0,023646	10,314	10,312	0,019395
500	118,9382	118,94	0,001513	3489,8	3488,9	0,025796	10,455	10,453	0,019133
550	126,6306	126,63	0,000474	3597,2	3596,2	0,027807	10,59	10,588	0,018889
600	134,323	134,32	0,002233	3706,3	3705,3	0,026988	10,719	10,717	0,018662
650	142,0152	142,01	0,003662	3817,2	3816	0,031447	10,842	10,84	0,01845
700	149,7075	149,7	0,00501	3929,9	3928,6	0,033091	10,961	10,959	0,01825
750	157,3997	157,4	0,000191	4044,4	4042,8	0,039577	11,076	11,073	0,027093
800	165,0918	165,1	0,004967	4160,6	4158,9	0,040876	11,187	11,184	0,026824

Таблиця 2. Дослідження параметрів водяної пари прямими функціями при тисках 0,3-25 МПа

P, МПа	t, °C	v, м³/кг		h, кДж/кг		s, кДж/кг·град	
		$\delta_{\min}$, %	$\delta_{\max}$, %	$\delta_{\min}$, %	$\delta_{\max}$, %	$\delta_{\min}$, %	$\delta_{\max}$, %
0,3	140 - 800	0	0,048	0	0,043	0	0,024
1,5	200 - 800	0	0,07	0,0098	0,048	0,008	0,032
6	300 - 800	0,012	0,18	0	0,072	0,0016	0,048
9	350 - 800	0	0,258	0,0067	0,0842	0,003	0,051
17	370 - 800	0,03	0,32	0,0062	0,11	0,003	0,063
25	450 - 800	0	0,35	0,043	0,12	0,0017	0,065

Результати розрахунків за зворотними функціями наведені в таблицях 3 та 4.

Таблиця 3. Дослідження параметрів водяної пари зворотними функціями при тиску 3 кПа

P = 3 кПа h, кДж/кг	V, м³/кг			S, кДж/кг·град			t, °C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	прогр.	довідн.	δ , %	прогр.	довідн.	δ , %	прогр.	довідн.	δ , %
2556,3	46,549	46,58	0,066552	8,613	8,6145	0,017413	30,181	30	0,603333

Продовження таблиці 3.

P = 3 кПа h, кДж/кг	V, м³/кг			S, кДж/кг·град			t, °C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	прогр.	довідн.	δ, %	прогр.	довідн.	δ, %	прогр.	довідн.	δ, %
2575	48,087	48,13	0,089341	8,6741	8,6755	0,016137	40,152	40	0,38
2593,8	49,62	49,67	0,100664	8,7332	8,7345	0,014884	50,185	50	0,37
2688,1	57,358	57,38	0,038341	9,0044	9,0057	0,014435	100,273	100	0,273
2783,3	65,074	65,08	0,009219	9,2437	9,2451	0,015143	150,278	150	0,185333
2879,6	72,778	72,78	0,002748	9,4579	9,4603	0,025369	200,028	200	0,014
2977,3	80,487	80,47	0,021126	9,657	9,6565	0,005178	250,126	250	0,0504
3076,5	88,205	88,16	0,051044	9,839	9,8375	0,015248	300,287	300	0,095667
3177,2	95,927	95,86	0,069894	10,0043	10,006	0,01699	350,27	350	0,077143
3279,5	103,656	103,55	0,102366	10,1621	10,164	0,018693	400,299	400	0,07475
3383,3	111,378	111,24	0,124056	10,3108	10,312	0,011637	450,25	450	0,055556
3488,9	119,11	118,94	0,142929	10,451	10,453	0,019133	500,25	500	0,05
3596,2	126,839	126,63	0,165048	10,586	10,588	0,018889	550,238	550	0,043273
3705,3	134,565	134,32	0,1824	10,7148	10,717	0,020528	600,5	600	0,083333
3816	142,268	142,01	0,181677	10,8379	10,84	0,019373	650,154	650	0,023692
3928,6	149,963	149,7	0,175685	10,9566	10,959	0,0219	700,137	700	0,019571
4042,8	157,47	157,4	0,044473	11,071	11,073	0,018062	750,064	750	0,008533
4158,9	165,26	165,1	0,096911	11,1818	11,184	0,019671	800,089	800	0,011125

Таблиця 4. Дослідження параметрів водяної пари зворотними функціями при тисках 1,5-25 МПа

P, МПа	h, кДж/кг	v, м³/кг		s, кДж/кг·град		t, °C	
		δ _{min} , %	δ _{max} , %	δ _{min} , %	δ _{max} , %	δ _{min} , %	δ _{max} , %
1,5	2795,3- 4151,8	0,04	2,7	0,02	0,034	0,001	0,67
6	2885- 4130,4	0,01	1,9	0,0016	0,033	0,001	0,1
9	2957,5- 4161,1	0,04	0,6	0,001	0,014	0,015	0,077
17	2742,3- 4077,9	0	2,9	0	0,032	0,1	0,26
25	2952,1- 4039,8	0,06	2,3	0,04	0,037	0,03	0,46

Висновки

1. В якості математичної моделі стану води та водяної пари прийняті відомі достатньо прості рівняння.

2. Математична модель стану води та водяної пари реалізована програмою «ISD ВНТУ». Її перевагою є наявність, так званих, зворотних функцій, полегшуючих розрахунки паротурбінних установок.

3. Досліджена точність результатів розрахунків програмою «ISD ВНТУ» відносно загальноприйнятих таблиць теплофізичних властивостей води та водяної пари. За прямими функціями максимальна похибка розрахунків питомого об'єму складає 0,35%, ентальпії – 0,0842%, ентропії – 0,065%. За зворотними функціями максимальна похибка розрахунків питомого об'єму складає 2,9 %, ентропії – 0,037 %, температури – 0,67%.

4. Точність програми «ISD ВНТУ» дозволяє її використання в навчальному та реальному проектуванні традиційних та відновлюваних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ривкин С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
2. Mayinger, F.; Schmidt, E.; Tratz, H.: Neue Zustandsgleichungen für Wasserdampf unter Berücksichtigung Ihrer Verwendung in elektronischen Rechenanlagen. BWK 14 (1962) 261–266.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com.

Нанака Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Попсуй Ліна Віталіївна – студентка групи ЕМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький Національний Технічний Університет, м. Вінниця.

Oleksiy M. Golovchenko – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com.

Olena M. Nanaka – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Lina. V. Popsui – student of the group EM-18m, department of electroenergy and electromechanics, Vinnytsa National Technical University, Vinnytsya.

**В. В. Слівінський
О. М. Нанака
О. М. Головченко**

РІШЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ ВНТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Приведений опис системи теплоенергопостачання (СТЕП) ВНТУ. Наведені параметри опалення та гарячого водопостачання навчального корпусу. Сформульована задача підвищення ефективності СТЕП корпус та заощадження теплоенергопостачання, шляхом вбудови в існуючу систему відновлюваних джерел енергії. Вибрані відновлювані джерела енергії та проаналізовані результати оптимізаційних розрахунків СТЕП корпусу з відновлюваними джерелами енергії.

Ключові слова: теплоенергопостачання, водопостачання, заощадження, будівлі, ефективність, система, енергія.

Abstract

In the work is given a description of the system of heat and power supply VNTU. The parameters of heating and hot water supply of the educational power building are given. The problem of increasing the efficiency of the system of heat and power supply of the case, and saving of electricity by incorporating into the existing system of renewable energy sources, is formulated. Selected renewable energy sources were selected. Here is a description of the optimization solutions that provided options for energy conservation. The results of optimization decisions of the heat and power supply of the building with renewable energy sources are analyzed.

Keywords: heat supply, water supply, savings, buildings, efficiency, system, energy.

Вступ

Енергозбереження займає одну з ключових позицій у розвитку та економіці ринків споживчих послуг і матеріалів. Використання альтернативних джерел енергії стає все більш популярним, особливо, у світлі енергозберігаючих технологій. Сонячні батареї в сукупності з застосуванням вітрогенераторів, можуть виступати, як в якості додаткового, так і основного джерела енергії.

Основна частина

Розрахункова теплова схема з відновлювальними джерелами енергії системи теплоенергопостачання навчального корпусу наведена на рис. 1. [1]. Умовні позначення на схемі: 1 – газовий конденсаційний котел; 2 – тепловий насос; 3, 4 – водонагрівач – акумулятор; 5 – електроводонагрівач; 6 – вакуумні сонячні колектори; 7 – теплообмінник блочного теплового пункту системи опалення; 8 – теплообмінник блочного теплового пункту системи гарячого водопостачання; 9 – циркуляційні насоси; 10 – вітряна електростанція; 11 – колектор; 12 – електрокотел; 13 – піролизний котел; 14 – сонячні модулі; 15 – інвертор; 16 – дизель-генератор; Т1, Т2 – трубопроводи гарячої води для опалення та подачі – подавальний і зворотній; Т3, Т4 – трубопроводи гарячої води для гарячого водопостачання – подавальний і циркуляційний; В1 – господарсько-питний водопровід.

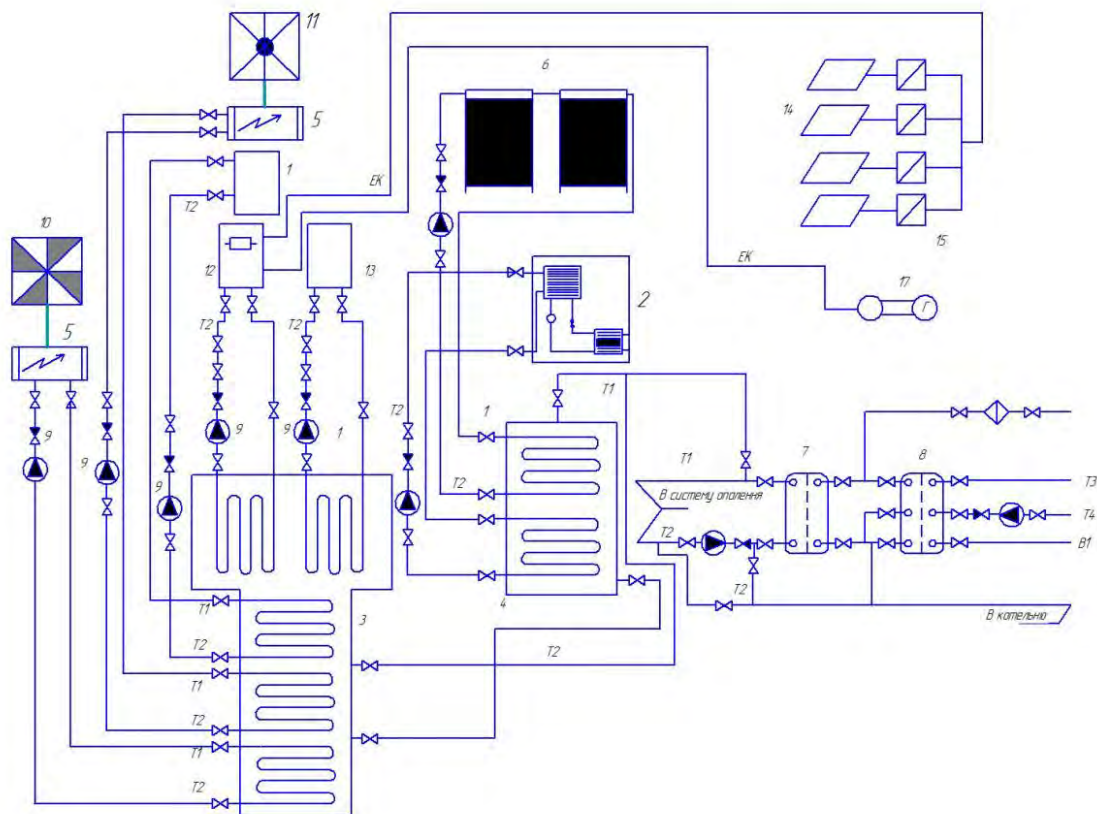


Рис. 1. Розрахункова тепла схема з відновлювальними джерелами енергії системи теплоенергопостачання навчального корпусу

Принцип роботи схеми: сонячна енергія надходить на сонячну електростанцію (СЕС) (14), перетворюючись в електричну, завдяки інвертору (15). Отримана електрична енергія передається на водонагрівач (5), а також на електрокотел (12). За таким принципом працюють і вакуумні сонячні колектори (6), перетворюючи сонячну енергію в теплову і, передаючи її на водонагрівачі-акумулятори (3, 4) через подавальний трубопровід (Т1). В свою чергу, вітрова електростанція (ВЕС) (10) за допомогою енергії вітру виробляє електричну енергію та передає її на водонагрівач (5), з якого гаряча вода надходить в систему. Разом з газовим котлом (1) і тепловим насосом (2), піролізним (11) та електрокотлом (12) гаряча вода та теплова енергія передаються по трубопроводах в систему опалення та на теплообмінники гарячого водопостачання.

Найбільша увага в роботі приділена сонячним модулям СЕС. Виконаний розрахунок параметрів системи слідкування за сонцем. Для цього визначений шлях сонця в усереднені дні кожного місяця на широті м. Вінниця, який показаний на рис. 2.

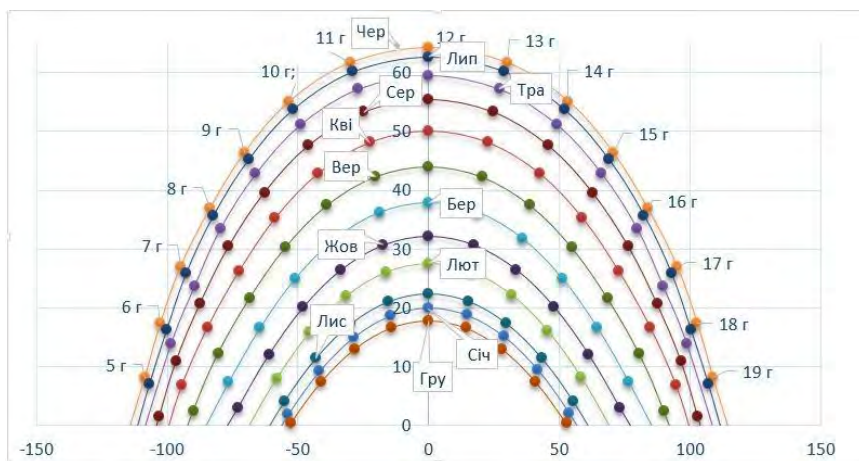


Рис. 2. Середнє значення сонячного шляху в день для кожного місяця на широті м. Вінниця

Для оцінки величини світлового потоку, що падає на сонячні модулі застосована двохкомпонентна модель. Вона розділяє загальне випромінювання на пряме і дифузне, що дозволяє точніше розрахувати освітленість на похилих поверхнях. Середньодобова сума загального (H) і дифузного (H_D) випромінювання на квадратний метр у Вінницькій області наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Середньодобова сума загального (H) і дифузного (H_D) випромінювання на квадратний метр у Вінницькій області .

Місяць	H (кВт·год/м ²)	H_D (кВт·год/м ²)
Січень	0.75	0.54
Лютий	1.33	0.87
Березень	2.83	1.66
Квітень	4.23	2.41
Травень	5.14	2.62
Червень	5.44	2.84
Липень	5.36	2.67
Серпень	4.76	2.40
Вересень	3.21	1.80
Жовтень	1.98	1.17
Листопад	0.95	0.68
Грудень	0.62	0.46

Кут повороту (R) площини сонячного модуля знаходиться з умови максимального наближення падіння сонячного променя до поверхні модуля відносно нормалі. На рис. 3., як приклад, представлена залежність оптимального кута повороту модуля від часу доби (для 15 червня).

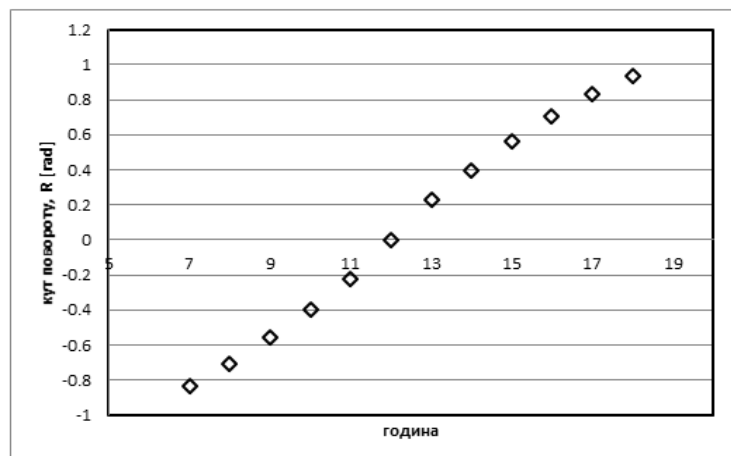


Рис. 3. Кут повороту модулів, як функція часу доби

Енергетичний виграш рухомої системи з поверхнею 1 м² відносно нерухомої системи наведений на рис. 4.

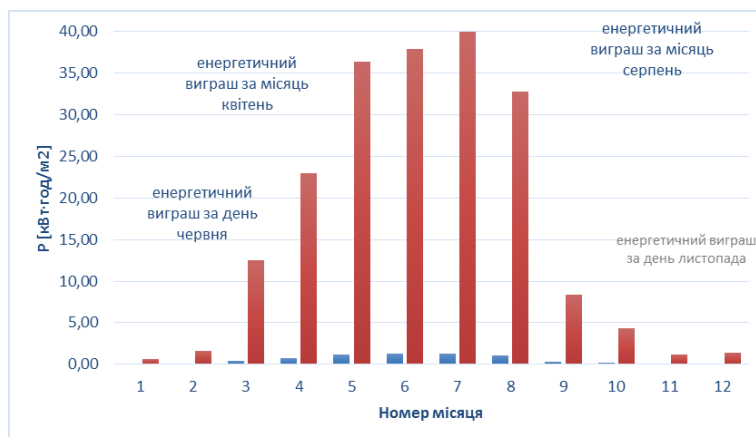


Рис. 4. Енергетичний виграш рухомої системи з поверхнею 1 м²

Як видно з рисунку, місячний ефект досягає 40 кВт·год/м².

Розглянуті варіанти СТЕП – комбінацій джерел теплової та електричної енергії. Початкові дані до розрахунків варіантів склалися з умов: необхідна для корпусу теплова потужність теплогенератора – 600 кВт; необхідна для корпусу потужність електрогенератора – 128 кВт.

Прийнятими варіантами СТЕП є наступні.

- Варіант 1: джерела теплової енергії – електричний котел потужністю 540 кВт, піролізний котел (ПК) потужністю 60 кВт; джерела електричної енергії – електрична мережа потужністю 128 + 540 кВт.
- Варіант 2: джерела теплової енергії – електричний котел потужністю 540 кВт, піролізний котел потужністю 60 кВт; джерела електричної енергії – електрична мережа потужністю 268 кВт, дизель-генератор потужністю 400 кВт.
- Варіант 3: джерела теплової енергії – електричний котел потужністю 540 кВт, піролізний котел потужністю 60 кВт; джерела електричної енергії – електрична мережа потужністю 638 кВт, сонячні модулі потужністю 30 кВт.
- Варіант 4: джерела теплової енергії – електричний котел потужністю 540 кВт, піролізний котел потужністю 60 кВт; джерела електричної енергії – електрична мережа потужністю 628 кВт, сонячні модулі потужністю 30 кВт, вітряк потужністю 10 кВт.

Питома вартість сонячних модулів СЕС – 45 000 грн/кВт. Питома вартість дизель-генератора – 30000 грн/кВт. Питома вартість ВЕС – 30 000 грн/кВт. Ціна 1кВт·год – 2.6 грн.

Техніко-економічні параметри розглянутих варіантів теплопостачання навчального корпусу ВНТУ наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Техніко-економічні параметри варіантів теплопостачання навчального корпусу ВНТУ

Показник	Варіанти СТЕП			
	1	2	3	4
1) Теплова енергія. Сумарна потужність, кВт	600	600	600	600
- Піролізний котел. Потужність, кВт.	50	60	60	60
- Електричний котел. Потужність, кВт.	540	540	540	540
- Мережа теплова. Потужність, кВт.	0	0	0	0
- Сонячні колектори. Потужність, кВт.	10	0	0	0
Капіталовкладення в джерела, млн. грн.	0.220	0.220	0.220	0.220
Експлуатаційні затрати, млн. грн./рік:				
- на газ	0	0	0	0
- на електроенергію	5,6	5,6	5,6	5,6
- на дрова	0.03	0.4	0.4	0.4
- на теплову енергію з мережі	0	0	0	0
Сумарні приведені затрати на теплову енергію від джерел, млн. грн./рік	5,63	6	6	6
2) Електрична енергія. Потужність корпусу, кВт	128	128	128	128
Потужність джерел, кВт:				
- вітряки	4	0	0	10
- сонячні модулі	14	0	30	30
- дизель-генератор	0	400	0	0
- електрична мережа	110	-272	98	88
Капіталовкладення в джерела, млн. грн.	0.75	12	1,35	1,65
Річні затрати на:				
- електроенергію з мережі, млн. грн.	1,72	-4,24	1,53	1.37
- паливо дизель-генератора, млн. грн.	0	9	0	0
Сумарні приведені затрати на систему теплоенергопостачання, млн. грн./рік	7,45	12,7	7,6	7,6

Висновки

1. Для визначення параметрів керуючої системи сонячними модулями розраховані положення сонця на небосхилі в задану пору року. Визначено оптимальний кут нахилу осі обертання модулів з огляду на потужність сонячного потоку, що падає на задану поверхню.

2. За допомогою трьохмірної геометричної моделі аналітично визначено взаємовплив кута обертання похилої площини під заданим кутом навколо похилої осі та азимута і нахилу заданої поверхні. Визначено кути повороту поверхні, які оптимізують падаючий потік випромінювання для кожної години усередненого дня кожного місяця року.

3. Місячний енергетичний ефект рухомої системи з поверхнею 1 м^2 відносно нерухомої системи за місяць досягає $40 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

4. Розглянуті варіанти системи теплоенергопостачання навчального корпусу практично є рівноцінними за винятком варіанта з дизель-генератором. При існуючих цінах на електроенергію та паливо застосування дизель-генератора є не доцільним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Груба М. В. Економічна ефективність застосування відновлюваних джерел енергії в системах теплоенергопостачання адміністративних будівель [Електронний ресурс] / М. В. Груба, О. М. Головченко, О. М. Нанака // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23–24 березня 2016 р. – Електрон. текст. дані. – 2016. – Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/724>.

Слівінський Владислав Васильович – студент групи ЕМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Нанака Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com.

Vladislav V. Slivinsky – student of the group EM-18m, department of electroenergy and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Olena M. Nanaka – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Oleksiy M. Golovchenko – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет (ВНТУ)

Анотація

Запропоновано метод визначення параметрів вітрогенератора за допомогою методів машинного навчання, зокрема за рахунок використання комп'ютерного зору та відповідно штучних нейронних мереж.

Ключові слова: машинне навчання, комп'ютерний зір, вітрогенератор, штучна нейронна мережа.

Abstract

The paper presents the method of determining the parameters of a wind turbine by machine learning method, including computer vision, and artificial neural networks.

Keywords: machine learning, computer vision, wind turbine, artificial neuron network.

Вступ

Як відомо, вітроенергетика є однією з ключових складових «зеленої енергетики», яка активно розвивається у всьому світі.

Для оцінки загального стану вітрогенератора не завжди вдається знайти оптимальне інженерне рішення. Крім того, бувають такі контрольно-вимірювальні схеми, які сильно загромождають установку.

Метою даної роботи є розробити такий метод визначення стану вітрогенератора, який зможе визначати усі (або майже усі) ключові параметри функціонування вітротурбіни за допомогою лише відеокамери (веб-камери).

Результати дослідження

Першим показником для дослідження обрано швидкість обертання, оскільки він безпосередньо зв'язаний з багатьма іншими параметрами вітрогенератора, у тому числі електричними. Для цього на вітрове колесо (лопать) нанесено мітку. Камерою в реальному часі здійснювалась відеофіксація та визначались координати мітки у просторі.

Для побудови системи комп'ютерного зору, яка повинна слідкувати за міткою, було використано модель з відкритим кодом "YOLOv3" [1]. Ця модель легко навчається та видає досить точні результати. Проте, згодом автори знайшли більш економічний за обчислювальною потужністю підхід. Було використано бібліотеку "OpenCV" [2], яка дозволяє розкласти отримане зображення з відео на кольори та представити їх у вигляді матриці з розмірністю HSV. Знаючи матрицю кольорів мітки, можна її легко виділити з відеопотоку.

Для подальшого визначення шуканого параметру є два шляхи:

а) за відомими вітроенергетичними співвідношеннями побудувати математичну модель вітротурбіни та за її допомогою зв'язати швидкість руху мітки зі швидкістю обертання вітротурбіни;

б) або паралельно зібрати дані з зовнішнього вимірювального пристрою та поєднати їх з рухом мітки за допомогою однієї з моделей машинного навчання, наприклад, за допомогою штучної нейронної мережі.

Результати наведених вище підходів будуть наведені у наступних роботах.

Висновки

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє визначати параметри вітрогенератора (на даному початковому етапі мова йде про швидкість обертання вітротурбіни, яка має тісний зв'язок з іншими параметрами вітрогенератора), використовуючи лише зображення з відеокамери/веб-камери.

Даний метод отримання параметрів дозволяє відійти від традиційних громіздких схем контролю

та вимірювання, а також має чудові перспективи з точки зору універсальності (без прив'язки до конкретної вітротурбіни) та масштабованості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. YOLO: Real-time object Detection [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>
2. OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opencv.org/>

Мокін Олександр Борисович — завідувач кафедри, професор кафедри ВЕТЕСК ВНТУ, д.т.н., професор
Mokin Oleksandr Borysovych — Head of the RETESC Department, Prof. at VNTU, D.Sc., Prof.

Сухов Владислав Олександрович — аспірант, ВНТУ
Sukhov Vladyslav — graduate student at VNTU

РОЗПОДІЛ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено детальний аналіз режимів розподілу та використання енергії електричних гальмувань засобів рухомого складу міського електричного транспорту та запропоновано критерії порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів, що дозволяє підвищити ефективність використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.

Ключові слова: міський електричний транспорт, система електропостачання, рекуперація, контактна мережа, тяговий режим, електричне гальмування.

Abstracts

A detailed analysis of urban electric transport rolling distribution and use of electrical energy inhibition modes has been carried out. The criteria of energy efficiency comparative estimation of these regimes have been proposed, which allows to increase the efficiency of electric energy use of urban electric transport electric braking.

Keywords: city electric transport, power supply system, recovery, contact network, traction mode, dynamic braking.

Вступ

Міський електричний транспорт (МЕТ) – складова частина єдиної транспортної системи, призначена для перевезення громадян трамваями, тролейбусами, поїздами метрополітену на маршрутах (лініях) відповідно до вимог життєзабезпечення населених пунктів [1].

Актуальним питанням світової енергетики є зниження електроспоживання всіх електроприймачів. Досить вагомим споживачем електричної енергії є міський електричний транспорт [1]. Щороку в салони, наприклад, вінницького транспорту загального користування заходить понад 170 млн. пасажирів. 70% з них перевозить пасажирський електротранспорт.

Питання, пов'язане зі зниженням енерговитрат шляхом створення високотехнологічних зразків транспортних засобів та забезпечення енергоефективних режимів їх роботи, є актуальним для міського електричного транспорту в цілому, де енергетична складова в даний час досягає 30 ... 50 % від загальних витрат комунальних підприємств.

Одним із основних напрямків зниження електроспоживання міського електричного транспорту є повернення електричної енергії в мережу або передача її в накопичувач енергії (НЕ) при електричному гальмуванні [2]. При такому гальмуванні трамвай (тролейбус) може віддавати в мережу до 40% спожитої ним енергії з одночасним істотним зниженням зносу механічних гальмівних пристроїв.

Мета роботи полягає у проведенні детального аналізу режимів електричного гальмування засобів рухомого складу (ЗРС) міського електричного транспорту та розробці критеріїв порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань електротехнічного комплексу «система електропостачання – електротранспорт міста» із врахуванням особливостей чергування режимів його роботи.

Результати дослідження

Накопичена електрорухомим транспортом (ЕРТ) механічна енергія перетворюється в електричну, передається через тягову мережу іншим споживачам, в першу чергу ЕРТ, працюючому в тяговому режимі (активному ЕРТ). Таким чином, при рекуперації ЕРТ працює паралельно з джерелами живлення. Дана особливість визначає умови роботи ЕРТ при рекуперативному гальмуванні і створює абсолютно особливі умови для роботи системи електропостачання [3].

Під час здійснення рекуперативного гальмування на ділянках контактної мережі (КМ) з'являється

рухоме джерело енергії, яке розвантажує підстанції і підвищує напругу тягової мережі, тим самим покращуючи умови роботи ЕРТ, що знаходиться в тяговому режимі. Найбільш економічним при рекуперації є такий режим, при якому вся вироблена ЕРТ енергія передається розташованому неподалік ЕРТ, який знаходиться в режимі тяги, проте це не завжди можливо [3].

Основною особливістю роботи системи тягового електропостачання при рекуперації є значно більша, ніж в режимі тяги, залежність умов роботи пристроїв електропостачання від рівня напруги. У зв'язку з цим, проведення досить точних розрахунків при рекуперативному гальмуванні має бути пов'язане із врахуванням дійсних рівнів напруги як на тягових підстанціях, так і на ЕРТ. Крім цього, слід взяти до уваги, що, якщо в режимі тяги напруга в контактній мережі в тій чи іншій мірі впливає на швидкість ЕРТ, пропускну здатність і інші показники, то при рекуперативному гальмуванні від рівня напруги в контактній мережі та на підстанціях залежать не тільки економічні показники, а й сама можливість рекуперації. Для здійснення рекуперації необхідно, щоб в момент проведення даного режиму до контактної мережі були приєднані ті чи інші споживачі енергії. В іншому випадку здійснити рекуперативне гальмування неможливо [3, 4].

В якості споживачів можуть служити інші ЕРТ, що знаходяться в режимі тяги, або відповідним чином обладнані тягові підстанції (ТП), ділянки контактної мережі.

Поряд з рекуперативним можливе застосування і регенеративного гальмування, коли вироблена тяговим електричним двигуном енергія перерозподіляється на самому ЕРТ [4, 5]. В порівнянні з режимом рекуперативного гальмування, до режиму регенеративного гальмування вимога по допустимому рівню напруги в контактній мережі не пред'являється. Це обумовлено можливістю створення накопичувального пристрою, що дозволяє акумулювати енергію, вироблену ТЕД, відключеним від контактної мережі [6].

Способи накопичення або перерозподілу енергії, що виробляється ТЕД в режимі електричного гальмування в різних елементах системи « електричного транспорту», представлені на рисунку 1.

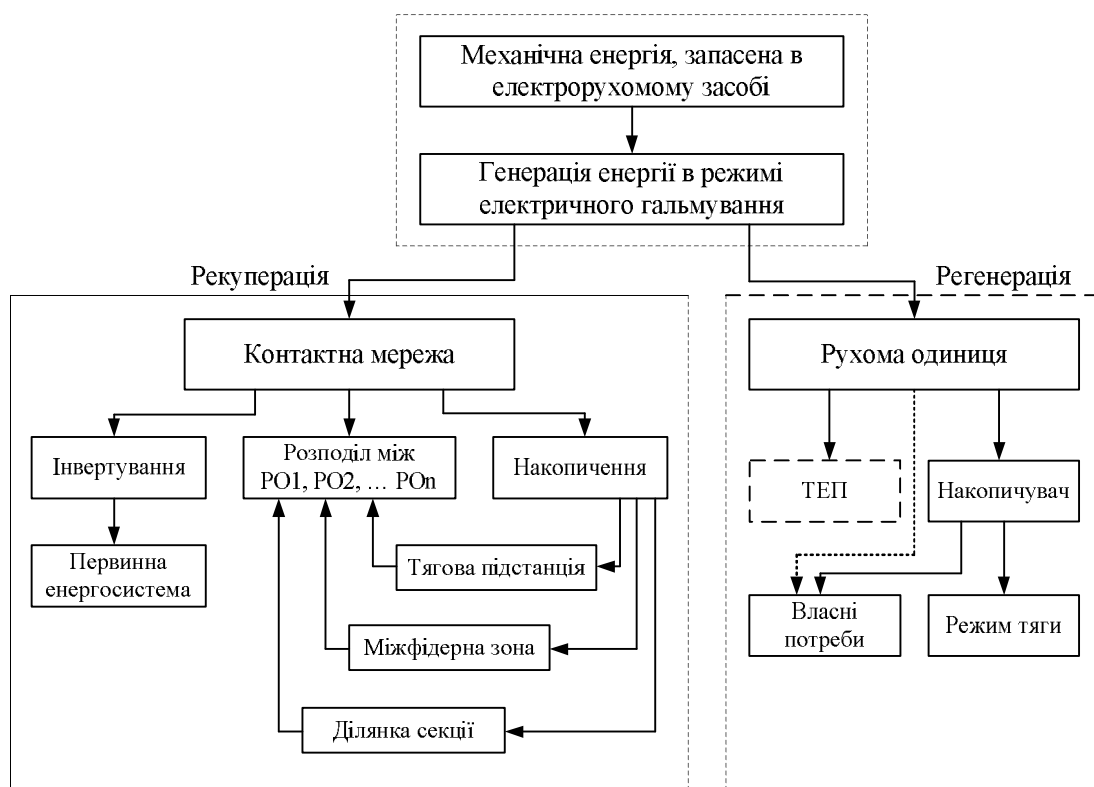


Рис. 1. Розподіл та використання енергії електричного гальмування

Кожен із наведених на рисунку 1 способів розподілу генерованої енергії має ряд властивих тільки йому позитивних і негативних сторін. Декомпозиція з відображенням максимального числа позитивних і негативних сторін кожного із запропонованих варіантів використання енергії, що

виробляється в режимі електродинамічного гальмування, дозволить вибрати найбільш раціональний спосіб використання енергії в складній електромеханічній системі «електричний транспорт»

Основне завдання вибору при проектуванні приймача енергії для впровадження в систему тягового електропостачання та місця його розміщення (трансформаторна підстанція, міжфідерна зона, ділянка контактної мережі) пов'язана із встановленням імовірності збігів актів тяги і гальмування. Із впровадженням чітко налагодженої системи рекуперативного гальмування на міському електричному транспорті відбуватиметься зменшення споживання електричної енергії із системи первинного електропостачання, підвищення надійності системи тягового електропостачання та часу роботи обладнання за рахунок зниження ефективного струму лінії, зниження навантаження в тяговій мережі в моменти пуску транспортних засобів, значне підвищення пропускної здатності ліній, підвищення маневреності міського транспорту, зниження собівартості транспортної роботи і, як наслідок, підвищення конкурентоздатності тролейбусів (трамваїв).

Висновки

Проведено детальний аналіз можливих режимів розподілу та використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту та запропоновано критерії порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байрыева Л.С. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт / Л.С. Байрыева, В.В. Шевченко. — М. : Транспорт, 1986. — 206 с.
2. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2 - е. 126 - 136.
3. Ито Ж. Система тягового электроснабжения постоянного тока для участков обращения электропоездов с рекуперативным торможением / Ж. Ито, Т. Ито. — Железные дороги мира 1997, №4. — с.43 - 47.
4. Щуров Н.И. Повышение эффективности использования электрической энергии в подсистеме электрического транспорта / Н.И. Щуров, В.И. Сопов, А.А. Штанг, Ю.А. Прокушев; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — с. 6 - 20.
5. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2 - е. 126 - 136.
6. Марквардт, К.Г. Работа системы электроснабжения при рекуперации энергии. — Техника железных дорог 1955, №4. — с. 19-20.

Олександр Анатолійович Паянок — к.т.н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oapayanok@gmail.com.

Payanok Oleksandr A — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Renewable energy and transportation systems and electrical systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oapayanok@gmail.com.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВІТРОВОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано синтез регулятора струму збудження генератора вітрової електричної установки з використанням теорії нечітких множин, який здійснює регулювання вихідної потужності.

Ключові слова: вітрова установка, регулювання, струм збудження, нечіткий регулятор.

Abstract

The synthesis of the current regulator of excitation generator of a wind power plant with the use of the theory of fuzzy sets, which regulates the output power, is proposed.

Keywords: wind setting, regulation, excitation current, fuzzy regulator

Результати дослідження

При керуванні вітровою енергетичною установкою доводиться стикатися із певною мірою невизначеними вихідними даними, параметрами системи. Особливістю системи автоматичного керування вітровою електричною установкою (ВЕУ) є те, що вона являється нелінійним нестационарним об'єктом керування і знаходиться під впливом динамічних вітрових навантажень. Вітрова енергія має стохастичну природу, тому з врахуванням інертності системи доцільним є керування ВЕУ з прогнозуванням рівня вхідної енергії [1]. В такому випадку управління матиме нечіткий характер, що дозволить застосувати метод нечіткого керування в області вітроенергетики.

Для синтезу підпорядкованого регулятора швидкості, що реалізує одну із функцій в законі керування [2], вихідний сигнал якого доцільно подавати на регулятор збудження, використаємо теорію нечітких множин, це дозволить отримати більш високу якість регулювання.

Структурну схему каналу регулювання системи керування можна представити у вигляді зображеному на рис. 1.

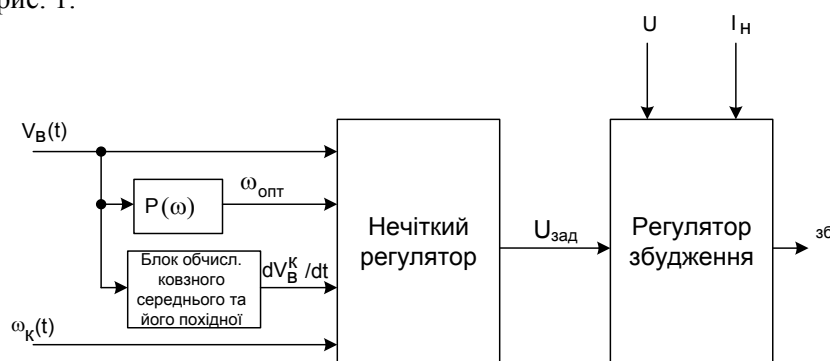


Рис. 1. Структурна схема каналу регулювання системи керування ВЕУ

Висновки

Використання нечіткого регулятора дозволяє підвищити динамічну точність та швидкодію системи автоматичного керування ВЕУ за рахунок формалізації процесу прийняття рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А., Система автоматичного керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання. Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. Випуск №4/2010. – С.36–39.
2. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А., Математична модель пристрою керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Випуск №3/2010. – С.48-54.

Жуков Олексій Анатолійович – канд. техн. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Zhukov Oleksiy Anatoliyovich – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У зв'язку зі збільшенням частки виробництва електроенергії ВДЕ в енергетичному балансі ОЕС України та впровадженням нового ринку електричної енергії постає актуальне питання визначення потужностей та місць встановлення маневрених потужностей, - газопоршневих станцій та акумуляторних батарей, яке б забезпечило надійну роботу енергосистеми при оптимальних фінансових витратах.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, сонячні електростанції, вітрові електростанції.

Abstract

Due to the increase in the share of electricity production in RES in the energy balance of the UES of Ukraine and the introduction of a new electricity market, an urgent question arises about the determination of capacities and places for the installation of maneuverable capacities - gas piston stations and storage batteries, which would ensure the reliable operation of the power system at optimum financial costs.

Keywords: renewable energy sources, solar power stations, wind power plants.

Загальна потужність відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які працюють за «зеленим» тарифом (СЕС, ВЕС, міні-ГЕС, біомаса), на кінець вересня 2018 року становила 1803,6 МВт, що на 36,7% більше показника вересня 2017 року.

У 2018 році було введено в експлуатацію 742,5 МВт нових потужностей, що у 2,8 разів перевищує потужність, введену в 2017 році. Об'єкти сонячних (СЕС) та вітрових електростанцій (ВЕС) становлять 96% введених потужностей [1]. Не дивлячись на темпи зростання, виробництво електроенергії з ВДЕ поки що низьке і складає менше 1% (рис. 1).

Структура генерації ОЕС на максимум електроспоживання 07.03.2019

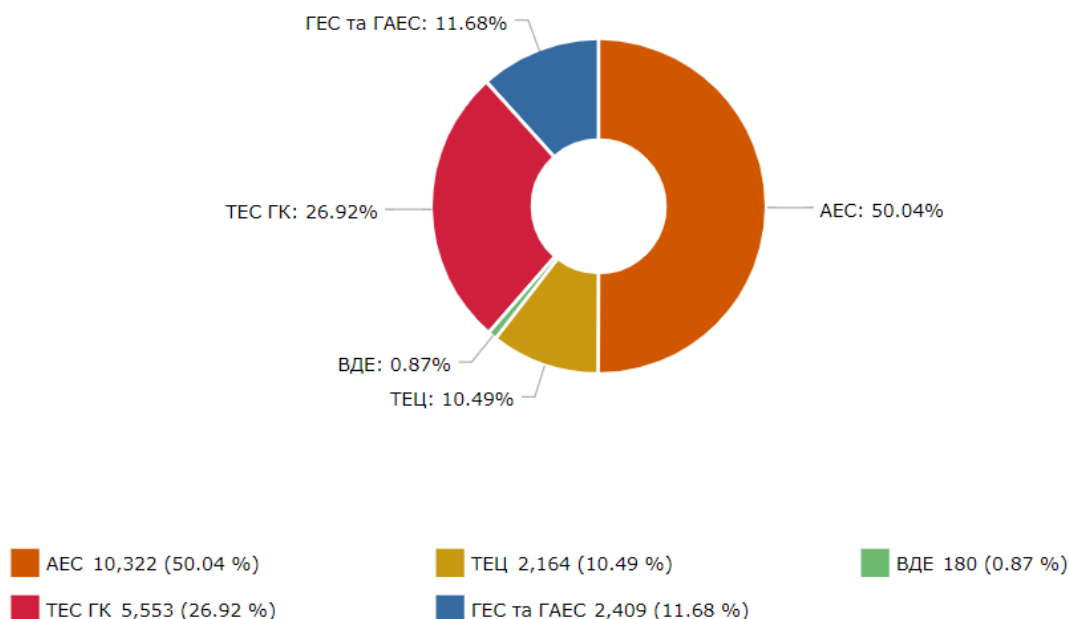


Рисунок 1 – Структура генерації ОЕС України

Станом на сьогоднішній день в Україні працює 432 об'єкти відновлюваної електроенергетики:

- 235 СЕС загальною потужністю 841 МВт;
- 24 ВЕС загальною потужністю 512 МВт;
- 138 МГЕС загальною потужністю 96 МВт;
- 7 електростанцій на біомасі загальною потужністю 44 МВт;
- 28 електростанцій на біогазі загальною потужністю 41 МВт.

За розрахунками Укренерго, максимальна встановлена потужність СЕС та ВЕС, яку може прийняти ОЕС України без серйозних відхилень в роботі, – 3000 МВт. При цьому енергосистема буде збалансована і забезпечуватимуться необхідні резерви потужності з наявної генерації.

Однак, вже сьогодні Укренерго видано технічних умов на приєднання «зеленої» генерації встановленою потужністю 7426 МВт [2].

У зв'язку зі зростанням потужності відновлюваних джерел електричної енергії все більш назрілим та актуальним стає питання використання акумуляторних накопичувальних станцій.

Єдиний шлях, який пропонує Укренерго, – вводити електростанції швидкого мобільного резерву (газопоршневі станції, ГАЕС) потужністю до 3000 МВт.

Вартість літій-іонних акумуляторів залишається дуже високою \$176/1 кВт·год електроенергії.

Слід розглянути задачу розміщення газопоршневих станцій з точки зору мінімізації втрат електроенергії і підвищення надійності електропостачання. Тобто, якщо здається очевидним, що акумуляторні батареї краще установлювати на площадках генерації ВДЕ, то газопоршневі установки доцільніше буде розміщувати на підстанціях – вузлах живлення, до яких підключаються ВДЕ, або навіть ще ближче до критично важливих споживачів.

Як показує світовий досвід, балансувати енергосистему на початковому етапі «озеленення» допоможуть система регулювання попитом шляхом впровадження ринку допоміжних послуг.

Автори Закону України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017, № 2019-VIII не передбачили чіткого врегулювання в частині штрафування виробників за «зеленим» тарифом за добові небаланси генерації в мережу відносно узгодженого з «гарантованим покупцем» прогнозу.

В Законі немає ні слова про механізми збору і аналізу даних для прогнозу генерації. Немає ні слова про інформаційну базу даних, алгоритми, методики прогнозування «на добу наперед». Крім того, в законі відсутня відповідальність третьої сторони за надані недостовірні дані або програми прогнозування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/index.php/web/data/filearch/postanovy/2018/p1825-d-2018.pdf?news=8586>. Дата звернення: Берез. 9, 2019.
2. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.energy/osnovni-podiyi/skilky-energosystema-ukrayiny-zmozhe-prijnyaty-zelenoyi-generatsiyi/>. Дата звернення: Берез. 9, 2019.

Мельничук Людмила Михайлівна – канд. екон. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net.

Melnychuk Liudmyla - Cand. Sc. (Eng), Department of renewable energy and transportation systems and electrical systems (VETESK), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net.

Мережне наукове видання

Матеріали XLVIII науково-технічної
конференції підрозділів Вінницького
національного технічного університету
(НТКП ВНТУ-2019)
13-15 березня 2019 року
Збірник доповідей

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 04. 06. 2019 р.
Гарнітура Times New Roman. Обсяг 130 Мб.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06,
press.vntu.edu.ua,
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідectво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.