

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Інститут електродинаміки Національної академії наук України
Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України
Державне підприємство НАЕК «Енергоатом»
Національний технічний університет України «КПІ»
Національний університет «Львівська політехніка»
Секція «Україна» Міжнародного інституту ІЕЕЕ
Луцький національний технічний університет
Українське ядерне товариство
Новий університет Лісабону, Португалія
Технічний університет Молдови, м. Кишинів
Університет м. Дуала, Республіка Камерун
Університет м. Дананг, В'єтнам
Алматинський університет енергетики і зв'язку, м. Алмати, Республіка Казахстан
Технічний університет «Люблинська політехніка», Польща
Tafila Technical University, Jordan
National Institute of Technology, Delhi, India
University of East Sarajevo, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
CVR College of Engineering Mangalpalli, Hyderabad, India
University of West Bohemia, Plzen (Czech republic)

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ (ОКЕУ-2021)

Приурочена 50-річчю кафедри «Електричні станції
та системи»

Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції

19-21 жовтня 2021 року

Збірник наукових праць

Електронне мережне наукове видання

Вінниця
ВНТУ
2021

УДК 621.316.1

О-61

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

Редакційна колегія: В. В. Грабко, доктор технічних наук, професор
П. Д. Лежнюк, доктор технічних наук, професор
В. О. Комар, доктор технічних наук, професор

Рецензенти: М. П. Розводюк, к. т. н., доцент
О. Е. Рубаненко, к. т. н., професор

Оптимальне керування електроустановками.

О-61 Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, приуроченої 50-річчю кафедри «Електричні станції та системи», 19-21 жовтня 2021 року : збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.] – Вінниця : ВНТУ, 2021.

ISBN 978-966-641-884-8

Збірник містить Матеріали V МНТІК за такими основними напрямками: методи і засоби оптимального керування електроустановками, стратегії інноваційного розвитку вищої освіти в Україні та в світі, електричні мережі з відновлюваними джерелами енергії, Електромеханічні системи, електротехнічні комплекси та керування ними.

УДК 621.316.1

Роботи подаються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

ISBN 978-966-641-884-8

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2021

Зміст

Пленарне засідання

<i>Валерій Федорович Граняк</i> ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ВІБРОСИГНАЛУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	8
<i>Петро Дем'янович Лежнюк, Олена Олександрівна Рубаненко</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В БАЛАНСІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	12
<i>Milan Belik</i> MICROGRIDS INCLUDING PV AND EOLIC SYSTEMS, ENERGY ACCUMULATION AND OPERATION OPTIMISATION	14
<i>Юрій Васильович Томашевський</i> МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИСТРОЇВ SMART METERING	16
Методи і засоби оптимального керування електроустановками	
<i>Максим Олександрович Грищук, Олександр Євгенійович Рубаненко, Олена Олександрівна Рубаненко</i> КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ АЧХ	19
<i>Оксана Сергіївна Богомолова</i> ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ	22
<i>Владислав Володимирович Кучанський</i> САМОЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ В НЕНАВАНТАЖЕНОМУ РЕЖИМІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ	24
<i>Владислав Миколайович Баклицький, Євген Анатолійович Борисенко, Вероніка Вікторівна Черкашина</i> ЗАСТОСУВАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ	26
<i>Катерина Василюк</i> ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВУЗЛОМ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ	29
<i>Володимир Андрійович Баженов</i> ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГЛОК І ГРАНИЦЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ	31
<i>Олександр Анатолійович Сахно, Людмила Степанівна Скрупська, Сергій Вікторович Домороцин</i> МОНІТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦІЙ ГАЗІВ, РОЗЧИНЕНИХ У ТРАНСФОРМАТОРНОМУ МАСЛІ, ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ	33
<i>Віра Володимирівна Тептя, Владислав Олександрович Лесько, Таїсія Євгенівна Костіна, Костянтин Андрійович Коваль</i> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ	35
<i>Віра Володимирівна Тептя, Євгеній Андрійович Тептя</i> ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ТЕРМІНАЛУ RET670 ДЛЯ ЗАХИСТУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	37
<i>Святослав Янович Вишневецький</i> ВИКОРИСТАННЯ ДІАЛОГОВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ АНАЛІЗУ РЕЖИМІВ (ДАКАР) В ДОСЛІДЖЕННЯХ ПИТАНЬ СТІЙКОСТІ РОБОТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ	39
<i>Олена Миколаївна Нанак, Олексій Михайлович Головченко</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС В ЗАДАЧАХ ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ	42
<i>Теймураз Луарсабович Кацадзе, Володимир Андрійович Баженов, Олена Миколаївна Паненко, Олена Максимівна Янковська, Кирил Михайлович Новіков</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНОЇ ЗА НАПРУГОЮ ТОЧКИ В ДАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	43
<i>Володимир Володимирович Кулик, Владислав Анатолійович Гриник</i> ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10(6)-0,4 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТИПОВИХ ГРАФІКІВ	45
<i>Петро Денисович Луців</i> ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВТРАТАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 150-0,38КВ	49
<i>Володимир Васильович Нетребський, Лесько Олександрович Владислав, Олена Вікторівна Сікорська, Олександр Олегович Палій</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ	52

<i>Михайло Станкович Сегеда, Петро Михайлович Баран, Віктор Павлович Кідиба, Ярослава Дмитрівна Пришляк</i> АНАЛІЗ РОБОТИ РЕЛЕ ЧАСТОТИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ.....	54
<i>Ірина Олександрівна Гунько, Олександр Євгенійович Рубаненко, Владислав Володимирович Гасич</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАМКНЕНЬ НА ЗЕМЛЮ ТА ЗАХИСТІВ ВІД НИХ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	56
<i>Олександр Євгенійович Рубаненко, Лесько Владислав Олександрович, Поліщук Андрій Володимирович, Дмитро Олександрович Мельничук</i> ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМИКАЧІВ.....	60
<i>Віктор Олексійович Дьяков, Андрій Владиславович Антонов</i> ПРОТИКОРОЗІЙНИХ ЗАХИСТ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД.....	65
<i>Любов Наумівна Добровольська, Надія Григорівна Куць, Дмитро Сергійович Собчук</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ	67
<i>Світлана Володимирівна Бевз</i> РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ СХЕМ.....	68
<i>Любов Наумівна Добровольська, Дмитро Сергійович Собчук</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	70
<i>Валерій Валентинович Кирик, Анна Романівна Буряк, Маргарита Сергіївна Іськова</i> ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РЕЗИСТОРА ЗАЗЕМЛЕННЯ НЕЙТРАЛІ В МЕРЕЖАХ 20 КВ.....	73
<i>Петро Дем'янович Лежнюк, Наталя Вікторівна Остра, Вадим Сергійович Ткачук</i> РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З ВРАХУВАННЯМ ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ДО КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ	75
<i>Євген Іванович Бардик, Ярослав Сергійович Коваль</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РЕЖИМНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕС) ПРИ ВІДМОВАХ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	78
<i>Євген Іванович Бардик</i> МОДЕЛЮВАННЯ І ОЦІНКА РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ПІДСИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕС) З АТОМНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ (АЕС)	80
<i>Євген Іванович Бардик, Олександр Леонідович Бондаренко</i> ВИЗНАЧЕННЯ СПРАЦЬОВАНОГО РЕСУРСУ ТА ЙМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АГРЕГОВАНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ.....	82
<i>Теймураз Луарсабович Кацадзе, О. М. Паненко, О. М. Янковська, К. М. Новіков</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ФЕРРАНТІ В ДАЛЬНІХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧАХ НАДВИСОКОЇ НОМІНАЛЬНОЇ НАПРУГИ	83
Електричні мережі з відновлюваними джерелами енергії	
<i>Олександр Борисович Бурикін, Артур Валерійович Ситник, Володимир Володимирович Кулик, Петро Дем'янович Лежнюк, Андрій Леонідович Поліщук</i> ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДАХОВИХ СЕС НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 КВ ЗАСОБАМИ ПК «ВТРАТИ-10/0,4»	84
<i>Ірина Олександрівна Гунько, Олена Олександрівна Рубаненко, Іван Федорович Кириченко, Валентин Володимирович Урсуленко</i> МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ФЕС З ВИКОРИСТАННЯМ 3D-DWT РОЗКЛАДАННЯ	86
<i>Микола Васильович Пушкар, Наталя Дмитрівна Красношапка, Володимир Андрійович Баженов, Віктор Іванович Павленко</i> СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ	89
<i>Едуард Хом'як, Павло Феофанович Буданов, Константин Бровко, Ігор Кирисов</i> СУЧАСТНІ ПІДХОДИ ТА ВИМОГИ ДО МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБОЛОНКИ ТЕПЛОВИДЛЯЮЧОГО ЕЛЕМЕНТУ	91
<i>Юлія Сергіївна Олійник</i> СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	93
<i>Ігор Олександрович Прокопенко, Петро Дем'янович Лежнюк</i> АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РОБОТИ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РІЗНИХ СЦЕНАРІЯХ ФОРМУВАННЯ ЦІНИ НА НАДАНІ ПОСЛУГИ.....	95
<i>Артем Михайлович Чернюк, Євген Ігорович Качанов, Юлія Олександрівна Черевик, Злата Вадимівна Оберемок</i> ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ	98

<i>Володимир Володимирович Кулик, Максим Вікторович Затхей</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИЄДНАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДО РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ЕКОНОМІЧНОГО СТРУМОРОЗПОДІЛУ	101
<i>Володимир Олексійович Габрінець, Лілія Валентинівна Накашидзе, Ігор Валерійович Титаренко</i> КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ	104
<i>Петро Дем'янович Лежнюк, Іван Іванович Смагло, Олена Олександрівна Рубаненко</i> МЕТОДИ І СПОСОБИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА САМОДІАГНОСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	105
<i>Віра Володимирівна Тетя, Вадим Сергійович Чорний</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ	107
<i>Петро Дем'янович Лежнюк, Катерина Олександрівна Повстянко</i> БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	109
<i>Ігор Кирисов, Павло Феофанович Буданов, Едуард Хом'як, Костянтин Бровко</i> ПІДХОДИ ТА ВИМОГИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ РЕЛЬЄФУ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ШАРУ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ	112
<i>Віктор Сиченко, Віталій Ляшук, Євген Косарєв, Микола Пулін, Антон Шарипкін, Сергій Погожий</i> СИНТЕЗ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗПОДІЛЕНОГО ТИПУ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	114
<i>Любов Наумівна Добровольська, Надія Григорівна Куць, Дмитро Сергійович Собчук</i> ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ТА СУЧАСНА ЕНЕРГЕТИКА	116
<i>Сергій Петрович Денисюк, Денис Григорович Дерев'яно, Галина Сергіївна Белоха</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ У ENERGY SMART COMMUNITY З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....	118
<i>Оксана Миколаївна Довгалюк, Іван Сергійович Яковенко</i> АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ.....	120
<i>Іван Кучеренко, Сергій Войтенко</i> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.....	122
<i>Юлія Володимирівна Малогулко, Денис Миколайович Шаргородський, Данило Вікторович Щербатий</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ.....	124
<i>Вадим Сергійович Бомбик, Андрій Віталійович Коритний</i> ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ ТОЧКИ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ	127
<i>Вячеслав Олександрович Комар, Наталія Валеріївна Собчук, Олена Вікторівна Сікорська</i> ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЗАДАЧАХ БАЛАНСУВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	129
<i>Олександр Борисович Бурикін, Володимир Володимирович Кулик, Юлія Володимирівна Малогулко, Владислав Анатолійович Гриник</i> МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	132
Електромеханічні системи, електротехнічні комплекси та керування ними	
<i>Олександр Вячеславович Паланюк</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН.....	135
<i>Денис Юрійович Лебедь</i> СИМЕТРУВАННЯ НАПРУГ І СТРУМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄДНАНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	137
<i>Дмитро Петрович Проценко, Ігор Ігорович Василенко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ВІБРОТРАНСПОРТЕРА З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ДЕБАЛАНСНИМ ПРИВОДОМ	141
<i>Володимир Віталійович Грабко, Олександр Вячеславович Паланюк</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН	144
<i>Наталія Дмитрівна Красношанка, Микола Васильович Пушкар</i> ПУСКОВІ РЕЖИМИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ОПОРУ ЛІНІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	145

<i>Сергій Миколайович Бабій, Максим Олександрович Павліна</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ КРАНА В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ	147
<i>Микола Валентинович Печеник, Сергій Олександрович Бур'ян, Станіслав Олександрович Маліборський</i> АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ ВІДПРАЦЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ ЗА ШВИДКІСТЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ШТУЧНІЙ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ КОМПЛЕКСІ МЕТАЛООБРОБКИ.....	149
<i>Олександр Анатолійович Паянок</i> РОЗПОДІЛ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ ІЗ АКТИВНИМИ СПОЖИВАЧАМИ НА ДІЛЯНЦІ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ	151
<i>Ігор Ігорович Василенко</i> ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ОБРОБКИ ДРОБУ	152
<i>Микола Валентинович Печеник, Сергій Олександрович Бур'ян, Ігор Васильович Худя</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТУРБОМЕХАНІЗМІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КАСКАДНОЇ СХЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ НАСОСІВ	154
<i>Борис Іванович Мокін, Олександр Борисович Мокін, Вадим Вікторович Горенюк</i> МЕТОДОЛОГІЯ ІНТЕГРАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДВОХОСЬОВОГО ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ В ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ЙОГО СТІЙКОСТІ НА ПОВОРОТАХ.....	157
<i>Михайло Петрович Розводюк, Катерина Михайлівна Розводюк</i> ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЩІТОК ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	159
<i>Микола Хворост, В'ячеслав Шавкун</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ З АВТОНОМНИМ ХОДОМ	161
<i>Юлія Андріївна Шулле, Роман Юрійович Войтюк</i> ОГЛЯД МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ	163
<i>Пилип Парамонович Говоров, Владлен Пилипович Говоров, Анастасія Костянтинівна Кіндінова</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ОСВІТЛЕННЯ МІСТ	166
<i>Олександр Юрійович Широкоступ</i> АНАЛІЗ ПРОТОТИПІВ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	168
<i>Дмитро Босий, Денис Земський</i> АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІ-АНАЛІТИКИ.....	170
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Олександр Дмитрович Демов</i> МОДЕЛІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ.....	171
<i>Леонід Борисович Терешкевич, Ірина Олександрівна Бандура</i> РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ БАТАРЕЯМИ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ З ОГЛЯДУ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ В МІКРОПРОЦЕСОРНІЙ СИСТЕМІ.....	173
<i>Ірина Ігорівна Яремак</i> ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ.....	175
<i>Борис Іванович Мокін, Олександр Борисович Мокін, Ольга Олександрівна Войцеховська</i> НЕЧІТКИЙ ВАРІАНТ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ КРИТЕРІАЛЬНОГО АНТАГОНІЗМУ	177
<i>Борис Іванович Мокін, Олександр Борисович Мокін, Дмитро Олександрович Шалагай</i> МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО ФУНКЦІОНАЛУ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ З ДИСКРЕТНИМИ МОДЕЛЯМИ.....	179
<i>Анастасія Вакарчук, Володимир Мороз</i> ЧИСЛОВІ ІНТЕГРАТОРИ В РОЗРАХУНКАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ	181
<i>Василь Далека, Владислав Скуріхін</i> ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	182
<i>Сергій Михайлович Пересада, Сергій Миколайович Ковбаса, Микола Миколайович Желінський, Євген Олексійович Ніконенко, Олексій Іванович Райчук</i> СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	184
<i>Михайло Йосипович Бурбело, Денис Юрійович Лебедь, Юрій Васильович Лобода, Олексій Вікторович Бабенко, Юрій Петрович Войтюк</i> СИМЕТРУВАННЯ НАПРУГ І СТРУМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄДНАНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	189

<i>Олег Миколайович Сінчук, Сергій Миколайович Бойко, Олексій Анатолійович Жуков, Альберт Борисович Сьомочкін, Геннадій Юрійович Риков</i> СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ КОРИГУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ.....	189
<i>Олег Сінчук, К. В. Будніков В., Р. І. Краснопольський</i> СИНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕФЕКТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВЕНТИЛЯТОРІВ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТ	191
<i>Євген Олексійович Ніконенко, Сергій Михайлович Пересада, Микола Миколайович Желінський, Алексей Владимирович Стаценко</i> СТІЙКІСТЬ ДВОКОНТУРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА	193
<i>Олександр Шпачук</i> МЕТОД КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ БЛОКУ «ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР».....	195
<i>Андрій Миколайович Коваль</i> ВРАХУВАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ХАРАКТЕРУ ПРУЖНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ РОЗРОБЦІ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДВОДВИГУННОГО ПРИВОДУ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА.....	197
<i>Дмитро Ілліч Родькін, Сергій Михайлович Пересада, Володимир Михайлович Пижов, Олексій Іванович Райчук</i> СПОСТЕРІГАЧ МЕХАНІЧНИХ КООРДИНАТ В СИСТЕМІ КО-ОРДИНАТ СТАТОРА ДЛЯ НЕЯВНОПОЛЮСНИХ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ.....	199
<i>Василь Михайлович Кутін, Марина Василівна Кутіна, Андрій Іванович Ковальов</i> ПРИНЦИП ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З ПОВІТРЯНИМИ ЛІНІЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРУГОЮ 6- 35 КВ.....	202
<i>Анастасія Борисівна Вакарчук</i> ЧИСЛОВІ ІНТЕГРАТОРИ В РОЗРАХУНКАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ	203
<i>О. С. Супрун</i> ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ДЛЯ SMART GRID	209
<i>Д. С. Кушніренко</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНУСНОЇ ДРОБАРКИ ККД-1500/180.....	211
<i>Петро Омелянович Курляк, Ярослав Васильович Бацала</i> МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА	214

ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ВІБРОСИГНАЛУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Вінницький національний аграрний університет

Анотація

У роботі запропоновано спосіб виявлення типових дефекту обертових електричних машин за допомогою дискретного вейвлет перетворення їх вібросигналу. Запропоновано числовий критерій оцінки впливу зазначених дефектів на коефіцієнти вейвлет-перетворення.

Ключові слова: електрична машина, дефект, діагностування, сплеск, вейвлет-перетворення

Abstract

The paper proposes a method for detecting typical defects of rotating electric machines using a discrete wavelet conversion of their vibration signal. A numerical criterion for estimating the influence of these defects on wavelet transform coefficients is proposed.

Keywords: electric machine, defect, diagnosis, burst, wavelet transform

Вступ

На сьогоднішній день склалася стійка тенденція до побудови систем технічного контролю та діагностування силових електричних машин на основі аналізу їх вібро-акустичних характеристик [1]. Про те здійснення такого аналізу пов'язане з необхідністю розв'язання ряду науково-прикладних задач, які впливають з особливостей вібро-акустичного сигналу, що виникає при роботі електричних машин. Зокрема у складі такого сигналу містяться як періодичні складові різної частоти так і аперіодичні (пікові) складові, обумовлені як наявністю дефектів різної природи так і іншими періодичними та аперіодичними збурюючими силами [2].

Серед існуючих достатньо описаних та вивчених підходів, придатних для аналізу часової реалізації вібросигналу, що може бути отриманий під час роботи реальної електричної машини, можна виділити перетворення Фур'є та дискретне вейвлет перетворення (ДВП). Про те варто відзначити, що перетворення Фур'є математично більш складне за дискретне вейвлет перетворення, а отже потребуватиме більшої кількості операцій для свого здійснення та не передбачає можливості дослідження локалізованих збурень взагалі [3], що робить його мало ефективним для використання у сучасних системах аналізу вібро-акустичних сигналів електричних машин. Тоді як ДВП, будучи у першу чергу адаптованим на виявлення саме локалізованих пікових збурень, не передбачає наявності готових інструментів, призначених для сепарації періодичної та аперіодичної складових. Тож, враховуючи сказане, є очевидним, що розробка нових підходів до виявлення періодичних складових вібросигналу на основі ДВП, які можуть викликатися певними дефектами обертових електричних машин, є актуальною науково-прикладною задачею, вирішення якої дозволить суттєво підвищити ефективність роботи систем технічного моніторингу та діагностування.

Результати досліджень

Одна з головних ідей вейвлетного представлення сигналів на різних рівнях декомпозиції (розкладання) сигналу полягає в розділенні функцій наближення до сигналу на дві групи: що апроксимує – грубу, з достатньо повільною часовою динамікою змін, і що деталізує – з локальною і швидкою динамікою змін на тлі плавної динаміки, з подальшим їх дробленням і деталізацією на інших рівнях декомпозиції сигналів. Враховуючи те, що обчислення при вейвлет перетворенні здійснюються шляхом зміни масштабу "вікна" аналізу, зсуву його в часі, множення на сигнал та інтегрування по всій осі часу [4], то фізичний зміст такого перетворення можна представити як пошук ділянок вібро-акустичного сигналу у часовій та частотній областях, що викликаються різними типами дефектів електричних машин і за своєю формою будуть корельованими з обраною материнською вейвлет-функцією.

При здійсненні дискретного вейвлет перетворення коефіцієнти деталізації можуть бути розраховані наступним чином [4]:

$$d_k^j = \sum_{n \in Z} g_{n-2k} \cdot c_n^{j+1}, \quad (1)$$

де d_k^j – k -й коефіцієнт деталізації j -ї частотної смуги; g – коефіцієнт материнської вейвлет функції; c^{j+1} – апроксимуючий коефіцієнт попередньої частотної смуги, розраховуються наступним чином:

$$c_k^j = \sum_{n \in Z} h_{n-2k} \cdot c_n^{j+1}, \quad (2)$$

де h – коефіцієнт масштабуючої функції;

Основною задачею, що була сформульована у межах пошуку критерію виявлення дефектів обертової електричної машини, є розробка числового критерію аналізу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Враховуючи періодичність вібро-акустичного сигналу, обумовленого наявністю зазначеного дефекту, а також ту обставину, що кожне із періодичних коливань доцільно представляти як окремих сплеск, варто очікувати періодичну зміну значень вейвлет коефіцієнтів у часовій області в межах смуг частот, що включають у себе частоту дефекту. При чому амплітуди таких періодичних змін будуть напряму пов'язані з ступенем розвитку дефекту. Тож, при виконанні наступної нерівності:

$$t_{cn} \gg T_d, \quad (3)$$

де t_{cn} – тривалість часової реалізації досліджуваного сигналу; T_d – період віброколивань, обумовлених наявністю відповідного дефекту.

доцільним є застосування інтегрального підходу до аналізу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Відтак, у якості шуканого критерію може бути використано середньо-квадратичне значення вейвлет коефіцієнтів досліджуваних частотних смуг у межах часового інтервалу, тривалість якого значно більша за період напруги живлення. Такий підхід дозволить врахувати наявність як додатних так і від'ємних максимумів вейвлет коефіцієнтів у межах досліджуваного часового інтервалу, а також характеризуватиметься пониженою чутливістю до неінформативних збурень, обумовлених аперіодичними збурюючими діями, що можуть виникати в процесі експлуатації електричної машини. Виходячи з сказаного, математично числовий критерій оцінки впливу дефекту на коефіцієнти вейвлет-перетворення зазначених частотних смуг може бути представлений наступним чином:

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \text{ при умові } t_{cn} \gg T_d, \quad (4)$$

де n – кількість коефіцієнтів вейвлет перетворення досліджуваної частотної смуги; d_i – i -й коефіцієнт вейвлет перетворення досліджуваної частотної смуги.

З метою підтвердження неведених вище теоретичних міркувань було проведено експериментальне дослідження з використанням асинхронної електричної машини АИМ90ЛабУ2.5, номінальною потужністю 0,75кВт. З метою зниження амплітуди електромагнітної складової вібрації зазначене експериментальне дослідження проводилося для режиму холостого ходу. Ємнісний мікромеханічний акселерометр було закріплено на корпусі електричної машини таким чином, щоб вимірювальна вісь сенсора були строго перпендикулярними до осі ротора та напрямлена строго вертикально. Частота дискретизації сигналу становила 232 Гц, довжина часової реалізації досліджуваного сигналу – 2^{14} значень.

При перетворенні отриманого сигналу віброприскорення за допомогою вейвлета Хаара та подальшого розрахунку середньо-квадратичного вейвлет коефіцієнтів для кожної із частотних при роботі електричної машини у штатному режимі та обриві фази А було отримано наступні результати, наведені на рис. 1 та рис. 2.

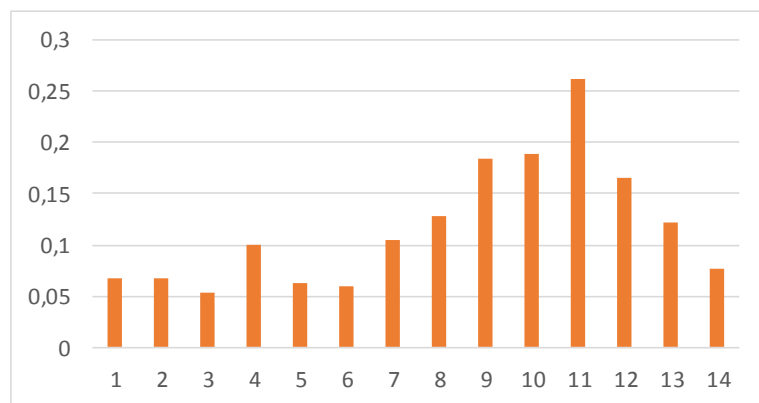


Рис. 1 – Залежність середньоквадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X при роботі електродвигуна у штатному режимі

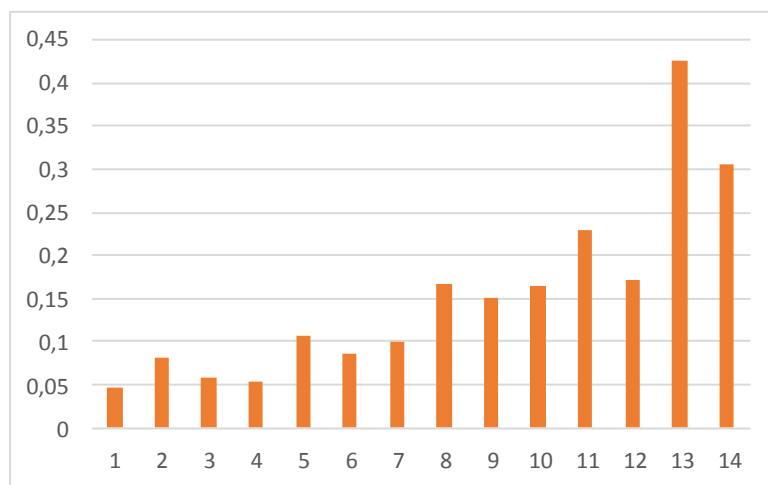


Рис. 2 – Залежність середньоквадратичного вейвлет коефіцієнтів Хаара для кожної із частотних смуг вібросигналу по осі X при обриві фази А

Висновки

1. Запропоновано числовий критерій оцінки впливу дефектів обертових електричних машин на коефіцієнти вейвлет-перетворення у вигляді середньо квадратичного значення вейвлет коефіцієнтів інформативної частотної смуги при дослідженні часового інтервалу, що значно перевищує період прояву досліджуваного дефекту. Показано, що зазначений критерій має пониженою чутливість до впливу неінформативних одиничних збурень, які можуть виникати в процесі роботи електричної машини.

2. Експериментально доведено високу інформативність запропонованого числового критерію оцінки впливу дефектів на коефіцієнти вейвлет-перетворення на прикладі дефекту роботи асинхронного двигуна в однофазному режимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Левицький А. С. Підвищення ефективності діагностування потужних гідроагрегатів за рахунок застосування ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів / А. С. Левицький // Гідроенергетика України – 2010 – № 4 – С. 10-13.

[2] Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва: Машиностроение. 1996 – 276 с.

[3] Polikar R. The Wavelet tutorial. Roma: Rowan University, College of Engineering Web Servers, 2001. – 79 p.

[4] Кухарчук В. В., Кацив С. Ш., Граняк В. Ф. та ін. Дискретні вейвлет-перетворення в діагностуванні гідроагрегатів/ Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. – 112 с.

Граняк Валерій — к.т.н., доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Вінницького національного аграрного університету, м. Вінниця e-mail: titanxp2000@ukr.net

Granyak Valeriy - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia e-mail: titanxp2000@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В БАЛАНСІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено способи і засоби підвищення енергоефективності відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) шляхом оптимізації витрат на резервування потужності та електроенергії для компенсації нерівномірності графіків генерування вітровими (ВЕС) і фотоелектричними станціями (ФЕС) методом критеріального програмування.

Ключові слова: енергоефективність, відновлювані джерела енергії, нерівномірність графіка генерування, баланс електроенергії.

Abstract

Methods and means of improving the energy efficiency of renewable energy sources (RESs) by optimizing the cost of power and electricity redundancy to compensate for the unevenness of the generation of wind (WPPs) and photovoltaic power plants (PVPs) by the method of criterion programming.

Keywords: energy efficiency, renewable energy sources, uneven generation schedule, electricity balance.

Вступ

Відомо, що нині значно зросла кількість ВДЕ в розподільних електричних мережах. ВДЕ вже є невід'ємним елементом ЕЕС, який задіяний для керування її режимами. Очевидно, що вони мають оптимально інтегруватися в електричні мережі, нарощуючи потужність генерування та покращуючи техніко-економічні показники електричних мереж, що можливо досягти за рахунок підвищення енергоефективності ВДЕ. В Україні понад 50 % електромереж потребують капремонту, реконструкції та повної заміни через їх значну зношеність та недофінансування робіт з оновлення. Зношеність окремого обладнання енергетичної інфраструктури деяких операторів систем розподілу (ОСР) сягає 70 %. За умов зростання кількості та потужності ВДЕ, приєднаних до зношених розподільних мереж, зростає пошкоджуваність обладнання цих мереж, що призводить до зменшення енергоефективності ВДЕ. В звітах про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) за 2018 та 2019 роки зазначено, що технічний стан інфраструктури галузі наближається до критичного через високий ступінь зношеності обладнання, застарілість технологій, відсутність достатнього рівня інвестицій, а саме, на більшості електричних станцій проектний ресурс обладнання вже вичерпано і воно експлуатується понад парковий термін експлуатації. Так, наприклад, із 75 енергоблоків генеруючих компаній теплових електростанцій 68 енергоблоків Також в звіті за 2019 р. наголошено, що порівняно з країнами ЄС показники SAIDI і SAIFI в Україні є значно вищими, що зумовлено високим рівнем зносу електричних мереж в Україні. Тому актуальною є задача підвищення енергоефективності ВДЕ для, по-перше, заміни генеруючих потужностей, що використовують органічні види палива, на станції, що використовують відновлювані види енергії, а по-друге, сприяння забезпеченню надійного електропостачання споживачів [1].

Збільшення потужностей ВДЕ, зокрема ФЕС, ВЕС, малих гідроелектростанції (МГЕС) впливає на процес балансування режимів ЕЕС, що також збільшує втрати електроенергії. Залежність від метеорологічних умов ФЕС, ВЕС, МГЕС потребує значного резервування потужностей, наразі це можливо лише завдяки ТЕС і ГЕС. Балансування Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України забезпечується за рахунок ГЕС/ГАЕС та ТЕС за потужності ВДЕ, меншої 3000 МВт, подальше балансування без розвантаження атомних електричних станцій (АЕС) неможливе, інакше доводиться обмежувати потужність ВДЕ, що практикується зараз. Тому актуальною є задача підвищення енергоефективності

ВДЕ в балансі електроенергії в ЕЕС, а особливо це стосується ВЕС і ФЕС. На сьогодні енергосистема найбільше потребує швидкодійних резервів первинного та автоматичного вторинного регулювання, зокрема – високоманевреного генерування зі швидким стартом/зупинкою і широким діапазоном регулювання потужності. Так, за даними НЕК «Укренерго», потреба в додатковій маневреній потужності оцінюється в 500 МВт уже в поточному році і до 2,5 ГВт – протягом наступних п'яти років. Цей обсяг може бути отриманий або шляхом розширення діапазону регулювання існуючих енергоблоків, або введенням в експлуатацію нового високоманевреного генерування. Оптимальним видається комплексний підхід, коли для компенсації нерівномірності графіка генерування ВДЕ використовуються декілька способів. В цьому випадку мінімізуються сумарні витрати на компенсацію нерівномірності генерування ВДЕ шляхом резервування потужності. Задача оптимізації резервування ставиться як

$$B_{\Sigma} = B_x(P_x) + B_e(P_e) + B_z(P_z) + B_c(P_c) + B_n(P_n) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $B_x(P_x)$ – витрати на резервування накопичувачами хімічного типу; $B_e(P_e)$ – витрати на водневі технології; $B_z(P_z)$ – витрати, пов'язані з використанням біогазових технологій як резерву; $B_c(P_c)$ – витрати на користування системним резервом, фактично – це компенсація за утримання резерву на завантаження для енергоагрегатів ТЕС, що працюють за ціновими заявками і визначається за формулою :

$$B_c = \begin{cases} P_c \cdot (\epsilon_p^C - d\epsilon_n), \epsilon_p^C > d\epsilon_n \\ 0, \epsilon_p^C < d\epsilon_n \end{cases} \text{ (грн/год)}, \quad (2)$$

де ϵ_p^C – гранична ціна системи, яка формується для розрахункової години на оптовому ринку електроенергії, грн/кВт·год; $d\epsilon_n$ – прирощена ціна палива, що визначається на основі похідної функції витрат палива на виробництво електроенергії за рівнем навантаження агрегату електростанції та вартості потрібного палива; $B_n(P_n)$ – витрати на запаси пропускної спроможності ЛЕП P_x, P_e, P_z, P_c, P_n – відповідно оптимальні значення потужностей, які визначаються для кожного зі способів резервування. Якщо задача оптимізації витрат на підвищення енергоефективності ВДЕ розв'язується методом критеріального програмування (КП), то в результаті визначаються критерії подібності, які є ваговими коефіцієнтами окремих витрат в сумарних витратах B_{Σ} . Критерії подібності пронормовані:

$$\pi_x + \pi_e + \pi_z + \pi_c + \pi_n = 1, \quad (3)$$

де $\pi_i = \frac{B_i(P_i)}{B_{\Sigma}}$ – критерії подібності (вагові коефіцієнти) відповідно до витрат на способи компенсації нерівномірності графіка генерування ВДЕ.

Висновки

Результати оптимізації, отримані в такому вигляді, дозволяють аналізувати співрозмірність і чутливість складових цільової функції, в нашому випадку способів компенсації нерівномірності генерування ВДЕ. Результати співрозмірності дають можливість ранжувати способи компенсації нерівномірності генерування ВДЕ за витратами, а чутливість – раціонально, найбільш ефективно використовувати потужності різних способів під час експлуатації.

Література:

1. S. L. Gundebommu, O. Rubanenko and M. Cosovic, "Determination of Normative Value Power Losses in Distribution power grids with Renewable Energy Sources using Criterion Method," 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOTEH48170.2020.9066302

Лежнюк Петро Дем'янович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Рубаненко Олена Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Rubanenko Olena Oleksandrivna – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : olenarubanenko@ukr.net

Lezhnyuk Petro Demyanovich – Dr. tech. Sciences, Prof., Prof. of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsya, email : lezhp@gmail.com

MICROGRIDS INCLUDING PV AND EOLIC SYSTEMS, ENERGY ACCUMULATION AND OPERATION OPTIMISATION

¹ University of West Bohemia

Анотація

Оптимізація споживання та накопичення енергії в мікромережах, що складаються з різних типів розподілених відновлюваних джерел енергії. Запропоновано та випробувано експериментальну систему в реальних умовах з врахуванням графіку навантаження та споживанням.

Ключові слова: мікромережа, акумулявання, ФЕС, еолічна установка, діаграма навантаження.

Abstract

The optimisation of energy usage and accumulation in microgrids consisting from various types of distributed renewable energy sources. Propose and test of experimental system in real conditions with real load chart and real consumption.

Keywords: microgrid, accumulation, PV plant, eolic plant, load chart.

Introduction

This paper focuses on optimisation of energy usage and accumulation in microgrids consisting from various types of distributed renewable energy sources. The main task is to develop the strategy of charging and discharging depending on actual power consumption, prediction of following consumption and power generation from the utilised renewable energy sources.

The simulations are based on real long term data measured on photovoltaic system, eolic power plant and meteo station during period 2004 – 2021. Dataset from meteo station is used for the input to the simulation and for prediction of the future power production. The real data from PV plant and eolic plant are used either for simulation of the actual production and for verification of the simulated results.

The main task is to propose and test experimental system in real conditions with real load chart and real consumption originating from measurements on model building and integrated renewable energy sources. The system is proposed to be used in general installations on commercial or residential buildings.

Energy accumulation – results of 2 variants

Set of various battery systems was designed for the purposes of this study. Particular storage systems could be connected with existing energy sources in the Minipark RES. These batteries differ in design (ie economic parameters), capacity and performance of the battery inverter. The design comes from parameters of emergency system, that should be backuped (emergency elevator, emergency lighting, etc.). Table I. shows results of production for the variant 1 (36 pc Rolls 4CS 453 Ah) and Table II. of the variant 2 (3 pc BlueSky Multigrid 20kWh). The simulation again assumes that the battery is fully charged at the beginning of a cycle and is continuously being charged.

Table I.: Simulation of Variant 1

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EBatDis	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	ratio
January	25.3	13.71	-0.68	52.3	51.4	991	896	4.024	0.811
February	44.3	22.32	0.29	77.7	76.3	1467	1341	3.038	0.817
March	86.8	49.84	4.19	115.3	112.7	2134	1961	0.912	0.805
April	125.9	65.02	9.28	140.9	137.0	2521	2316	8.595	0.779
May	157.7	78.86	13.74	152.1	147.5	2854	2429	2.319	0.756
June	165.6	83.30	17.10	152.2	147.5	2631	2406	0.588	0.748
July	168.1	83.05	18.97	157.7	152.8	2693	2465	0.830	0.740
August	142.6	67.59	16.74	150.9	146.6	2577	2363	0.535	0.741
September	96.4	50.74	13.74	119.6	116.4	2103	1926	2.295	0.762
October	58.8	37.29	9.06	85.5	83.5	1564	1424	0.074	0.789
November	28.1	17.95	4.28	48.5	47.5	903	805	0.000	0.786
December	19.3	12.74	0.75	39.9	39.0	763	680	0.000	0.808
Year	1118.6	590.22	9.17	1292.7	1258.1	23001	21012	23.100	0.770

Table II.: Simulation of Variant 2

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	E_Used	E_User	E_Load	SoIFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	25.3	51.4	115.7	0.017	347.5	341.7	0.270
February	44.3	76.3	173.7	0.000	312.7	308.7	0.501
March	86.8	112.7	253.7	0.027	345.1	341.7	0.623
April	125.9	137.0	299.9	0.017	333.9	330.7	0.824
May	157.7	147.5	314.6	0.027	344.8	341.7	0.794
June	165.6	147.5	311.6	0.009	333.7	330.7	0.941
July	168.1	152.8	319.2	0.034	345.1	341.7	0.812
August	142.6	146.6	305.8	0.010	344.9	341.7	0.813
September	96.4	116.4	249.5	0.000	334.2	330.7	0.680
October	58.8	83.5	184.8	0.000	345.6	341.7	0.480
November	28.1	47.5	104.7	0.000	336.1	330.7	0.243
December	19.3	39.0	88.5	0.036	347.9	341.7	0.134
Year	1118.6	1258.1	2721.7	0.177	4071.5	4023.8	0.593

References

1. S. L. Gundebommu, O. Rubanenko and M. Cosovic, "Determination of Normative Value Power Losses in Distribution power grids with Renewable Energy Sources using Criterion Method," *2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOTEH48170.2020.9066302.
2. M. Belik, Weather dependent mathematical model of photovoltaic panels, *Renewable Energy & Power Quality Journal (RE&PQJ)*,698-701 (2017).
3. M. Belik, Detection and prediction of photovoltaic panels malfunctions, *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)*,544-548 (2018).
4. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 - Proceedings, 2020, pp. 128-133
5. Rubanenko O., Kazmiruk O., Bandura V., Matvichuk V., Determination of optimal transformation ratios of power system transformers in conditions of incomplete information regarding the values of diagnostic parameters. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 4. Issue 3-88. P. 66-79
6. Belik, M., Nohacova, L., Small hydro power plants operating as backup source in local island In Proceedings of the 2019 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE),178-183, 2019.
7. Strnadova, P., Parameter control of small PV power plant, Diploma thesis, Pilsen, 2021

Belik Milan – Ph.D., Ing., Senior lecturer of Department of Electrical Power Engineering and Ecology University of West Bohemia, Plzen (Czech republic), email: belik4@kee.zcu.cz

Белік Мілан – к.т.н., старший викладач кафедри електроенергетики та екології Західночеського університету, Пльзень (Чехія), email: belik4@kee.zcu.cz

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИСТРОЇВ SMART METERING

¹АТ «Вінницяобленерго»

Анотація

Проведені в роботі дослідження дали змогу підвищити достовірність результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних ЕМ шляхом вдосконалення інформаційного забезпечення. Використання розроблених методів та алгоритмів створить передумови для підвищення адекватності моделювання режимів розподільних мереж 10(6) кВ, для пофідерного формування структури балансу електроенергії з урахуванням змін схеми та параметрів розподільних мереж протягом звітного періоду, для адресного внесення вартості розподілу електроенергії до тарифів споживачів, а також для вдосконалення інформаційної інфраструктури ЕМ.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, оцінка стану, комерційний облік електроенергії, електроощадні заходи, типовий графік навантаження..

Abstract

The research conducted in the work allowed to increase the reliability of the results of the analysis of electricity losses in distribution EMs by improving the information support. The use of developed methods and algorithms will create preconditions for improving the adequacy of modeling of 10 (6) kV distribution networks, for electricity balance structure formation taking into account changes in distribution scheme and parameters during the reporting period, for targeted payment of electricity distribution to consumers' tariffs. to improve the information infrastructure of distribution networks.

Keywords: distributive electric network, state estimation, commercial electricity accounting, energy saving measures, typical load schedule

Вступ

З багатьох розрахунково-аналітичних проблем об'єктивно вирізняється задача з розрахунку та аналізу технічних втрат електроенергії в електричних мережах та структурування їх у різних площинах. Адже це забезпечує підґрунтя для планування заходів щодо енергоефективності роботи енергопостачальних компаній. Важливим аспектом структурування втрат електроенергії є формування поелементної структури втрат електроенергії з прив'язкою до періоду часу експлуатації елементів мережі, а також аналіз з визначення локальних осередків з найбільшим впливом на сумарні втрати електроенергії. Оцінити економічно обґрунтований рівень комерційних втрат можливо лише визначивши їх із структури балансу електроенергії. Від зменшення комерційної складової залежить підвищення прибутку енергопостачальних компаній, тобто цей напрямок є досить актуальним і перспективним у плані розроблення і впровадження програмних засобів, зокрема, з використанням баз даних та інформаційних систем.

У розподільних електричних мережах основним джерелом вимірювань є автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Системи АСКОЕ покликані надавати надійну та своєчасну інформацію про облік електроенергії на підставі якої проводяться фінансові розрахунки між суб'єктами ринку. Однак на сьогодні застосування АСКОЕ у розподільних мережах є обмеженим, а наявна інформація не дає змоги забезпечити спостережність розподільних електричних мереж і, як наслідок, визначити складові втрат електроенергії у структурі балансу електроенергії з достатньою точністю.

Найбільш ефективним заходом щодо забезпечення спостережності розподільних електричних мереж є інтегрування до АСКОЕ інтелектуальних приладів обліку з можливістю зберігання і передавання даних на основі технології Smart Metering.

Виходячи з цього отримано нове вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення достовірності результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних мережах шляхом вдоскона-

лення методів та засобів забезпечення спостережності мереж з використанням пристроїв Smart Metering та типових графіків навантаження.

Основні результати

Отримано такі нові результати:

1. Систематизовано та досліджено можливості підвищення спостережності розподільних електричних мереж з використанням пристроїв Smart Metering, агрегованої інформації автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії та псевдовимірювань. Показано доцільність застосування результатів оцінки стану розподільних електричних мереж у інформаційних системах для аналізу енергоефективності електричних мереж [1]-[4].

2. Розроблено метод зворотного перетворення зафіксованих обсягів спожитої електроенергії у псевдовимірювання графіків електричних навантажень споживачів з використанням типових графіків навантаження (ТГН) та генерування відновлюваних джерел енергії, а також оцінки стану електричних мереж. Показано, що використання даних з систем обліку електроенергії для доповнення вектору стану електричних мереж інформацією про зміни потужності у неспостережних вузлах дає змогу підвищити адекватність моделювання режимів розподільних мереж 10(6) кВ та якість розроблення електроощадних заходів. Типові графіки генерування (ТГГ) відновлюваних джерел енергії, що отримані на основі типових наборів даних про метеорологічний рік, використовуються для визначення режимних параметрів і втрат електроенергії в електричних мережах. Для синхронізації даних та відновлення агрегованої у часі інформації про генерування відновлюваних джерел енергії в розподільних електричних мережах використовуються алгоритми оцінки стану. Перевагою застосування оцінки стану є можливість поточного та перспективного аналізу енергоефективності розподільних електричних мереж зі значною часткою відновлюваних джерел енергії. Особливо це стосується фотовольтаїчних електричних станцій (ФЕС), оскільки вони мають складно-прогнозований графік генерування. Відновлення графіка генерування за даними типового метеорологічного року дає змогу використовувати його в якості типового, нарівні із типовими графіками електроспоживання, а отже, розраховувати параметри окремих режимів розподільної електричної мережі протягом звітного періоду. Підхід передбачає використання функціональних залежностей параметрів режиму розподільних електричних мереж у комплексі з іншими засобами відновлення втрачених даних.

Показано, що недостатність вимірювань режимних параметрів розподільних електромереж з відновлюваними джерелами енергії можна компенсувати з допустимою точністю використовуючи інформацією з типових наборів даних та відомості про відпуск електроенергії з автоматизованими системами комерційного обліку електроенергії.

3. Використання пристроїв Smart Metering, агрегованої інформації автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії та псевдовимірювань дозволяє виконувати розрахунки з адресного визначення втрат електроенергії та створює передумови для внесення їх у тариф для кінцевого споживача.

При розрахунку роздрібного тарифу на електроенергію враховують різні цінові показники, суму дотацій та обсяг закупівлі електроенергії на балансуєчому ринку, тощо. Крім того формула розрахунку роздрібних тарифів на постачання електроенергії містить елементи стимулювання постачання електроенергії населенню. Внаслідок політики уряду з надання універсальних пільг всім домогосподарствам у вигляді заниженої ціни тарифи на електроенергію становлять лише близько 30% середньозваженого роздрібного тарифу. Низький відсоток відшкодування витрат призводить до того, що компанії, які працюють в електроенергетичному секторі, несуть фінансові втрати. Така ситуація вимагає прийняття рішення щодо адресного внесення вартості розподілу електроенергії до тарифу для кінцевого споживача.

Виокремлення у структурі балансу електроенергії значення вартості розподілу для кожного об'єкта обліку можливе шляхом застосування типових графіків втрат (ТГВ) потужності сформованих на основі результатів оцінки стану мереж, матриці коефіцієнтів розподілу та середньоквадратичної похибки у величині змінних втрат.

Тому в роботі запропоновано метод формування типових графіків втрат електроенергії в розподільних електричних мережах 10(6) кВ на основі результатів оцінки стану мереж та матриці коефіцієнтів розподілу втрат.

4. Використовуючи математичний апарат аналізу чутливості й багатокритеріального аналізу вдосконалено метод оптимізації розміщення та послідовності впровадження засобів обліку електроенергії Smart Metering у розподільних мережах 10(6) кВ. Показано, що використання методу

сприяє зменшенню капіталовкладень та експлуатаційних видатків завдяки врахуванню технічних особливостей мереж, а також чутливості параметрів режиму мереж до місця встановлення засобів Smart Metering. Використання принципу мінімакса дає можливість отримати інформацію щодо поточної ефективності вимірювального середовища АСКОЕ, а саме зранжувати фрагменти електричної мережі за сукупністю запропонованих критеріїв з урахуванням важливості кожного з них. Отже, отримане рішення є ефективним з огляду на розв'язання задач АСКОЕ і, разом з тим, максимально адаптоване до реалізації.

5. Розроблено алгоритм узгодження псевдовимірювань для підстанцій розподільних мереж, що забезпечують живлення абонентів з різнотипним споживанням та істотно відмінними максимальними потужностями, а також прийом електроенергії від розосереджених джерел енергії. Для цього запропоновано використовувати вагові коефіцієнти, що визначаються відношенням максимальних навантажень окремих споживачів до максимального навантаження споживача з найбільшою зафіксованою потужністю споживання (договірною потужністю). Показано, що застосування коефіцієнтів узгодження сприяє підвищенню адекватності відтворення графіків сумарного споживання на основі ТГН.

6. Розроблено алгоритми формування псевдовимірювань ТГН та ТГГ, визначення типових графіків втрат потужності та визначення оптимальної послідовності впровадження засобів обліку електроенергії Smart Metering. Зазначені алгоритми можуть бути використані для підвищення спостережності розподільних електричних мереж з використанням пристроїв Smart Metering, а також для автоматизації процесу структурування втрат електроенергії в розподільних мережах.

Висновки

Практичне значення роботи полягає в можливості використання розроблених методів та алгоритмів для пофідерного формування структури балансу електроенергії з урахуванням змін схеми та параметрів розподільних мереж протягом звітного періоду, а також для формування інформаційної інфраструктури яка дасть змогу підвищити адекватність моделювання режимів розподільних мереж 10(6) кВ та створить передумови для адресного внесення вартості розподілу електроенергії до тарифів кінцевого споживача.

Розроблені математичні моделі, алгоритми, програмні засоби, передані для експлуатації в АТ «Вінницяобленерго» та ТОВ «Енергоінвест». Деякі теоретичні та програмні розробки використовуються у навчальному процесі кафедри електричних станцій та систем ВНТУ під час викладення курсів «Математичні задачі електроенергетики», «Електроощадні режими й технології» і «АСУ електричних систем».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] О. Бурикін, Ю. Томашевський, та Ю. Малогулко, "Стандартизація функціонування локальних енергосистем при їх інтеграції у системи централізованого живлення на базі концепції SmartGrid", *Енергетика та електрифікація*, № 12, с. 46-48, 2012.

[2] Ю. Томашевський, О. Бурикін, Ю. Малогулко, та В. Гриник, "Інформаційна система розподільної електричної мережі на базі концепції Smart metering із застосуванням типових графіків навантаження", *Технічні науки та технології*, № 321, с. 229-241, 2020, doi: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-229-241.

[3] Y. Tomashevskiy, O. Burykin, V. Kulyk, and J. Malogulko, "Estimation of the dynamics of power grid operating parameters based on standard load curves", *EEJET*, vol. 6, no. 8 (102), pp. 6–12, 2019.

[4] В. Кулик, Ю. Томашевський, та О. Глоба, "Пофідерний аналіз втрат електроенергії у розподільних електромережах 10(6)-0,4 кВ з використанням імітаційного моделювання", *Енергетика та електрифікація*, № 7-8, с. 18-24, 2020.

Томашевський Юрій Васильович — канд. техн. наук, доц., Директор з інформаційних технологій АТ «Вінницяобленерго»

Tomashevsky Yuriy V. - Cand. Sc. (Eng.), Director of Information Technologies, JSC "Vinnytsyaoblenergo", Vinnytsya

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ АЧХ

¹ Вінницький національний технічний університет

² ТОВ «УКРАЇНСЬКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОДУКТИ»

Анотація

Представлено результати аналізу отриманих АЧХ СТ типу ТМГ 1000/10 У1, за місцем його експлуатації. Досліджено вплив зміни отриманих значень передатної функції, які мають на вагомий вплив, на визначення стану СТ, що в подальшому, за певних умов, дозволить виявляти дефекти обмоток та магнітопроводу СТ на ранній стадії їх розвитку.

Ключові слова. діагностування; технічний стан, трансформатор, амплітудно-частотна характеристика.

Abstract

The results of the analysis of the obtained frequency response of ST type TMG 1000/10 U1, according to the place of its operation are presented. The influence of changes in the obtained values of the transfer function, which have a significant impact on the determination of the state of the CT, which in the future, under certain conditions, will detect defects of the windings and magnetic circuit of the CT at an early stage of their development.

Keywords. diagnosing; technical condition, transformer, amplitude-frequency characteristics.

Вступ

Відомо [1÷2], що силовий трансформатор (СТ) займає вагоме місце в енергетичній системі будь-якої розвиненої країни оскільки таке обладнання є одними з найскладніших і відповідальніших видів електрообладнання електроенергетичних систем. Враховуючи це варто зазначити, що від залишкового ресурсу СТ залежить робота енергосистеми та підприємств в цілому. [3]. Наразі, в Україні, варті уваги СТ класом напруги 0,4÷35 кВ, оскільки ознакою сьогодення є стрімкі темпи розбудови об'єктів відновлювальної енергетики в світі та в Україні[4].

Тому підтримання такого обладнання в справному стані важливе завдання для експлуатуючих підприємств.

Результати досліджень

З метою визначення технічного стану, виконано ряд експериментальних досліджень, СТ класом напруги 0,4÷35 кВ що наразі експлуатуються зокрема на ФЕС, дослідження проводились методом частотного аналізу. У результаті вимірювані амплітудних значень напруги сигналу відгуку на тестовий сигнал ($U_{\text{амп.відг}}$) та напруги тестового сигналу ($U_{\text{амп.тест}}$), визначається коефіцієнт передачі тестового сигналу на різній частоті (значення передатної функції), як результат ділення амплітудного значення напруги $U_{\text{амп.відг}}$ (сигнала відгуку на тестовий сигнал для поточної частоти цього сигналу) на амплітудне значення напруги (тестового сигналу для такої ж частоти) $U_{\text{амп.тест}}$. Тоді передатна функція [2], тестового сигналу (1) (F):

$$k(u) = 20 \cdot \log_{10} U_{\text{амп.відг}} / U_{\text{амп.тест}} \quad (1)$$

Під час дослідження СТ типу ТМГ 1000/10 У1 було виконано вимірювання у кількості 3-ох разів. Так під час аналізу отриманих АЧХ, діючого СТ типу ТМГ 1000/10 У1, за місцем його експлуатації, значних відхилень поточної кривої від попередньо виміряної, не виявлено. Однак на проміжку частоти, фаза А, $2 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^4$ спостерігались відхилення в межах 5%, із різкою зміною значень поточної кривої (рис. 1а вимірювання №2, 3, 4) від АЧХ що отримана під час введення даного СТ в експлуатацію (рис. 1а вимірювання №1), а на кривій, що виміряна на фазі В, спостерігалось постійне стрибкоподібне відхилення в межах 2% рис. 1б.

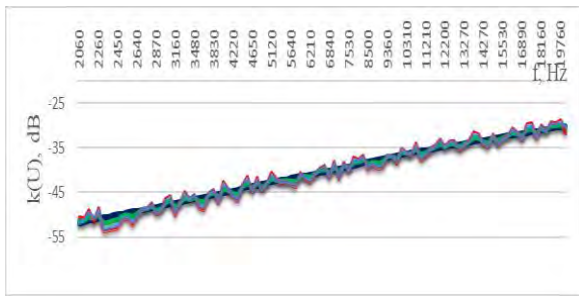


Рис.1а
Рис.1 – Фрагмент де спостерігались коливання значень АЧХ.

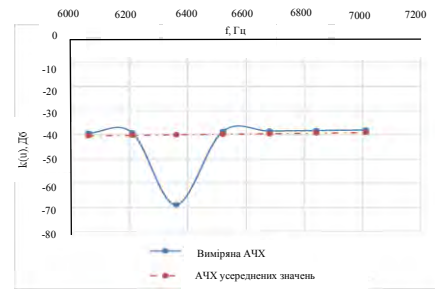


Рис.1б

В результаті досліджень описаних в [1] такі відхилення, можуть свідчити не тільки випадкову похибку під час вимірювань, а і про дефект на ранній стадії його розвитку. Дослідження тенденції відхилень АЧХ, дозволили визначити ймовірний вплив дефекту на ранній стадії його розвитку на значення передатної функції. Для дослідження тісноти взаємозв'язку між попередньо виміряними даними та отриманими даними під час поточних вимірювань, виконано розрахунок коефіцієнтів кореляції Пірсона [1].

$$COR_{P,k(u)} = \frac{\sum(k(u)_{ij} - d_i)(k(u)_{ij} - d_j)}{\sqrt{\sigma_j^2 \cdot \sigma_i^2}} \quad (2)$$

де, $k(U)$ – значення передатної функції, дБ; d – вибіркове середнє абсолютне відхилення, дБ; i – порядковий номер вимірювання; j – порядковий номер вимірювання; σ – дисперсія сукупності вибірки.

Завдяки нормуванню, що набуває значень у інтервалі $-1 \leq COR_{P,k(U)} \leq 1$. Значення впливу характеризується абсолютною величиною коефіцієнта кореляції. Чим ближче до 1 або -1 значення кореляції, тим сильніший зв'язок. Якщо значення знаходиться ближче до 0, то це означає слабкий зв'язок.

За проведеними розрахунками [1] отримано значення коефіцієнтів кореляції Пірсона, що представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів кореляції Пірсона АЧХ досліджуваного СТ

	$k(U)_0$	$k(U)_1$	$k(U)_2$	$k(U)_3$
$k(U)_0$	1			
$k(U)_1$	0,997403528	1		
$k(U)_2$	0,99741809	0,989873151	1	
$k(U)_3$	0,9944691	0,98440075	0,999045051	1

Висновки

1. За результатами аналізу отриманих АЧХ СТ типу ТМГ 1000/10 У1, визначено справний стан, діагностованого СТ.
2. Під час аналізу, на проміжку частоти $2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$ виявлено відхилення в межах 5%, зі стрибкоподібною зміною значень.
3. Досліджено вплив такої зміни отриманих значень передатної функції, з допомогою коефіцієнтів кореляції Пірсона, які вказують на вагомий вплив, таких відхилень для визначення дефектів обмоток СТ. Такий аналіз АЧХ дозволяє підтвердити, або спростувати дефект на ранній стадії його розвитку.
3. Проведені дослідження свідчать про ймовірне зміщення витків між обмотками та кріпленням на ранній стадії розвитку, тому під час наступного технічного обслуговування такого обладнання варто звернути увагу на ймовірність розвитку такого дефекту.
4. На прикладі досліджуваного силового трансформатора типу ТМГ 1000/10 У1, підтверджено його справний технічний стан. Однак на проміжку частоти 6060÷7010 Гц спостерігались стрибкоподібні відхилення, які було попередньо вилучено із розрахунків вважаючи їх промахом.
5. Після додаткових досліджень АЧХ, виявлено дефекти обмоток фази А та В на ранній стадії розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Рубаненко О. Є, Рубаненко О. О, Гришук М. О. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ З ЇХНЬОЮ ДОПОМОГОЮ. Вісник ВПІ [інтернет]. 30, Квітень 2021 [цит. за 09, Жовтень 2021];(2):76-84. доступний у: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2610>

- [2] Лежнюк П. Д. Діагностування силових трансформаторів з використанням нечітких множин / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. А. Жук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2005. — № 1. — С. 43—51.
- [3] RUBANENKO O. Planning of the experiment for the defining of the technical state of the transformer by using amplitude-frequency characteristi / O. RUBANENKO, M. HRYSHCHUK, O. RUBANENKO. // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY Vol 2020, No 3. – 2020. – С. 119–124 doi:10.15199/48.2020.03.27
- [4] Lezhnyuk P. D., Rubanenko O. O., Hun'ko I. O. Keruvannya rezhymamy sektionovanykh rozpodil'nykh elektrychnykh merezh z vidnovlyuval'nymy dzherelamy enerhiyi [Control of Sectioning Distributed Power Grids with Renewable Energy Sources]. Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute. 2020, no. 2 (149), pp. 42-49. doi: <https://www.doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-42-49>

Рубаненко Олександр Євгенійович — к.т.н., професор, професор кафедри електричних станцій та систем; e-mail: rubanenkoae@ukr.net.

Рубаненко Олена Олександрівна — к.т.н., доцент, докторант кафедри електричних станцій та систем; Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Гришук Максим — Ph.D, провідний інженер, ТОВ «УКРАЇНСЬКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОДУКТИ», м. Вінниця e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net

ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Розглянуто метод короткотермінового визначення потужності сонячної та вітрової генерації у вузлах електричної мережі при плануванні її режимів роботи. Представлений метод планування дозволяє на основі універсального коефіцієнту генерації забезпечити максимальний рівень генерації активної потужності відновлювального джерела енергії при дотриманні зон безпеки режимних параметрів.

Ключові слова: планування режиму, сонячна генерація, активна потужність, універсальний коефіцієнт генерації, режим електричної мережі.

Abstract

The method of short-term determination of solar and wind generation power in the nodes of the electric network when planning its operating modes is considered. The presented planning method allows providing the maximum level of generation of active power of a renewable energy source on the basis of universal coefficient of generation in compliance with the safety zones of the mode parameters.

Keywords: mode planning, solar generation, active power, universal generation factor, power grid mode.

Вступ

Організацію оперативного керування режимами електричних систем значно ускладнює зростаюча стохастична потужність сонячних та вітрових електростанцій (СЕС та ВЕС відповідно). Наприклад, для СЕС пік потужності генерації приходить на провал потужності споживання. Як варіант узгодження графіків генерації та споживання за умов дотримання якості та надійності електропостачання, допустимо мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік навантаження або виконати перерозподіл генерованих потужностей на різні системи шин. Перший варіант реалізується за допомогою зонного тарифу на електроенергію. Другий варіант – коригуванням схеми приєднання інверторів умовно-керованих відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), при цьому надлишок потужності генерації буде перенаправлений до центру живлення. Таким чином відбувається оперативне узгодження графіку видачі потужності СЕС на одній з систем шин та навантаження споживачів, при цьому надлишок потужності генерації видається напряму до центру живлення [1].

Результати досліджень

Вирішення задачі узгодження потужності генерації з місцевим навантаженням використано універсальний коефіцієнт генерації, головними складовими якого є потужність генерації та навантаження i -того пункту схеми, сумарна довжина ліній та потужність трансформаторів [2]. При цьому було враховано статичні характеристики навантаження за напругою.

На рис.1 представлено погодинний добовий графік навантаження ПС 110/10 та реальний графік генерації СЕС.

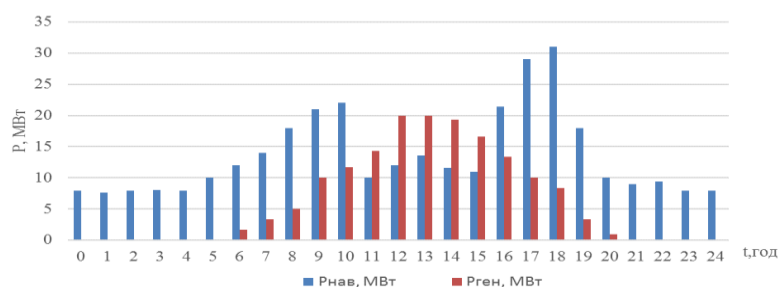


Рис.1 – Сумісний добовий графік навантаження та генерації сонячної електростанції

Внаслідок використання універсального коефіцієнту генерації рівень генерації потужності СЕС приведений відповідно до графіку навантаження, а сформований надлишок потужності може бути або переданий до загальної електричної мережі або накопичений з метою створення власного резерву для зменшення різниці небалансу при роботі за реальним графіком.

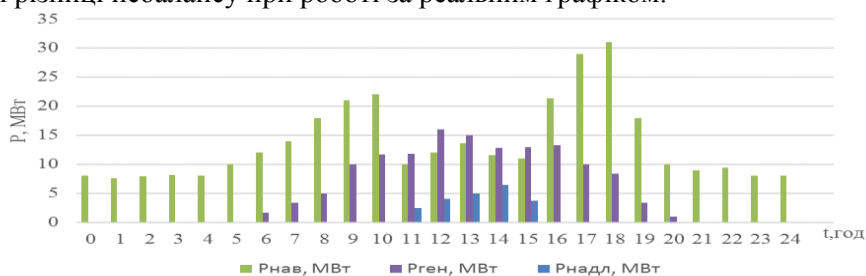


Рис.2 – Узгоджений добовий графік навантаження вузла та потужності генерації сонячної електростанції

Використання універсального коефіцієнту генерації дозволяє короткостроково визначити оптимальну потужність генерації джерела СЕС та ВЕС, яка забезпечуватиме зниження втрат енергії в мережі та покращення режиму напруги мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Лежнюк П. Д., Кравчук С. В. Оптимізація схем під'єднання нетрадиційних і відновлювальних джерел електроенергії в електричних мережах // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – №2(65). – С.168-173.

[2] Богомолова Оксана Сергіївна. Методи та моделі оцінки потужності сонячної та вітрової генерації у вузлах електричної мережі: дис. канд. техн.наук.: 05.14.02 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2021. – 155 с.

Богомолова Оксана Сергіївна – кандидат технічних наук, асистент кафедри електричних мереж та систем Національного Технічного Університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, тел. 0502838475, e-mail: Bohomolovaos@ukr.net

Bogomolova Oksana S. – Cand. Sc., Assistant of the Department of Electrical Networks and Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv. e-mail: Bohomolovaos@ukr.net

САМОЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ В НЕНАВАНТАЖЕНОМУ РЕЖИМІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

Інститут електродинаміки НАН України

Анотація

Досліджено проблему самозбудження синхронних генераторів у ненавантаженому режимі ліній електропередавання

Ключові слова: лінії електропередавання, надвиска напруга, самозбудження

Abstract

The problem of self-excitation of synchronous generators in the unloaded mode of power transmission lines is investigated

Keywords: power lines, overvoltage, self-excitation

У ненавантаженому режимі роботи лінії електропередавання надвисокої напруги (ЛЕП НВН) існує проблема не тільки авто параметричного самозбудження парних гармонійних складових з резонансним підвищенням напруги, але й самозбудження генераторів. В такому режимі роботи зарядна потужність лінії може значно перевищувати номінальну потужність приєднаних до електропередачі генераторів, що призводить до самозбудженням генераторів при якому на їх затискачах і на лінії встановлюється напруга, що не відповідає струму збудження. Тобто, можливість виникнення самозбудження і його характер значною мірою залежать від співвідношення між номінальною потужністю генераторів станції і зарядної потужністю лінії.

Ступінь компенсації зарядної потужності лінії при проектуванні розраховується на 60-80% відповідно до наявних потужностей шунтувальних реакторів, які виготовляються на заводах. Проблема забезпечення необхідного ступеня компенсації зарядної потужності для конкретного вирішення експлуатаційної задачі є неможливою задачею, внаслідок неможливості регулювання індуктивністю шунтувального реактора. В даному випадку гостро постає питання регульованої компенсації зарядної потужності для унеможливлення виникнення негативних явищ, в тому числі самозбудження генераторів.

У роботах розглядаються питання трактування явища самозбудження [1-2]; математичного опису перехідного [3] і стаціонарного [4] режимів роботи асинхронного генератора; визначення умов і меж самозбудження [4]; стабілізації амплітуди і частоти напруги, що генерується [4], оцінки необхідного значення фазної ємності [4].

У [1,4] намагалися описати процес самозбудження в режимі холостого ходу та при переході від ємнісного до індуктивно-резистивного навантаження. При цьому математичні вирази стають занадто складними для обчислення та подальшого аналізу. Слід зауважити, що через обмежену потужність в той час обчислювальної техніки провести дослідження та виявити фактори, що більш всього впливають на умови виникнення самозбудження генераторів. Також в роботах [1-4] не було зроблено повного математичного опису параметричного резонансу синхронного генератора, а також його якісного аналізу з використанням найпростішого математичного апарату.

У випадку встановлення КШР можна керувати ступенем компенсації зарядної потужності таким чином, що відлаштуватися від зони самозбудження генераторів. Це можливо завдяки тому, що КШР здатні працювати з нормованою перевантаженням до 130% і короткочасним перевантаженням до 200%. В такому випадку зарядну потужність можливо компенсувати таким чином, що синхронний генератор не буде працювати з ємнісним навантаженням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І., Кучанський В.В., Шполянський О.Г. (2012) Дослідження резонансних перенапруг на ультрагармоніках парної кратності на ЛЕП 750 кВ. Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, (29), 20–26.
- [2] Vladislav Kuchanskyu, Olena Rubanenko, Influence assesment of autotransformer remanent flux on resonance overvoltage UPV Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering, 2020, 82(3):233-250.
- [3] Кузнецов В. Г. Модель ЛЕП для дослідження аномальних перенапруг / В. Г. Кузнецов, Ю. І. Тугай, В. В. Кучанський // ХНТУСГ ім. П. Василенка. — 2011. — Вип. 116. — С. 41—43.
- [4] R. R. Chilipi, B. Singh and S. S. Murthy, "Performance of a self-excited induction generator with dstatcom-dtc drive-based voltage and frequency controller," IEEE Trans. on Ene. Conv., vol.29, no.3, pp.545,557, Sept. 2014.

ЗАСТОСУВАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

¹ТОВ «Схід- Електросервіс»

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»)

Анотація

Розглянуто можливість використання вихрострумів методів неруйнівного контролю в електроенергетиці. Проаналізовано з застосуванням амплітудного і фазового методів неруйнівного контролю зміну параметрів проводу АС 240/32 мм² і виявлено, що зі збільшенням механічного зусилля на провід зменшується питомі електрична провідність проводу і збільшується його питомий опір. В результаті такої зміни значень параметрів подовжується провід, що приводить до збільшення стріли провисання та можливого його обриву, що спонукає до ускладнення режиму роботи електричних мереж й обумовлює доцільність контролювання поточних параметрів повітряних ліній електропередачі.

Ключові слова: амплітудний метод, електрична провідність, механічне зусилля, неруйнівний контроль, питомий опір, повітряна лінія, провід, фазовий метод.

Abstract

The possibility of using eddy current methods of nondestructive testing in the power industry is considered. The change of parameters AC 240/32 mm² wire was analyzed using amplitude and phase methods of nondestructive testing and it was found that with increasing mechanical force on the wire the specific electrical conductivity of the wire decreases and its resistivity increases. As a result of such a change in the values of the parameters, the wire is elongated, which leads to an increase in the sagging arrow and its possible breakage, which complicates the operation of electrical networks and determines the feasibility of controlling the current parameters of overhead power lines.

Keywords: amplitude method, electrical conductivity, mechanical force, non-destructive testing, resistivity, overhead line, wire, phase method.

Вступ

Контроль поточних параметрів повітряних ліній електропередачі (ПЛ) дозволяє керувати величиною потужності, яка передається по лінії з урахуванням інформації про струмове навантаження й метеопараметри. Особливу увагу слід звернути на взаємодію ПЛ з метеопараметрами тому, що серед технічних характеристик ліній нормуються і граничні рівні положення проводів відносно землі. А вплив метеопараметрів (сніг, дощ, тощо) приводить до механічної та термічної деградації проводу, що сприяє його подовженню та можливому обриву й веде до зростання числа аварійних випадків в електричних мережах (ЕМ). Таким чином, керування режимами роботи ПЛ згідно з реальними даними про механічну і термічну стійкість проводів являється актуальним.

В даній роботі пропонується дослідити доцільність застосування вихрострумів методів неруйнівного контролю параметрів проводів ПЛ з метою покращення керування режимами роботи ЕМ в реальному часі.

Результати досліджень

Для електроенергетики досить перспективним є використання вихрострумів методів, а саме амплітудного і фазового методів неруйнівного контролю поточних параметрів повздовжніх провідників, якими являються й проводи ПЛ. Ці методи доцільно використовувати спільно для прогнозування граничних значень конструктивних величин: габаритів лінії, стріл провисання й подовження проводів [1, 2].

Експериментальні дослідження цього напрямку проводилися на лабораторній установці кафедри «Інформаційно-вимірвальні технології і системи» НТУ «ХПІ» з використанням проводу АС 240/32 мм², який застосовується переважно для ПЛ 110 кВ, при $f = 700$ Гц; $I = 0,2$ А; $U_{\Sigma 0} = 16$ мВ.

Алгоритм визначення параметрів проводу ПЛ 110 кВ наступний [3]: за вимірними значеннями амплітуд першої і третьої гармоніки і фази першої гармоніки, користуючись графіком $\frac{A_3}{A_1^3} = f(\text{tg}\Phi_1)$ [1], визначається величина відносної магнітної проникності (μ_r). Потім, користуючись графіком $\text{tg}\Phi_1 = f(x)$ [1], по кривій відповідного значення (μ_r) і вимірному значенню $\text{tg}\Phi_1$ визначаємо загальний параметр x . Надалі за отриманими значеннями μ_r і x з графічної залежності $A_1 \frac{d}{a} = K = f(x)$ [1] знаходиться значення K з наступним обчисленням $a = \frac{A_1 d}{K}$. Потім, з $\sigma = \frac{x^2}{a^2 \mu_r \mu_0 \omega}$ визначається питома електропровідність виробу (σ).

Даний алгоритм використано з невеликими змінами, що не порушують загальну послідовність, для визначення відповідних характеристик проводу АС 240/32 мм² за іншими ознаками просторових гармонік, а саме: амплітуди першої просторової гармоніки і фази першої і третьої просторових гармонік з виробом. Результати вимірювань представлено в табл.

Таблиця – Результати вимірювань параметрів проводу АС 240/32 мм²

Параметри	Одиниці виміру	σ_m , МПа					
		0	2,3	4,5	6,8	9,0	11,3
U_{Σ}	мВ	195	228	245	257	264	269
φ	град.	22,5	24,2	24,9	25,4	25,6	26,0
$U_{\text{вн}}$	мВ	181	213	231	243	250	255
$\mu_{\text{эф}}$	-	36,0	43,3	47,5	50,5	52,2	53,5
σ	10^{-7} См/м	3,76	3,16	3,10	3,06	3,03	2,97
ρ	10^{-8} Ом/м	2,66	3,20	3,22	3,26	3,30	3,36

Результати вимірювань, які наведено в табл. свідчать, що зі збільшенням механічного зусилля (σ_m) на провід зменшується питома електрична провідність проводу (σ) і збільшується його питомий опір (ρ). В результаті такої зміни значень параметрів подовжується провід, що приводить до збільшення стріли провисання та можливого його обриву, що спонукає до ускладнення режиму роботи ЕМ й обумовлює доцільність контролювання поточних параметрів ліній.

Висновок

Проведені дослідження обґрунтовують доцільність застосування вихрострумових методів неруйнівного контролю параметрів проводів повітряних ліній електропередачі з метою покращення керування режимами роботи електричних мереж в реальному часі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. Неразрушающий контроль: в 8 т. Контроль герметичности. Вихретоковый контроль / под. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2003. Т.2. 688 с.
- [2]. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Горкунова И.Б., Шахин И.Х. Многопараметровый электромагнитный метод контроля цилиндрических токопроводов. *Энергосбережение Энергетика Энергоаудит*. 2013. Спец. вып. С. 140 – 144.
- [3]. Бондаренко В.О., Горкунов Б.М., Черкашина В.В., Горкунова И.Б., Серeda А.Г. Розробка методики та практики застосування для безконтактного контролю робочого стану проводів повітряних ліній. Звіт про виконання НДР № 37479. Харків: НТУ"ХП", 2014. 65 с.

Баклицький Владислав Миколайович* – інженер - проектувальник ТОВ «Схід- Електросервіс», аспірант кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: vlad95415@outlook.com

Борисенко Євген Анатолійович — кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: 4borisea@gmail.com

*Науковий керівник: **Черкашина Вероніка Вікторівна** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: veronika2473@gmail.com

Baklytsky Vladyslav M. - engineer - designer of Vostok-Electroservice LLC, graduate student of the Department of Electricity Transmission of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, e-mail: vlad95415@outlook.com

Borysenko Yevhen A. Cand. Sc., Associate Professor of the Department of Information and Measurement Technologies and Systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, e-mail: 4borisea@gmail.com

* Supervisor: **Cherkashina Veronika V.** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Electricity Transmission National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, e-mail: veronika2473@gmail.com

ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВУЗЛОМ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Анотація

Запропоновано методику оцінювання точності обліку електроенергії трифазним вузлом комерційного обліку в режимі зниженого навантаження

Ключові слова: комерційний облік, лічильник, навантаження

Abstract

A method for estimating the accuracy of electricity metering by a three-phase node of commercial metering in the mode of reduced load is proposed

Keywords: commercial accounting, meter, load

Вступ

Вузол комерційного обліку електроенергії для мереж напругою 0,38 кВ включає цифровий трифазний лічильник та вимірювальні трансформатори струму. Відповідно до кодексу комерційного обліку електричної енергії [1], покази лічильників є основою для фінансових відносин між постачальниками та споживачами електроенергії. Як показує досвід експлуатації, промислові та побутові споживачі 0,38 кВ протягом тривалого часу можуть функціонувати в режимі зниженого навантаження, коли струм вимірювальних трансформаторів знаходиться в зоні ненормованої, відповідно до ДСТУ EN 61869-2:2017, відносної похибки. Такий режим знижує точність обліку електроенергії.

Мета роботи – розроблення методики оцінювання точності обліку електроенергії трифазним вузлом комерційного обліку в режимі зниженого навантаження.

Результати дослідження

Для досягнення мети пропонується розробити метод оцінювання залежності невизначеності вимірювання електроенергії лічильником трансформаторного включення від величини струму споживача при зниженому навантаженні за кожним з вимірювальних каналів. Врахування характеристик кожного з каналів при аналізі точності обліку дасть змогу коректно враховувати функціонування навантаження в несиметричних режимах.

Досліджуваний в лабораторних умовах вузол обліку укомплектовано лічильником трансформаторного підключення NIK2307 ART T.1600.M2.21. Для оцінювання дійсних значень вимірювальної величини під час лабораторних експериментів передбачається використовувати лічильник прямого підключення NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21. Клас точності обох лічильників 0,5S. Для оцінювання невизначеності відхилення показів лічильника трансформаторного включення від лічильника прямого включення за умови незмінного рівня навантаження одного з трьох вимірювальних каналів, при нульовому струмі двох інших каналів, передбачається не випадкову невизначеність оцінювати з використанням теорії нечітких множин [2]. Сутність метода полягає у знаходженні вибіркового емпіричного значення функції приналежності на основі довжин інтервалів між сусідніми відносними вибілковими значеннями вимірюваної величини. Визначається найбільш близька оцінка істинного значення, для якого функція приналежності дорівнює 1. Вказане значення розділяє весь діапазон вибіркового значення вимірюваної величини на 2 піддіапазони. Для кожної з гілок функції приналежності, що відповідає одному з виділених піддіапазонів, застосовується поліноміальна апроксимація за критерієм мінімуму чебишевської норми нев'язки похибки. Чисельна мінімізація норми нев'язки здійснюється за методом Нелдера-Міда. З використанням коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для заданого рівня довіри обчислюються межі фаззи-інтервалу, що

характеризує результати вимірювання. Здійснення декількох груп паралельних дослідів та отримання меж нечітких інтервалів невизначеностей вимірювання для різних рівня завантаження дає можливість оцінити параметри апроксимуючих залежностей для меж нечіткої функції, яка описує невизначеність вимірювання електроенергії за одним каналом.

Висновки

Таким чином, застосування підходу до оцінювання невинядкової невизначеності з використанням теорії нечітких множин дає змогу оцінити точність вимірювання електричної енергії вузлом комерційного обліку в режимі зниженого навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Кодекс комерційного обліку електричної енергії. Затверджений постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 311. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text>.

[2] Xintao Xia, Zhongyu Wang, Yongsheng Gao Estimation of non-statistical uncertainty using fuzzy-set theory. *Meas. Sci. Technol.* 11 (2000). Pp. 430–435. URL: <http://www.people.vcu.edu/~lparker/DBGGroup/References/Estimati.pdf>

Василець Катерина – аспірантка, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail : 9275195@stud.nau.edu.ua

Vasylets Kateryna - graduate student, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: 9275195@stud.nau.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГІЛОК І ГРАНИЦЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

У роботі розглянуті питання розробки, використання методів та алгоритмів оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем, що забезпечують ефективне вирішення поставленої задачі розвитку, виконання технічних та ресурсних обмежень у вигляді рівностей та нерівностей. Запропонований алгоритм, який використовує метод гілок і границь, має досить високий рівень збіжності, стійкість до вибору початкових наближень.

Ключові слова: електрична мережа, енергосистема, оптимізація розвитку, технічні та ресурсні обмеження, елементи мережі.

Abstract

The paper considers the development and use of methods for optimization of the established modes of electric networks of modern power systems by reactive power and voltage, which provide an effective solution of the task, the implementation of technical and resource constraints in the form of equality and inequality. The proposed algorithm, which uses the combined gradient method, has a rather high level of convergence, resistance to the choice of initial approximations.

Keywords: electric network, power system, optimization of functioning, technical and resource constraints, network elements.

Вступ

Метою роботи є розробка методів та алгоритмів оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем, що забезпечують ефективне вирішення поставленої задачі розвитку, виконання технічних та ресурсних обмежень у вигляді рівностей та нерівностей.

Результати досліджень

Метод гілок і границь відноситься до групи так званих комбінаторних методів, при використанні яких здійснюється направлений частковий перебір припустимих рішень [1, 3-6]. Сутність методу полягає в розбивці множини варіантів розвитку мережі на непересічні підмножини і послідовне виключення підмножин безперспективних рішень. При цьому кожній підмножині ставляться у відповідність зовнішні і внутрішні оцінки.

Нехай існує множина варіантів розвитку розглянутої електричної мережі γ_k . Розіб'ємо цю множину на дві непересічні підмножини γ_k^m, γ_k^e і для кожної з них визначимо внутрішні та зовнішні оцінки - x_k^m, x_k^e, y_k^m і y_k^e . Якщо справедлива умова

$$x_k^m < y_k^e, \quad (1)$$

то підмножина варіантів розвитку мережі γ_k^e явно неперспективна, тому що дисконтовані витрати на спорудження та експлуатацію одного з варіантів розвитку мережі підмножини γ_k^m виявилися менше нижньої границі функції витрат для підмножини γ_k^e . Далі знову виконується дроблення підмножини

$$\gamma_{k+1} = \gamma_k - \gamma_k^e, \quad (2)$$

знову визначаються внутрішні та зовнішні оцінки підмножин, знову визначається підмножина безперспективних варіантів і т.д.

Так як кількість можливих варіантів розвитку електричної мережі є кінцеве число, після виконання певної кількості кроків дроблення множини γ_k сукупність варіантів розвитку, що залишилися, виявиться настільки малою, що може бути визначена точна нижня границя зміни функції дисконтованих витрат кожної з підмножин Z_k^i . Той варіант розвитку мережі, що відповідає меншій з нижніх границь, і є оптимальним.

Необхідно відзначити, що так як кількість дроблень підмножин залежить від порядку розгляду припустимих гілок електричної мережі, ефективність використання методу гілок і границь в істотній мірі залежить від ефективності алгоритму вибору гілки i на кожному кроці оптимізації [2].

Висновки

Методи та алгоритми оптимізації розвитку електричних мереж великих енергосистем, що запропоновані в роботі, забезпечують ефективне вирішення задачі оптимізації, виконання технічних та ресурсних обмежень у вигляді рівностей та нерівностей.

У зв'язку з тим, що при використанні методу гілок і границь на кожному кроці оптимізації необхідно визначати найкоротшу електричну мережу і вирішувати транспортну задачу із проміжними перевезеннями, із збільшенням обсягу електричної мережі різко зростає кількість необхідних обчислень і аналізованих схем, а це ускладнює широке поширення методу.

Розглянутий алгоритм оптимізації розвитку електричних мереж великих енергосистем реалізований у пакеті прикладних програм для персональних комп'ютерів. Розрахунки показали, що пропонується метод оптимізації відрізняється високою збіжністю, досить стійкий до вибору початкових наближень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Баженов В. А. Модели оптимального развития энергосистем. Учеб. пособие / В. А. Баженов. – Киев: КПИ, 1984. – 100 с.

[2] Баженов В. А. Використання методів лінійного програмування для оптимізації розвитку електричних мереж сучасних енергосистем / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016.- №2, с.93-97.

[3] Кацадзе Т. Л. Моделі та методи оптимізації розвитку основних мереж енергосистем в умовах ринкових відносин / Т. Л. Кацадзе, В. А. Сулейманов, В. А. Баженов. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №4. – С. 58–66.

[4] Кузнецов В. Г. Оптимизация режимов электрических сетей / В. Г. Кузнецов, Б. И. Тугай, В. А. Баженов. – Киев: Наукова думка, 1992. – 216 с

[5] Модели оптимизации развития энергосистем: Учебн. для электроэнергет. спец. вузов/ Д.А.Арзамасцев, А.В.Липес, А.Л.Мизин /Под ред. Д.А.Арзамасцева. -М.: Высш. школа. 1987- 272с.

[6] Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – Москва: Мир, 1975. – 534 с.

Баженов Володимир Андрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних мереж та систем НТУУ «КПІ», м. Київ, email : v_bazenov@ukr.net

Bazhenov Vladimir A. – Cand. Sc., Associate Professor of the Department of Electrical Networks and Systems National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv. email: v_bazenov@ukr.net

МОНІТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦІЙ ГАЗІВ, РОЗЧИНЕНИХ У ТРАНСФОРМАТОРНОМУ МАСЛІ, ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

¹Національний університет «Запорізька політехніка»;

²ТОВ «Енергоавтоматизація»

Анотація

Розглянуто методи контролю та аналізу концентрацій розчинених у трансформаторному маслі газів

Ключові слова: газ, трансформаторне масло, концентрація, контроль

Abstract

Methods of control and analysis of concentrations of gases dissolved in transformer oil are considered

Keywords: gas, transformer oil, concentration, control

Контроль та аналіз концентрацій розчинених у трансформаторному маслі газів (АРГ) є потужним діагностичним інструментом для визначення поточного технічного стану трансформаторного обладнання. Але світова тенденція до створення підстанцій без постійного обслуговуючого персоналу не передбачає періодичного відбору проб масла обслуговуючим персоналом. В останні 20 років на ринку почали з'являтися прилади для моніторингу (умовно безперервного контролю) концентрацій розчинених в маслі газів.

Контроль концентрацій газів у режимі моніторингу дозволяє не тільки зафіксувати наявність дефекту в трансформаторному обладнанні, а й зафіксувати динаміку зміни концентрацій діагностичних газів у часі. Методики інтерпретації отриманих значень концентрацій розчинених газів викладені у вітчизняних і зарубіжних стандартах, наприклад, [1, 2, 3], давно відомі і мають позитивний досвід використання.

Існують розбіжності у показаннях стаціонарних газоаналізаторів з лабораторними дослідженнями. В лабораторних умовах використовуються хроматографи, а існуючі на ринку стаціонарні газоаналізатори основані на методі хроматографії і методі поглинання молекулами газів випромінювання в ІК-діапазоні, згідно із законом Бугера - Ламберта – Бера (метод спектроскопії).

Методи спектроскопії оцінюють концентрації конкретних газів у загальній суміші. «Паразитні» сполуки можуть впливати на вимірювання, викликаючи додаткове ІК-поглинання в тих же спектральних областях, які використовуються для оцінки концентрацій «діагностичних» газів. Впливи «паразитних» сполук можуть призвести до відхилень з показаннями лабораторних хроматографів, під час реальної експлуатації маслонаповненого обладнання. Але стаціонарні прилади здатні зафіксувати тренд у погіршенні стану обладнання, що і є основним завданням безперервного контролю (моніторингу), тому враховуючи переваги режиму моніторингу застосування таких приладів для запобігання аварійних випадків доцільно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] СОУ-Н ЕЕ 46.501.2006 - Диагностика маслонаполненного трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа свободных газов, отобранных из газового реле, и газов, растворенных в трансформаторном масле. [Чинний від 29.12.2006]. Вид. офіц. Київ:ОЕП «ГРІФРЕ», 92.

[2] IEEE C 57-104. IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers.

[3] IEC 60599. Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis.

Сахно Олександр Анатолійович – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних та електронних апаратів, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail – a.sakhno@yahoo.com

Скруська Людмила Степанівна – старший викладач кафедри електричних та електронних апаратів, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail – Lskrupskaya@gmail.com

Доморошин Сергій Вікторович – інженер електрик 1 кат. відділу систем моніторингу, ТОВ «Енергоавтоматизація» м. Запоріжжя, Україна. e-mail – domoroshchin77@gmail.com

Sakhno Oleksandr A. - Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of Electrical and Electronic Devices, Zaporizhia Polytechnic National University, Zaporizhia, Ukraine, e-mail - a.sakhno@yahoo.com

Lюдмила Stepanovna S. - Senior Lecturer, Department of Electrical and Electronic Devices, Zaporizhia Polytechnic National University, Zaporizhia, Ukraine, e-mail - Lskrupskaya@gmail.com

Domoroshchin Serhiy V. - electrical the 1st engineer category. Department of Monitoring Systems, Energoavtomatizatsiya LLC, Zaporizhia, Ukraine. e-mail - domoroshchin77@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз сучасного стану атомної енергетики в світі та в Україні.

Ключові слова: енергетика, атомна електрична станція, джерело енергії, викопне паливо

Abstract

An analysis of the current state of nuclear energy in the world and in Ukraine.

Key words: energy, nuclear power plant, energy source, fossil fuel

Вступ

Електроенергетика відіграє визначальну роль у розвитку будь-якої галузі країни, а також у загальному рівні життя людей. Енергетику зазвичай поділяють на традиційну, яка використовує невідновлювані джерела енергії (вугілля, природний газ, нафту, ядерне паливо), та нетрадиційну, яка переважно використовує відновлювані джерела енергії (біомасу, енергію річок, сонце, вітер, геотермальні джерела, енергію припливів тощо). На сьогодні традиційна енергетика посідає головне місце в енергетичному балансі країн.

На викопне паливо (вугілля, нафту і газ) сьогодні припадає близько 65% світового виробництва енергії. І у цьому є серйозні негативні наслідки через забруднення повітря. Науковці стверджують, що 67% викидів парникових газів спричиняє саме енергетика і спалювання викопних видів палива. Це ставить під загрозу не тільки життя наших нащадків, а й всю біосферу в цілому. Очевидно, що альтернативою викопному паливу є відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та атомна енергетика, які є безпечнішими й чистішими [1].

Результати дослідження

На сьогодні в багатьох країнах світу обрано курс на декарбонізацію. І зробити це тільки за рахунок відновлюваних джерел енергії не можливо. Альтернативою старих електроустановок, що використовують викопне паливо, є використання атомних станцій з ядерними реакторами нового покоління [2].

В роботі досліджено сучасний стан та перспективи розвитку атомної енергетики в світі та в Україні. За даними Всесвітньої ядерної асоціації (World Nuclear Association) на сьогодні ядерна енергія забезпечує близько 10% світової електроенергії приблизно з 445 енергетичних реакторів. Атомна енергетика є другим за величиною джерелом низьковуглецевої енергії в світі [3].

В Україні станом на серпень 2021 року встановлена потужність АЕС складає 24,85%, і займає друге місце після теплових електростанцій. Але частка атомної енергетики у виробництві електроенергії в Україні на сьогодні найбільша (50-55% електроенергії виробляється АЕС), і поки що альтернативи такому способу генерації не існує [4, 5].

В Україні ядерну галузь представляє державне підприємство «НАЕК «Енергоатом», що є оператором чотирьох діючих атомних електростанцій, на яких експлуатується 15 атомних енергоблоків. Головним завданням НАЕК «Енергоатом» є забезпечення безпеки виробництва електроенергії. Оскільки в 11 енергоблоків до 2030 року закінчується експлуатаційний термін, компанія має визначити подальші дії щодо подовження ресурсу існуючих та будівництва нових енергопотужностей; створення власного Централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива.

Незважаючи на низку проблем в атомній енергетиці країни, НАЕК «Енергоатом» реалізує інвестиційні проекти і програми з метою підвищення надійності та ефективності експлуатації діючих АЕС України [5].

Отже, атомна енергетика має низку переваг порівняно з тепловою та відіграє важливу роль в енергетичному секторі України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] URL: <https://mepr.gov.ua/news/34553.html>

[2] Копішинська К. О. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України / К. О. Копішинська, І. С. Широкова // Економічний вісник НТУУ «КПІ», 2019. – С. 350-359

[3] URL: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>

[4] URL: <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/>

[5] URL: https://www.energoatom.com.ua/ua/press_centra-19/novini_kompanii-20/p/atomna_generacia_bil_s_niz_na_100_vikonue_prognoznij_balans-46643

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

Лесько Владислав Олександрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: leskovlad@ukr.net

Костіна Таїсія Євгенівна — студентка, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Коваль Костянтин Андрійович — студентка, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Teptia Vira V. - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Power plants and electrical system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com

Lesko Vladyslav O. - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Power plants and electrical system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leskovlad@ukr.net

Kostina Tayisiya Y. - graduate student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine.

Koval Kostiantyn A. - graduate student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine.

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ТЕРМІНАЛУ RET670 ДЛЯ ЗАХИСТУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі розглянуто основні етапи розрахунку релейного захисту силових трансформаторів з використанням цифрового терміналу RET670

Ключові слова: трансформатор, релейний захист, цифровий термінал, коротке замикання

Abstract

The main stages of calculation of relay protection of power transformers using a digital terminal are considered in the work

Keywords: transformer, relay protection, digital terminal, short circuit

Вступ

Релейний захист (РЗ) – це комплекс засобів та пристроїв, призначений для захисту елементів енергосистеми. Абсолютно кожний елемент захищається як своїм основним захистом, так і резервується захистом суміжного елемента. Це робиться для підвищення надійності. Всі суміжні захисти між собою пов'язані, але діють кожен самостійно, а також враховують умови роботи захистів суміжних елементів. Основною і першочерговою задачею релейного захисту є безперервний контроль за станом усіх елементів електроенергетичної системи і реагування на пошкодження і ненормальні режими в цих елементах. За пошкоджень релейний захист повинен виявити ушкоджену ділянку і відключити її від системи, впливаючи на спеціальні силові вимикачі, призначені для розмикання струмів пошкодження [1].

На сьогодні дуже активно впроваджуються цифрові релейні захисти, виконані на мікропроцесорній елементній базі, та засоби автоматизації, що дає змогу значно підвищити надійність електропостачання та мінімізувати хибні спрацювання захистів.

Результати дослідження

Метою дослідження є розрахунок параметрів спрацювання захисту силового трансформатора, виконаного на основі терміналу RET670 [2].

Вибір параметрів налаштування терміналу RET670 реалізується такими захистами та розрахунками [3, 4].

- Розрахунок параметрів аналогових входів цифрового терміналу;

У випадку диференційного захисту трансформатора за допомогою цифрового терміналу RET670 розрахунки здійснюються у первинних величинах. Тому необхідно вводити дані про аналогові виводи – параметри трансформаторів напруги та трансформаторів струму, номінальні струми виводів пристрою, також параметри силового трансформатора (потужність, напруги на сторонах, номінальні струми обмоток тощо). Для обраного цифрового терміналу RET670 використовувався один аналоговий модуль типу TRM40 або TRM41, у якого є 12 каналів аналогових входів. В даному терміналі використовували комбінацію «6I + 6U» – 6 струмових та 6 напругових входів.

- Розрахунок параметрів пристрою РПН;
- Цифрове вирівнювання струмів плечей диференційного захисту;
- Перевірка виконання вимог до плечей захисту трансформаторів струму (ТС);

У номінальному режимі роботи пристроїв РЗА, похибка трансформаторів струму не повинна перевищувати 10% під час максимального струму короткого замикання. Виконується перевірка трансформатора струму зі сторони низької та високої напруг ТС.

- Вибір та розрахунок параметрів спрацювання диференційного захисту;
- Перевірка чутливості диференційного захисту;

- Максимальний струмовий захист (МСЗ) трансформатора від надструмів зовнішніх к.з.;
Встановлюють МСЗ на стороні ВН трансформатора.

Для вибору первинного струму спрацювання МСЗ розглядають дві умови та вибирають більше значення: відведення від максимального робочого струму силового трансформатора; узгодження МСЗ з суміжними елементами за чутливістю.

- Захист трансформатора від перевантажень;
- Пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ) силового трансформатора.

Отже, в роботі було досліджено захист силового трансформатора на основі цифрового терміналу RET670.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник / В. П. Кідиба. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2015. – 504 с.

[2] Баран П. М. Релейний захист трансформатора (автотрансформатора) на основі цифрового терміналу фірми АВВ RET 670. Методичні вказівки / П. М. Баран, В. П. Кідиба, Б. І.Дурняк. – Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2016. – 42 с.

[3] Устройство защиты трансформатора RET670 Версия 2.2 МЭК. Техническое руководство.

[4] Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА оборудования подстанций производства ООО «АББ Силовые и Автоматизированные Системы», Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.70.98-2011

Тептя Євгеній Андрійович — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: genyashkat@gmail.com

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

Teptia Yevheniy A. - student, Vinnitsia National Technical University, graduate student of the Department of Power Plants and Systems; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: genyashkat@gmail.com

Supervisor: **Teptia Vira V.** - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Power plants and electrical system, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: teptyavira@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ДІАЛОГОВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ АНАЛІЗУ РЕЖИМІВ (ДАКАР) В ДОСЛІДЖЕННЯХ ПИТАНЬ СТІЙКОСТІ РОБОТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано використання комплексу ДАКАР для аналізу стійкості роботи турбогенераторів в навчальному процесі.

Ключові слова: стійкість, ЕЕС, турбогенератори, навчальний процес.

Abstract

The use of the DAKAR complex for the analysis of stability of work of EES in educational process is offered

Keywords: sustainability, EES, learning process.

Вступ

Формування математичної моделі для дослідження будь-яких процесів у складних системах з огляду на необхідну точність та можливість практичного застосування виконується з використанням певних припущень. Коли мова йде про дослідження електромеханічних перехідних процесів у реальних ЕЕС, врахування всіх елементів та їх параметрів є неможливим. Для підтвердження отриманих теоретичних знань, невід'ємною частиною навчального процесу є практична їх реалізація. Програмний комплекс ДАКАР є одним з найкращих продуктів для моделювання та дослідження нормальних режимів та питань їх стійкості. Будучи комерційним продуктом, ДАКАР дозволяє отримувати результати, використовуючи актуальну нормативну базу, що є дуже важливим. Метою роботи є оцінка динамічної стійкості турбогенераторів та дослідження впливу регуляторів збудження генераторів електричних станцій на стійкість роботи об'єднаної енергосистеми.

Результати досліджень

Для аналізу стійкості досліджувалась розрахункова модель електричної станції, графічне представлення, якої зображене на рис. 1. Електрична станція складається з двох турбогенераторів потужністю 1000 МВт, кожен з них працює на ВРП 500 кВ та 330 кВ відповідно. Потокообмін між ВРП забезпечується по автотрансформатору зв'язку.

Обов'язково була здійснена перевірка існування початкового усталеного режиму, як необхідної умови дослідження стійкості нормального режиму.

Необхідно:

1. Визначити граничний час тривалості кз.
2. Визначити граничну потужність генератора.
3. Вивчити параметри регуляторів генераторів електричних станцій, що впливають на динамічну стійкість роботи генератора.
4. Проаналізувати можливість запровадження заходів з підвищення стійкості роботи ЕЕС.

Засобами ПК "ДАКАР" виконаємо моделювання зовнішнього великого збурення, що буде причиною виникнення електромеханічного перехідного процесу. В якості такого збурення приймається виникнення короткого замикання на шинах системи. Для чого вмикаємо шунт у відповідному вузлі.. Вказана комутація, вочевидь, призводить до порушення динамічної стійкості турбогенератора.

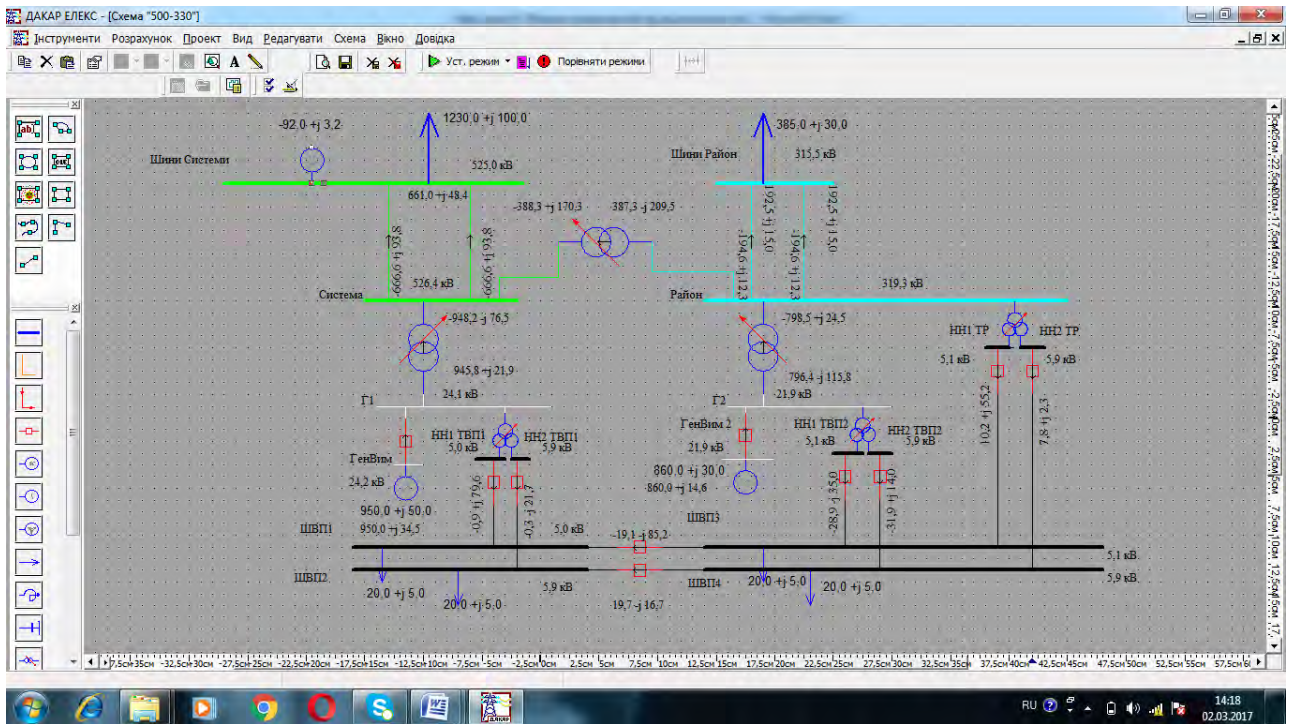


Рис. 1. Схема електричної станції

Для оцінки динамічної стійкості ПК Дакар буде виконана серія розрахунків для різних значень тривалості КЗ для заданого вузла (рис.2).

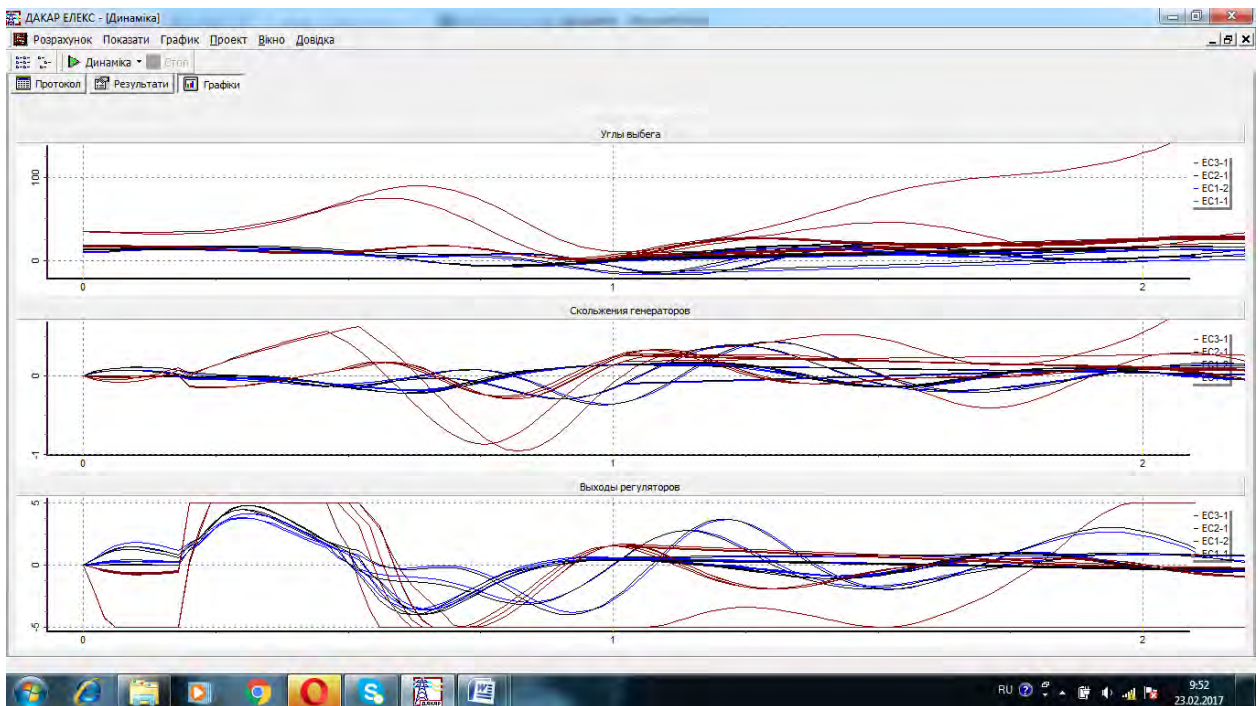


Рис. 2. Схема електричної станції

Провівши моделювання стійкості, отримані результати з оцінкою стійкості. Розрахунок здійснюється за етапами наближення. Процес триває до знаходження граничного часу існування КЗ з заданою точністю, де останній запис в Результатах констатує граничний час відключення к.з. (рис.3).

```

На 0.10 -ой сек Включен шунт в узле: Система Z=(10, 10)Om - Задание
На 0.26 -ой сек Отключен шунт в узле: Система - Задание
Время отключения КЗ t = 0.145 с Режим устойчивый
Предельное время отключения КЗ - 0.145 с

```

Рис. 3. Визначення граничного часу відключення к.з. в ПК ДАКАР

Також ПК Дакар для оцінки динамічної стійкості дозволяє виконувати серію розрахунків для різних значень граничної потужності заданого генератора шляхом поступового обтяження (рис.4).

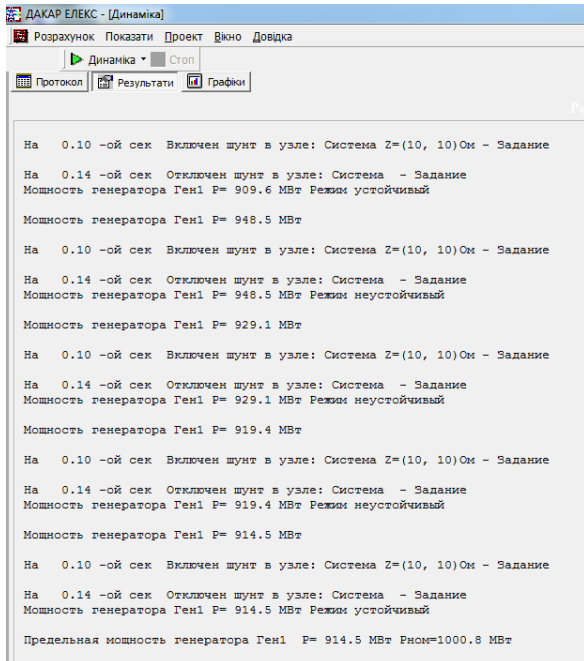


Рис. 4. Визначення граничної потужності генерації в ПК ДАКАР

Після завершення розрахунків у вкладці **Результати** можна спостерігати за етапами наближення. Розрахунок проводиться методом ділення навпіл. Процес триває до знаходження граничної потужності із заданою точністю.

Останній запис в Результатах констатує граничну потужність генератора.

Таким чином аналізується сукупність режимів для відповідного збурення для забезпечення динамічної стійкості.

Отриманні значення граничного часу можуть використовуватись також для оцінки можливості використання існуючих вимикачів з урахуванням їх часу відключення.

Значення граничної потужності отримане шляхом виконання серії розрахунків, що в умовах звичайних досліджень вимагає значних витрат часу.

Аналіз покращення умов динамічної стійкості здійснюється шляхом зміни основних параметрів пристроїв автоматики.

Зміна параметрів налаштування пристроїв автоматики відносно отриманих показників стійкості, дозволяє визначити їх оптимальні значення. Доцільним є визначення впливу налаштування параметрів регуляторів генератора, а саме - постійної часу (запізнення) пристрою форсування збудження, кратності форсування збудження, постійної інерції регулятора швидкості та коефіцієнту статизму регулятора швидкості.

Для підбору оптимальних параметрів налаштування регуляторів збудження можна використати графічний пакет аналізу ПК ДАКАР з Д-розбиттям.

Висновки

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє підвищити якість навчального процесу підготовки кадрів, шляхом практичного використання сучасного програмного комплексу ДАКАР. Отримані результати та навички відповідають як актуальній нормативній базі так і роботі оперативного-диспетчерського персоналу різних рівнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Жданов П.С. Устойчивость электрических систем. ГЭИ. Москва- Ленинград. 1948г. -202с.
- [2] Глушкин И.З., Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах., М.: Знак, 2009 - 568 с
- [3] Електронний ресурс <https://dakar.eleks.com/>

Вишневський Святослав Янович — кандидат техн. наук, старший викладач кафедри електричних систем та мереж, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС В ЗАДАЧАХ ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наведено метод математичного моделювання теплових схем та устаткування енергоблоку ТЕС. Представлено математичні моделі низькопотенційної частини енергоблоку. Приведено результати досліджень низькопотенційної частини енергоблоку за допомогою програмних реалізацій математичних моделей. Розглянуто заняття набуття навичок управлінням низькопотенційною частиною енергоблоку на комп'ютерному тренажері.

Ключові слова: ТЕС, енергоблок, конденсаційна установка, водосховище, математичне моделювання, комп'ютерний тренажер.

Abstract

The method of mathematical modeling of thermal schemes and equipment of TPP power unit is given. Mathematical models of the low-potential part of the power unit are presented. The results of researches of the low-potential part of the power unit with the help of software implementations of mathematical models are given. The skills of managing the low-potential part of the power unit on a computer simulator are considered.

Keywords: TPP, power unit, condensing unit, reservoir, mathematical model, computer simulator.

В низькопотенційній частині енергоблоку ТЕС до водосховища скидається біля 50% теплоти згорання палива. Від якості її проектування та експлуатації в значній мірі залежить економічність всього блоку. Метою роботи є створення математичних моделей та програм для розв'язання задач проектування та експлуатації низькопотенційної частини блоку. Математична модель блоку створена за методом ПММаш НАНУ-ВНТУ [1]. Також розроблені математичні моделі водосховища, маслоохолодників, конденсатора. Зараз температура доквілля перевищує проектну, що призвело до недо вироблення електроенергії блоком. Виконані дослідження сучасних гідрологічних режимів водосховища, за результатами яких знайдені економічні вакууми та розраховані маслоохолодники і конденсатори для їх модернізації. Для набуття навичок управлінням устаткуванням низькопотенційної частини створене заняття “Пуск конденсаційної установки”, яке виконується на комп'ютерному тренажері блока. Порядок виконання роботи наступний: 1. заповнюється конденсатор хімічною водою; 2. вмикаються циркуляційні насоси; 3. вмикається пусковий ежектор; 4. заповнюється циркуляційною водою з водосховища маслоохолодники, газоохолодники електрогенератора і вмикаються їх насоси; 5. вмикається насос на рециркуляцію переливом води в конденсатор; 6. вмикається валоповорот турбіни; 7. подається пара до ущільнень турбіни та вмикається ежектор ущільнень; 8. вмикаються основні ежектори; 9. вмикаються бризкальні пристрої; 10. параметри запущеної конденсаційної установки порівнюються з нормативними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] О. М. Головченко, О. М. Нанака, «Напрямок модернізації енергоблоку ТЕС,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 45-52. 2016.

Нанака Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Т. Л. Кацадзе
В. А. Баженов
О. М. Панєнко
О. М. Янковська
К. М. Новіков

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНОЇ ЗА НАПРУГОЮ ТОЧКИ В ДАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

В роботі наведено результати дослідження режиму напруги в проміжних точках дальньої лінії електропередавання змінного струму. Представлені математичні моделі розподілу реактивної потужності та профілю напруги вздовж фактичної та ідеалізованої лінії. Запропоновано спосіб та математичні моделі визначення координат екстремальних точок потякорозділу за реактивною потужністю та за напругою вздовж траси лінії. Показано можливість застосування запропонованих моделей в задачах регулювання та налагодження параметрів гнучких електропередач на базі ліній надвисокої номінальної напруги.

Ключові слова: дальня електропередача змінного струму, ефект Ферранті, гнучка електропередача, розподіл напруги.

Abstract

The paper presents the results of a study of the voltage regime at industrial points of the long-distance AC power transmission line. Mathematical models of reactive power distribution and voltage characteristics of actual and idealized lines are presented. A method and mathematical models for determining the coordinates of extremal points of flow distribution by reactive power and voltage along the line route are proposed. The possibility of using the proposed models in the problem of regulating the parameters of flexible power transmissions based on an ultrahigh rated voltage line is shown.

Keywords: long-range AC power transmission, Ferranti effect, flexible power transmission, voltage distribution.

Формування сучасної системи передачі та розподілу електричної енергії вимагає застосування новітніх підходів до регулювання режимів електричних систем, зокрема до створення електричних мереж, які самоорганізуються, змінюючи свої параметри відповідно до поточних умов робочого режиму. Для досягнення даної мети широкого застосування набувають FACTS-технології, застосування яких забезпечує самоналагодження електропередач, що забезпечує гнучкість системи передачі електричної енергії, збільшення пропускної здатності магістральної електричної мережі, раціональне регулювання напруги в електричній системі тощо. Формування законів регулювання пристроїв компенсації та налагодження параметрів гнучких електропередач вимагає урахування експлуатаційних характеристик робочих режимів магістральних електричних мереж, які визначаються надвеликими зарядними струмами ліній електропередавання надвисокої номінальної напруги та пов'язаним з цими струмами ефектом Ферранті.

Жорсткі обмеження щодо допустимої перенапруги в магістральних мережах надвисокої номінальної напруги обумовлюють постановку задачі визначення найбільшої робочої напруги електропередачі лінії з метою оптимізації заходів, направлених на нормалізацію профіля напруги вздовж траси лінії. Відомі підходи до моделювання розподілу діючих (амплітудних) значень напруги вздовж лінії електропередавання базуються на громіздких викладках, ідеалізації електропередачі або дискретизації лінії електропередавання, що ускладнює оперативне визначення максимальної напруги вздовж траси лінії та унеможливує застосування цих моделей для налагодження гнучких електропередач.

Визначення координати екстремальної точки за напругою вздовж траси лінії потребує розв'язання складного нелінійного рівняння, яке не має аналітичного розв'язку, що ускладнює вирішення задачі налаштування пристроїв налагодження та компенсації параметрів електропередачі відповідно до поточного режиму лінії. Показано, що застосування моделі ідеалізованої електропередачі для визначен-

ня координати екстремальної точки забезпечує високу точність моделювання тільки в режимах малих навантажень електропередачі.

Запропоновано застосовувати математичні моделі лінеаризованої електропередачі, а також більш детальні моделі другого та третього порядку для визначення координати екстремальної точки за напругою вздовж електропередачі. Показано, що збільшення точності розрахунків можна досягти у разі застосування математичних моделей другого та третього порядку. Очевидно, що підвищення деталізації моделювання обумовлює збільшення точності моделі, проте пов'язано із збільшенням громіздкості математичної моделі, а застосування моделі третього порядку взагалі вимагає залучення апарату комплексних чисел для реалізації відповідних розрахунків.

Показано, що для типових конструкцій магістральних електропередач ОЕС України достатню точність розрахунків забезпечують моделі першого та другого порядку і тільки для електропередач надвеликої довжини доцільно використовувати математичну модель третього порядку.

Теймураз Кацададзе – к.т.н., доцент, Кафедра Електричних систем та мереж, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, temuraz@ukr.net

Баженов Володимир - к.т.н., доцент, Кафедра Електричних систем та мереж, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Олена Паненко - Асистент, Кафедра Електричних систем та мереж, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Янковська Олена – ст. викладач, Кафедра Електричних систем та мереж, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10(6)-0,4 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТИПОВИХ ГРАФІКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Аналізується задача підвищення адекватності визначення втрат електроенергії в умовах низької якості інформаційного забезпечення розподільних електричних мереж. Показано, що недосконалість інформаційно-вимірювальних систем, динамічність схем транспортування електроенергії, а також вплив розосереджених джерел електроенергії ускладнюють розв'язання задачі. Запропоновано вдосконалення методу визначення втрат, що полягає у паралельному обчисленні балансових та розрахункових втрат, використовуючи вимірні та типові графіки навантаження та генерування. Показано можливість підвищення адекватності результатів для обох розрахунків.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, розосереджене генерування, втрати електроенергії, типові графіки навантаження, типові графіки генерування

Abstract

The problem of increasing the adequacy of determining electricity losses in the conditions of low quality of information support of distribution electric grids is analyzed. It is shown that the imperfection of information and metering systems, the dynamism of electricity transportation schemes, as well as the impact of dispersed power sources complicate the solution. It is proposed to improve the method of determining losses, which consists in the parallel calculation of balance and estimated losses, using measured and typical graphs of load and generation. The possibility of increasing the adequacy of the results for both calculations is shown.

Keywords: electrical distribution networks, distributed generation, power losses, typical load curves, typical generation curves.

Вступ

Аналіз втрат електроенергії для окремого фрагмента розподільної електричної мережі (РЕМ) переважно виявляється більш інформативним з огляду на формування заходів щодо забезпечення енергоефективності мереж. Однак ця задача виявляється істотно складнішою, порівняно з формуванням структури втрат електроенергії для РЕМ в цілому. Причина полягає в тому, що межа балансової належності РЕМ оснащена належною кількістю засобів обліку відповідної точності. В той же час, фрагменти мереж, навіть, якщо вони є умовно відокремленими, забезпечені інформаційними засобами недостатньо. Похибки, що спричинені цим, можуть бути співмірними з зафіксованим надходженням електроенергії для досліджуваного фрагменту мережі. Схема енергозабезпечення фрагменту мережі часто не відповідає нормальній схемі протягом звітного періоду. Останнє додатково знижує ефективність системи обліку електроенергії.

На даний час практично вирішено проблему комерційного обліку електроенергії для розподільних мереж загалом [1]. Однак задача аналізу втрат електроенергії задля ідентифікації осередків втрат та подальшого їх усунення в різних енергопостачальних компаніях вирішена частково. Задачі періодичного контролю параметрів режимів РЕМ, особливо до 1 кВ, досі є практично не вирішеними [2]. Фрагментарна інформація про ці параметри періодично надходить з засобів вимірювань, яких критично недостатньо. А критичні відхилення параметрів фіксуються завдяки зверненням абонентів до колцентрів енергопостачальних компаній.

Оскільки вимірювання необхідних параметрів електромереж наразі виявляється неможливим, то для розв'язання задачі оцінювання балансу електроенергії доцільно застосовувати комп'ютерне моделювання за результатами натурних вимірювань, а також з використанням типових графіків навантаження. Досвід показав, що для вирішення задачі аналізу втрат можна обмежитися періодичними розрахунками [2]. Та необхідною умовою є імітація динаміки зміни схеми РЕМ, навантаження та

генерування, використовуючи інформацію, яку зібрано протягом звітного періоду.

Результати досліджень

Постановка задачі. Недостатня осначеність сучасних РЕМ засобами обліку внутрішніх перетікань електроенергії є характерною рисою не лише українських енергопостачальних компаній, але й енергокомпаній з інших країн [3]. Якщо звітні втрати електроенергії визначаються для ЕК в цілому, то ці перетікання практично не впливають на кінцевий результат. Однак у випадку визначення втрат для окремого фідера ситуація змінюється, адже частину звітного періоду він може отримувати чи віддавати енергію через внутрішні необліковані зв'язки. Відсутні виміри намагаються замінювати псевдовимірами, які переважно визначаються без проведення імітаційних розрахунків, хоча, механізми внутрішніх перетікань в РЕМ виявляються достатньо складними. Похибки, спричинені таким підходом не можуть бути усунені фільтрацією чи балансуванням змінних, оскільки мають випадковий характер, особливо для мереж з розосередженими джерелами енергії (РДЕ).

Для підвищення точності визначення внутрішніх перетікань в РЕМ пропонується використовувати результати імітаційних розрахунків за результатами комерційного й технічного обліку електроенергії. Для більшості абонентів графіки навантаження чи генерування не реєструються. Тому їх доцільно замінити типовими графіками [4, 5]. Останні задаються в атласах у відносних одиницях відповідно до виду комерційної діяльності абонента. Однак для спрощення перерахунку зафіксованого надходження чи відпуску електроенергії абоненту ці графіки доцільно подавати у відносних одиницях, прийнявши за базис середнє, а не максимальне навантаження/генерування (рис. 1).

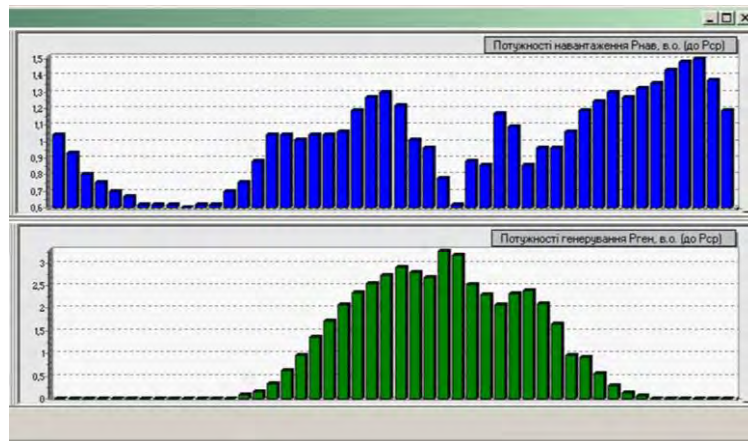


Рис. 1 – Типові графіки навантаження та генерування у відносних одиницях (за базис прийнято середнє навантаження/генерування)

Імітаційні розрахунки для визначення втрат електроенергії в РЕМ пропонується виконувати за таким алгоритмом. За результатами комерційного обліку електроенергії визначають відпуск та надходження електроенергії у приведенні до окремої трансформаторної підстанції (ТП). За нормальною схемою з'єднань РЕМ та графіком перемикачів комутаційних апаратів формують тимчасові схеми для кожного відліку звітної періоду (сходинки графіка навантаження/генерування). За значеннями сумарного відпуску (надходження) електроенергії та тривалості перерв електропостачання для окремих абонентів визначають середні потужності навантаження та генерування для кожної ТП. За середніми потужностями та типовими графіками навантаження чи генерування відновлюють динаміку зміни параметрів кожної ТП. Для кожного відліку звітної періоду розраховується режим середніх навантажень РЕМ, а для кожного внутрішнього зв'язку визначаються перетікання електроенергії W_{B+}^t, W_{B-}^t . Далі за результатами імітаційних розрахунків для кожного відліку звітної періоду поелементно визначаються технічні втрати ΔW_{TP}^t (рис. 2).

Результати імітаційного моделювання компенсують відсутність засобів вимірювання внутрішніх перетікань електроенергії в РЕМ, а також сприяють визначенню технічних втрат електроенергії ΔW_{TP} методом чисельного інтегрування [5].

Врахування типових чи вимірних графіків електроспоживання та генерування РДЕ сприяє зменшенню похибки визначення внутрішніх перетікань, і як наслідок, розрахункових втрат електроенергії. Перехід від розрахунку втрат за середніми потужностями та коефіцієнтами форми (рис. 2, а) до чисельного інтегрування втрат з імітацією графіків навантажень (рис. 2, б) сприяє підвищенню точності оцінювання балансу електроенергії, зменшуючи відхилення між звітними $\Delta W_{ЗВ}$ та технічними розрахунковими $\Delta W_{ТР}$ втратами. Особливо це стосується РЕМ з розвиненими засобами місцевого генерування. Адже останні призводять до того, що графіки навантаження окремих ліній та підстанцій виявляються істотно відмінними від типових, для яких коефіцієнти форми є унормованими.

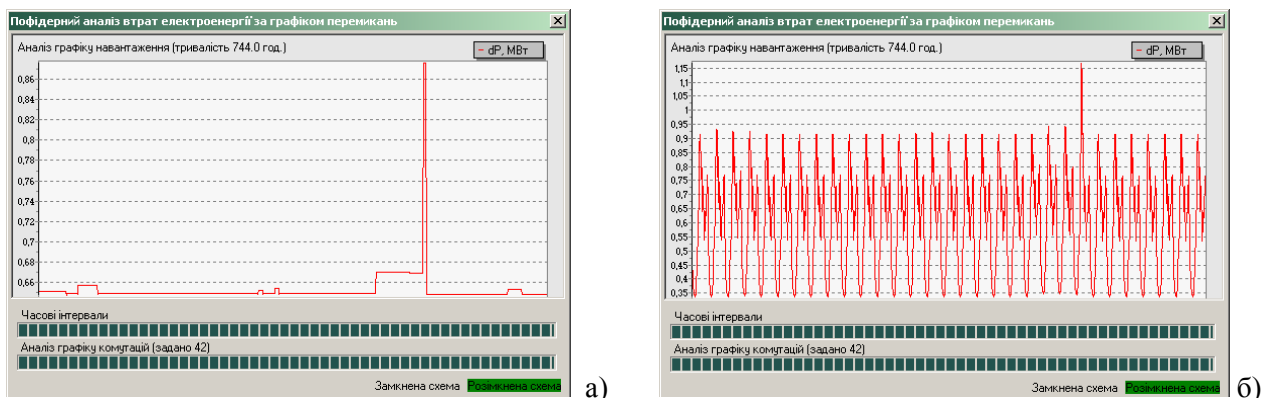


Рис. 2 – Значення втрат потужності в РЕМ за результатами імітаційного моделювання: за середніми навантаженнями (а) та за типовими графіками навантажень (б)

Аналіз ефективності застосування типових графіків навантаження та генерування було проведено на прикладі фрагменту Ямпільських електромереж 10-0.4 кВ, що істотно завантажені перетіканнями електроенергії від РДЕ. Завдяки залученню додаткової інформації та уточненню внутрішніх перетікань, звітні втрати електроенергії для РЕМ зменшилися на 3% (з 1.12 млн. кВт год до 1.07 млн. кВт год на місяць). Розрахункові (технічні) втрати зросли на 6% (з 0.71 млн. кВт год до 0.75 млн. кВт год за місяць). Таким чином, відхилення між звітними та розрахунковими технічними втратами зменшилися з 2.1% до 1.6%, що свідчить про підвищення якості інформаційного забезпечення.

Результати таких розрахунків можуть використовуватися, як вихідні дані для обґрунтованого формування заходів зі зменшення втрат, зокрема оперативної оптимізації нормальної схеми розподільних мереж [6].

Висновки

Показано, що для підвищення ефективності аналізу втрат електроенергії необхідно залучати результати імітаційного моделювання режимів РЕМ на основі вимірних, або типових графіків надходження чи відпуску електроенергії. Запропоновано алгоритм аналізу втрат електроенергії з урахуванням періодичних змін схеми РЕМ. Використовуючи результати імітаційних розрахунків можливо оцінювати внутрішні перетікання електроенергії в РЕМ, і, як наслідок, розрахункові (технічні) втрати електроенергії з вищою точністю, порівняно з поелементними розрахунками та методом середніх навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Кириленко О. В. *Smart Grid* та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах / О. В. Кириленко, І. В. Блінов, С. Є. Танкевич // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 47–48. – ISSN 0204-3599.
- [2] Кулик В.В. Інформаційно-програмне забезпечення пофідерного аналізу й оптимізації втрат електроенергії у розподільних електромережах з розосередженим генеруванням / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, О.В. Глоба // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. – 2017. – № 48. – С. 33–38.
- [3] A. V. Adebayo, C. T. Gaunt, M. Malengret and K. O. Awodele, "Using Network Parameter in Power Loss Allocation in Restructured Environment," 2019 IEEE AFRICON, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/AFRICON46755.2019.9133932.

[4] Буславець О.А. Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні / О. А. Буславець, А. О. Квицинський, Л. Н. Кудацький, С. Я. Меженний, Л. В. Мойсеєнко // Енергетика та електрифікація.– 2016.– № 2. – С. 2–12.

[5] Volodymyr V. Kulyk. Estimation of the dynamics of power grid operating parameters based on standard load curves / Yurii Tomashevskiy, Oleksander Burykin, Volodymyr Kulyk, Juliya Malogulko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. – № 8(6). – P. 6-12. ISSN 1729-3774

[6] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G. B. Jasmon and M. I. Buhari, "A novel method for loss minimization in distribution networks," DRPT2020. International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. Proceedings (Cat. No.00EX382), 2020, pp. 251-256, doi: 10.1109/DRPT.2020.855672.

Володимир Кулик – доктор технічних наук, професор кафедри Електричних станцій та систем ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

Владислав Гриник – студент освітньо-наукової програми «Електроенергетика, електротехніка й електромеханіка» третього рівня вищої освіти Факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: vladgreen14@gmail.com

ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВТРАТАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ 150-0,38кВ

¹ Вінницький національний технічний університет;

² АТ «ХМЕЛЬНИЦЬКОБЛЕНЕРГО»

Анотація

Розроблено концептуальну модель процесу управління технологічними витратами електричної енергії в розподільчих електричних мережах 150-0,38кВ.

***Ключові слова:** технологічні втрати електричної енергії, система розподілу електричної енергії, концептуальна модель, управління технологічними витратами електричної енергії.*

Abstract

A conceptual model for managing the technological costs of electricity in 150-0.38 kV electrical networks has been developed...

***Keywords:** technological losses of electric energy, electricity distribution system, conceptual model, management of technological losses of electric energy.*

Вступ

Процес реалізації комплексу робіт, направлених на зниження технологічних витрат електроенергії (від визначення і аналізу ТВЕ, локалізації непродуктивних ТВЕ і їх причин до планування, організації і контролю за виконанням і оцінювання ефективності ОТЗ із зниження ТВЕ), - по своїй суті є процесом управління ТВЕ, який на даний час не формалізовано. Виникає необхідність у розробці концептуальної моделі процесу управління ТВЕ, яке здійснюється по відношенню до системи розподілу електричної енергії - електророзподільчої системи (ЕРС), включно із розподільчими мережами 150-0,38кВ як об'єкта управління за критеріями зниження ТВЕ[3,4].

Метою роботи є концептуальна декомпозиція і формалізація процесу управління ЕРС за критерієм зниження ТВЕ, що дозволить у подальшому реалізувати процес адаптивного управління (керування) технологічними втратами електроенергії в ЕРС, - з метою досягнення вищих рівнів енергоефективності її функціонування.

Результати дослідження

Оперативні, тактичні, а особливо стратегічні рішення які приймаються керівництвом ОСР щодо реалізації ОТЗ із зниження ТВЕ потребують залучення значних матеріальних ресурсів на всіх стадіях їх реалізації. Підтримка прийняття рішень щодо вибору об'єктів та способів реалізації ОТЗ потребує в свою чергу аналізу значного обсягу розрізної інформації щодо: поточного та прогнозованого стану розподільчих електричних мереж і обліку електроенергії та потоків і балансів електроенергії, а також зовнішніх факторів які впливають на ефективність розподілу електроенергії.

Управління ТВЕ потребує нагромадження та експертного аналізу значного обсягу розрізної інформації (даних) щодо рекомендованих та реалізованих ОТЗ на об'єктах розподілу електроенергії, їх ефективності та (що важливо) доцільності застосування в подальшому. Не зважаючи на наявність значної кількості практичних методичних рекомендації щодо застосування ОТЗ, - їх повна класифікація із врахуванням причин ТВЕ і умов ефективного застосування – не проводилася.

Підвищення ефективності виконання всіх видів ОТЗ (особливо ресурсозатратних, пов'язаних із реконструкцією електричних мереж), - потребує переходу від узагальненого (за звітними витратами по всіх мережах ОСР в цілому) до структурованого адресного управління ТВЕ із поелементним контролем за витратами електроенергії на об'єктах розподілу.

Формування концептуальної моделі процесу управління технологічними витратами електроенергії в розподільчих мережах 150-0,38кВ ЕРС повинне забезпечити можливість побудови і експлуатації системи управління ТВЕ [2,3], яка охоплює всі аспекти процесу розподілу електроенергії [1].

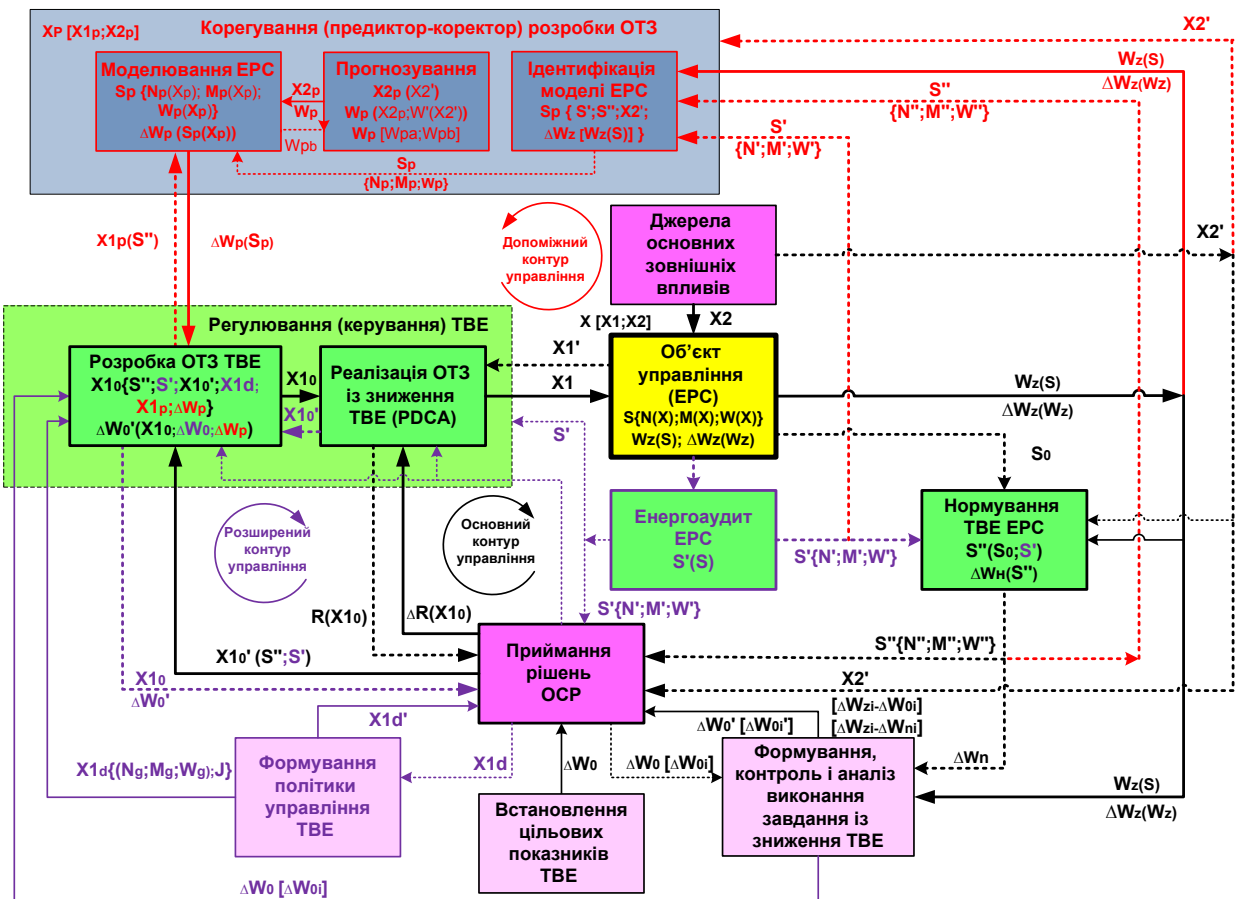


Рис.1. Узагальнена концептуальна модель управління технологічними витратами електроенергії в системі розподілу електроенергії (у розподільчих мережах 150-0,38кВ).

На представленій на Рис. 1. узагальненій концептуальній моделі управління технологічними витратами електроенергії центральне місце займає ЕРС, як самостійно функціонуючий об'єкт управління, що забезпечує неперервний розподіл електроенергії від виробників до споживачів. На об'єкт управління мають місце основні неконтрольовані впливи зовнішнього середовища (X_2) (погоднокліматичні умови, тощо) та цілеспрямовані впливи системи управління (X_1), які спричиняють до змін у системі електричних мереж (N), системі електричних вимірювань (M) та системі потоків енергії (W).

Система управління представлена трьома контурами, які відповідають етапам її розвитку. Процеси та інформаційні зв'язки між ними на Рис. 1 для кожного контура відображені окремими кольорами. Кожен процес в концептуальній моделі управління ТВЕ має своє формальне представлення через узагальнені функціональні залежності, а інформаційні зв'язки між процесами відповідають аргументам та значенням цих функцій.

Основний контур управління ТВЕ передбачає виконання процедур нормування ТВЕ в мережах ЕРС, встановлення цільових показників ТВЕ, а також відповідно до цих показників формування, контролю і аналізу виконання завдання із зниження ТВЕ та формування і реалізації корегуючих впливів на ЕРС шляхом розробки і реалізації організаційно-технічних заходів із зниження ТВЕ. Центральне місце в основному контурі займають процеси прийняття рішень в ОСП, які взаємодіють із описаними вище процесами.

Розширений контур управління включає до свого складу усі процеси основного контура із розширенням їх функціональних можливостей (завдання із зниження ТВЕ та розробка ОТЗ) та окремі допоміжні процеси. Так, зокрема, у цьому контурі формування і оцінка виконання завдання із зниження ТВЕ доповнюється функціями пофідерного аналізу, а розробка ОТЗ із зниженнями ТВЕ здійснюється із врахуванням політики управління ТВЕ. Процес формування політики управління ТВЕ визначає пріоритети щодо реалізації ОТЗ із зниження ТВЕ. Процес енергоаудиту ЕРС підвищує достовірність

інформації не тільки щодо складу, зв'язків і структури ЕРС, але і що найбільш важливо – щодо технічного і організаційного стану усіх складових частин ЕРС.

Допоміжний контур управління доповнює розширений контур і забезпечує реалізацію схеми адаптивного управління (або ж схеми предиктор-коректор). При реалізації адаптивної схеми на кожному циклі управління вносяться зміни (корегування) до алгоритму розробки ОТЗ із зниження ТВЕ. Вибір об'єктів електричних мереж та заходів для розробки і послідуочної реалізації ОТЗ із зниження ТВЕ на цих об'єктах (який для основного і розширеного контурів управління реалізується через жорсткі алгоритми приймання рішень та врахування пріоритетних об'єктів і заходів) – здійснюється із врахуванням прогнозів, які надходять із блоку корегувань. Основою блоку корегувань є модель ЕРС, ідентифікація якої здійснюється регулярно за результатами енергоаудиту ЕРС. Моделювання здійснюється на основі прогнозування (“предиктор”) потоків відпуску-відбору електроенергії (W) ЕРС, які в свою чергу залежать від прогнозу впливу зовнішнього середовища (X2). Вплив зовнішнього середовища повинен також моделюватися на систему електричних мереж (N) та систему електричних вимірювань (M). Інформація, отримана із допоміжного контура управління - дозволить визначити очікуваний результат запланованих ОТЗ із зниження ТВЕ та адекватно оцінити ефективність цих ОТЗ і за необхідності здійснити вибір інших, більш економічно ефективних заходів. Очевидно, що для реалізації схеми адаптивного управління необхідно розробити відповідні адаптивні алгоритми вибору ОТЗ із зниження ТВЕ для процесу їх розробки.

Висновки

Запропонована концептуальна модель управління ТВЕ в розподільчих мережах 150-0,38кВ ЕРС, - розроблена шляхом узагальнення і розвитку опису предметної області (управління ТВЕ) здійсненого автором у роботах [2,3,4]. Концептуальна модель описує процес управління ТВЕ в ЕРС як процес оптимізації функціонування ЕРС через підвищення її енергоефективності.

Ця модель може бути застосована для вирішення завдань не тільки стратегічного і тактичного управління (в розрізі років та місяців) при формуванні планів розвитку та поточної експлуатації систем розподілу (ЕРС), але і оперативного управління (оптимізації) ТВЕ в темпі процесу експлуатації ЕРС, - за умови розробки відповідних заходів автоматизованого оперативно-диспетчерського управління та їх реалізації в середовищі автоматизованих систем диспетчерсько-технологічного керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Кодекс систем розподілу . Затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) № 310 від 14.03.2018 / Із змінами, внесеними згідно з Постановами НКРЕКП № 2595 від 03.12.2019 та № 1209 від 24.06.2020 / <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>

[2] Луців П.Д. Організація робіт із зменшення технологічних витрат електроенергії у ВАТ ЕК "Хмельницькобленерго"// Щомісячний науково-технічний аналітичний журнал "Новини енергетики" №6 2005. - С.46-51.

[3] Луців П.Д. Управління технологічними витратами електроенергії в енергопостачальній компанії ВАТ ЕК "Хмельницькобленерго"/ О.Л. Шпак., П.Д. Луців / Электрические сети и системы. Спецвыпуск 2010. - С. 32-40.

[4] Lutsiv P.D. Konzeptionelles Modell eines Stromverteilungssystems als Steuerungsobjekt der Technologischen Verlusten an Elektrizität Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021). Вінницький національний технічний університет. 01.05.2021 – 14.05.2021.

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/13261>

Луців Петро Денисович — аспірант, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця / заступник директора із стратегічного розвитку АТ “Хмельницькобленерго”, м.Хмельницький. E-mail: plutsiv@gmail.com

Lutsiv Petro D. - postgraduate, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia / Deputy Director for Strategic Development of JSC “Khmelnyskoblenergo”, Khmelnytsky. Email: plutsiv@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто функціональну схему розподіленого обчислювального комплексу для оптимізації роботи електростанцій в енергосистемі в темпі процесу. Він реалізується в обчислювальному середовищі TRACE MODE.

Ключові слова: функціональна схема, найвигідніший розподіл навантаження.

Abstract

The functional scheme of the distributed computer complex for optimization of work of power plants in power system in process pace is considered. It is implemented in the TRACE MODE computing environment..

Keywords: functional scheme, the most favorable load distribution.

Вступ

Відомо [0] що розподіл навантаження між електростанціями (ЕС) застосовано в спеціальних обчислювальних пристроях. Прикладом такого пристрою є «Екран-7». Розподіл навантаження між електростанціями (ЕС) здійснюється і контролюється диспетчером системи. В умовах балансуючого ринку ці функції має виконувати системний оператор. Використовуючи рекомендації, отримані при оперативному плануванні з використанням оптимізаційних розрахунків на ЕОМ за вибраним критерієм оптимальності, диспетчер видає на ЕС графіки виробництва активної потужності та графіки напруги на шинах. Інформація береться з бази даних оперативно-інформаційного комплексу (ОІК) ЕЕС.

Недоліком такого способу є недосконала елементна база пристроїв, необхідність еквівалентувати електричні мережі енергосистеми і, відповідно, приблизні методи розрахунку відносних приростів.

Результати досліджень

В основу нової моделі покладено задачу створення функціональної схеми розподіленого обчислювального комплексу для оптимізації роботи електростанцій (ОК ОПЕС) в енергосистемі в темпі процесу. Він реалізується в обчислювальному середовищі TRACE MODE [2,3].

Функціонування обчислювального комплексу оптимізації роботи електростанцій в енергосистемі в темпі процесу здійснюється наступним чином. Процес складається з двох етапів. Спочатку за алгоритмом і програмою, за реальними даними з ОІК розраховується оптимальний режим ЕЕС і визначається найвигідніше навантаження електростанцій. Розрахункова модель (R-схема) системи і характеристики економічних опорів станцій з виділеним регульовальним діапазоном вводяться в ОК ОПЕС. Задаються оптимальні потужності електростанцій P_i . Оскільки режим ЕЕС збалансований, то $\Delta P \approx 0$. Транзитні перетоки є врахованими, тому що вони відображені в базі реальних даних ОІК, за якими розрахований оптимальний режим ЕЕС.

Далі функціонування ОК ОПЕС здійснюється в залежності від значення ΔP , яке визначається як $\Delta P = P_{\Sigma} - P_e$. При зміні навантаження в ЕЕС відбувається найвигідніший перерозподіл згідно характеристик економічних опорів (ХЕО) між електростанціями, в яких є резерв потужності в межах їх регульовального діапазону. При зміні складу блоків і агрегатів станції з банку даних вибирається відповідна ХЕО, яка відповідає новим умовам і містить інформацію щодо реального регульовального діапазону.

Висновки

Запропонована схема розподіленого обчислювального комплексу для оптимізації роботи електростанцій в енергосистемі в темпі процесу, який реалізований в обчислювальному середовищі TRACE

MODE (рис.1). Обчислювальна система найвигіднішого розподілу навантаження між електростанціями є частиною АСДК ЕЕС. Вона під'єднана до бази даних ОІК, звідки в модель ЕЕС поступає інформація про навантаження вузлів системи. Електростанції в обчислювальному комплексі моделюються їх характеристиками економічних опорів.

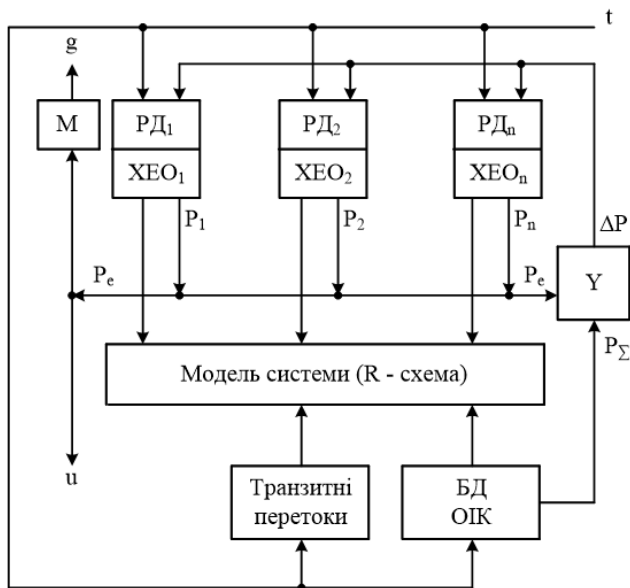


Рис.1 - Функціональна схема найвигіднішого розподілу навантаження між електростанціями

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Веников В.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем / В.А. Веников, В.Г. Журавлев, Т.А. Филиппова – М.: Энергоиздат, 1981. – 464 с.

[2] Gryniewicz-Jaworska M. Adaptive Optimal Control Of Electric Power System Operation Mode On The Base Of Least Action Principle / Gryniewicz-Jaworska M., Lezhniuk P. D., Kulyk V. V., Netrebskiy V.V., Duchkov Y. V. // Advances in Science and Technology Research Journal, Vol 12(3). – 2018. – p. 61–65 doi: 10.12913/22998624/94922.

[3] Обчислювальний пристрій для розподілу навантаження між електростанціями : пат. 147557 Україна : Н02В 1/00 / П. Д. Лежнюк, В. В. Нетребський, В. О. Комар, В. О. Лесько, В. В. Тептя . — № u 2020 08301 ; заявл. 24.12.2020 ; опубл. 19.05.2021, Бюл. № 20. — 5 с.

Палій Олександр Олегович — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, група ЕСМ-20м, магістрант, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Лесько Владислав Олександрович — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leskovlad@ukr.net

Сікорська Олена Вікторівна — кандидат технічних наук, старший викладач, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olenasikorska@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

АНАЛІЗ РОБОТИ РЕЛЕ ЧАСТОТИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ

Національний університет "Львівська політехніка"

Анотація

Перед нами було поставлено задачу автоматичної перевірки характеристик спрацювання цифрового реле частоти. Вказане завдання вирішено шляхом створення алгоритмів перевірки характеристик спрацювання за типовими та особливими характеристиками цифрового реле частоти. На основі алгоритмів створений спеціалізований модуль перевірки реле частоти, що став підсистемою цифрової тестової системи перевірки пристроїв релейного захисту й автоматики (РЗА). Розроблений модуль дозволяє автоматично перевіряти основні характеристики реле частоти, що суттєво оптимізує процес його налаштування та перевірки.

Ключові слова – реле частоти, цифрові пристрої, цифрова система тестування, модуль, цифrogramи, характеристики реле

Abstract

We were given the task of automatically checking the characteristics of the digital frequency relay. The specified problem is solved by creation of algorithms of check of characteristics of operation on typical and special characteristics of the digital frequency relay. On the basis of algorithms the specialized module of check of the frequency relay which became a subsystem of digital test system of check of devices of relay protection and automatic equipment is created. The developed module allows you to automatically check the main characteristics of the frequency relay, which significantly optimizes the process of setting up and testing.

Keywords - frequency relay, digital devices, digital testing system, module, digitgrams, relay characteristics.

Вступ

На даний час за кордоном та в Україні створюються спеціалізовані технічні засоби для налаштування та перевірки пристроїв релейного захисту та автоматики. Сучасні пристрої для перевірки характеристик РЗА виконані з застосуванням цифрової техніки. В даній роботі представлена розробка спеціалізованого модуля для перевірки цифрових реле частоти, що є підсистемою спеціального програмного забезпечення цифрової системи тестування.

Результати досліджень

Найбільш поширеними сучасними системами для перевірки пристроїв РЗА, що застосовуються в енергосистемах України є "Omicron" (Австрія), "Double" (США), "Реле-Томограф" (Росія) та вітчизняні "РЗА-Тестер", "Реле-Тестер" та "РТС-М". Ці пристрої дозволяють якісно та швидко перевіряти характеристики пристроїв РЗА, в тому числі і спеціалізованих складних реле, зокрема реле частоти.

Авторами розроблене спеціальне програмне забезпечення GRAN Test System, що є структурним елементом вітчизняних цифрових систем тестування "РЗА-Тестер", "Реле-Тестер" та "РТС-М".

За допомогою спеціального програмного забезпечення GRAN Test System:

- здійснюється керування цифровою системою тестування "РЗА-Тестер" ("Реле-Тестер", "РТС-М");
- задаються параметри перевірки конкретного пристрою РЗА, в тому числі і реле частоти;
- формуються в цифровій формі для перевірки характеристик пристроїв РЗА сигнали напруг та струмів;
- задається зміна вихідних бінарних сигналів;
- відображаються результати перевірки пристроїв РЗА;
- формуються протоколи перевірки;
- формується бібліотеки тестів для перевірки та налагодження типових пристроїв РЗА.

Спеціальне програмне забезпечення GRAN Test System розроблене для роботи в середовищі операційної системи Windows, має зручний та простий інтерфейс користувача. Спеціальне програмне забезпечення має модульну структуру. Окремі модулі дають можливість користувачу формувати цифrogramи залежно від об'єкту перевірки – дистанційні захисти, диференційні, струмові тощо. Також GRAN Test System забезпечує формування цифrogram напруг та струмів, що відповідають різним режимам енергосистеми – короткі замикання (як в перехідних, так і в усталених режимах), синхронні хитання, асинхронний хід, неповнофазні режими тощо.

Розроблений алгоритм перевірки сучасних цифрових реле частоти, зокрема реле УРЧ-3М, здійснена його цифрова реалізація та створений модуль цифрової системи тестування для оптимальної перевірки їх характеристик.

Розроблений модуль дозволяє перевірити практично всі характеристики вітчизняного цифрового реле частоти серії УРЧ-3М в режимах автоматичного частотного розвантаження (АЧР), частотного автоматичного повторного ввімкнення (ЧАПВ), АЧР з блокуванням по швидкості зниження частоти, контролю швидкості зниження частоти, контролю швидкості підвищення частоти.

Модуль перевірки реле частоти показав високу ефективність на етапі виготовлення реле частоти серії УРЧ-3М на технологічних лініях науково-виробничого підприємства «РЕЛСІС» та під час їх налагодження в енергосистемах України.

Висновки

1. Розроблений алгоритм та на його основі спеціалізований модуль призначений для автоматизації процесу налаштування та перевірки реле частоти, зокрема УРЧ-3М.

2. Функціональний блок спеціалізованого модуля дозволяє за один цикл здійснити перевірку всіх характеристик реле частоти та суттєво зменшити час його перевірки.

3. Під час проведення дослідів з перевірки характеристик реле частоти автоматично формується протокол перевірки, який записується в архів протоколів.

4. Передбачена можливість формування бібліотеки модулів перевірки реле частоти, що дозволяє використати їх для перевірки таких самих та подібних реле частоти на інших об'єктах енергосистем.

5. Ефективність розробленого модуля підтвердилась на етапі виготовлення реле частоти серії УРЧ-3М на технологічних лініях науково-виробничого підприємства «РЕЛСІС».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Баран П.М., Кідиба В.П., Пришляк Я.Д., Шмагала В.М., "Спеціальне програмне забезпечення цифрової тестової системи для перевірки пристроїв релейного захисту та автоматики // Енергетика та електрифікація. – К., 2006. – №6. – С. 25–32.

[2] Баран П.М., Кідиба В.П., Пришляк Я.Д., Шмагала В.М. Програмне забезпечення аналізу інформації з цифрових пристроїв захисту та автоматики // Вісн. Національного ун-ту "Львівська політехніка". – 2003. – № 479 – С. 10 – 17.

[3] Реле частоты унифицированное УРЧ-3М-С. Руководство по эксплуатации, НВП "РЕЛСІС". Режим доступу: <https://reلسis.ua/upload/urch-3m-c.pdf>.

Сегеда Михайло Станкович – доктор технічних наук, професор, зав.каф. ЕСУ, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Е-mail: msseheda@gmail.com

Баран Петро Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра ЕСУ, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Е-mail: pero/m/baran@lpnu.ua

Кідиба Віктор Павлович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра ЕСУ, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Е-mail: Kidyba@ukr.net

Пришляк Ярослава Дмитрівна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра ЕСУ, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів Е-mail: Pryshlak@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАМКНЕНЬ НА ЗЕМЛЮ ТА ЗАХИСТІВ ВІД НИХ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Аналіз видів пошкоджень та захистів ліній електропередач розподільних електричних мереж, свідчить про те, що серед інших, в електричних розподільних мережах 10-35 кВ, що працюють з ізольованою нейтраллю, трапляються подвійні замикання на землю. Під час подвійних замикань на землю в розподільних мережах, що працюють з ізольованою нейтраллю інколи трапляється неселективне відключення ввідного вимикача на трансформаторних підстанціях 110/10 кВ. Однією з причин помилкових відключень ввідного вимикача може бути спрацьовування швидкодіючого логічного захисту шин.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, подвійні замкнення на землю, максимальний струмовий захист, струмовий захист нульової послідовності, селективність струмових захистів.

Abstract

Analysis of the types of damage and protection of power lines of distribution electrical networks shows that, among others, in 10-35 kV electrical distribution networks operating with isolated neutral, there are double earth faults. During double earth faults in distribution networks operating with isolated neutral, non-selective tripping of the input switch at 110/10 kV transformer substations sometimes occurs. One of the reasons for erroneous tripping of the input switch may be the operation of high-speed logic bus protection.

Keywords: electrical distribution networks, double earth faults, maximum current protection, zero-sequence current protection, selectivity of current protections.

Вступ

В наш час в розподільних електричних мережах України експлуатується лінії електропередач (ЛЕП) 6-110 кВ, серед яких понад 400 тис. км ліній електропередачі номінальною напругою 6-35 кВ, що становить приблизно 42% [1] від загальної протяжності всіх електричних мереж. Частина з цих ЛЕП знаходяться в експлуатації понад 50 років. Вони морально та фізично застаріли. Так, понад 40% ЛЕП потребують капітального ремонту, реконструкції або заміни, а електрообладнання багатьох підстанцій відпрацювало паспортний ресурс.

В мережах цих класів напруг застосовуються різні способи заземлення нейтралі, які впливають на надійність та безпеку експлуатації мереж, адже спосіб заземлення нейтралі мережі визначає: струм в місці пошкодження і перенапруги на непошкоджених фазах при однофазному замиканні; схему побудови релейного захисту від замикань на землю; рівень ізоляції електрообладнання; вибір апаратів для захисту від грозових і комутаційних перенапруг (обмежувачів перенапруг); безперебійність електропостачання; допустимий опір контуру заземлення підстанції; безпеку персоналу і електроустаткування при однофазних замиканнях.

Головними причинами замикань на землю є: в повітряних мережах: ушкодження опор ліній, перекриття і ушкодження ізоляції на опорах, ушкодження кабельних муфт під час переходу повітряних ліній в кабельні; в кабельних мережах ушкодження ізоляції на підстанціях, ушкодження кінцевих і сполучних муфт, ушкодження при земляних роботах в районі траси кабелю, ушкодження в кабелях.

Найуразливішим елементом електричної мережі при дії внутрішніх перенапруг є кабелі, зокрема місця з'єднання їх один з одним, кабельні муфти.

Багато пошкоджень кабельних ліній пов'язані з перенапругами під час однофазних замикань на землю в кабельних мережах (за даними - 77 % від загальної кількості пошкоджень).

З досвіду експлуатації мереж 6-10 кВ відомі неодноразові випадки замкнень в декількох місцях. Відомі випадки одночасного пробою в 4-5 точках ліній. По-перше, наявність пробоїв ізоляції під робочою напругою вказує на недостатньо високий рівень ізоляції. По-друге, наявність багатомісних пробоїв свідчить про існування перенапруг. Таким чином, незважаючи на значні запаси ізоляції, аварійність мереж напругою 6-35 кВ досить висока. Тому дослідження пошкоджуваності в цих мережах і засобів захисту мереж від них в наш час актуальною задачею.

Результати досліджень.

Результати досліджень пошкоджуваності електричних мереж 6-35 кВ показані на рис. 1.



Рис. 1. Пошкоджуваність мереж 6-10 кВ (а) 35 кВ (б).

Однак крім зазначених на рис. 1 замикань в мережах 6-35 кВ мають місце і подвійні замикання на землю [4]. Аналіз результатів експлуатації свідчить про те, що не завжди існуючий релейний захист ЛЕП 10 кВ селективно відключає лінії на яких однофазні замкнення на землю у випадку подвійних замкнень. Натомість захист дає команду на відключення ввідного вимикача.

Для захисту ЛЕП 10-35 кВ, які працюють з ізольованою нейтраллю використовуються такі релейні захисти: струмова відсічка, максимальний струмовий захист, струмовий захист нульової послідовності та ін [2-8]. Селективність МСЗ досягається за допомогою витримки часу, а СВ - вибором струму спрацювання. Струм спрацювання СВ відбудовують від струму КЗ в кінці зони дії. Зона дії СВ без витримки часу за умови забезпечення селективності не повинна виходити за межі захищеного елемента. Зона дії СВ з витримкою часу виходить за межі об'єкта, що захищає елемент і за умовою селективності повинна відбудовуватися від кінця зони дії СВ суміжної ділянки по струму і за часом. МСЗ відбудовують від максимального струму навантаження приєднання. МСЗ повинна бути узгоджена з струмовими захистами попередніх приєднань по струму і за часом. Узгодження по струму полягає в тому, що струм спрацювання повинен бути більше струму спрацювання попередніх приєднань з урахуванням струму навантаження. Узгодження по часу полягає в тому, що час спрацювання МСЗ має бути більше часу спрацювання МСЗ попередніх приєднань.

Розглянемо спрощену схему підстанції 110/10 кВ.(рис. 2).

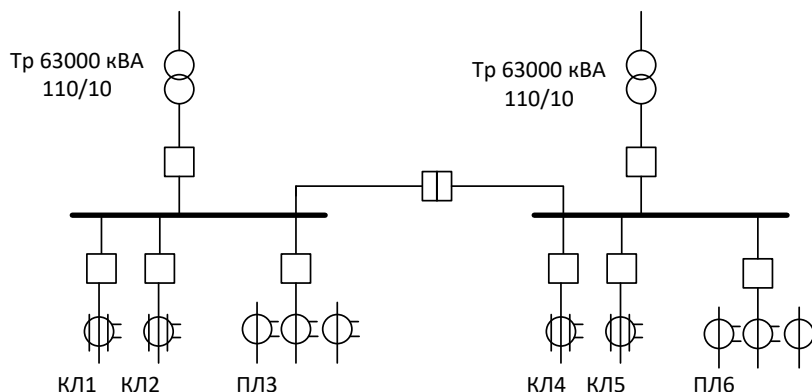


Рис. 2 – Первинна схема підстанції з секціонованою системою збірних шин.

На рис. 2 також показаний фрагмент схеми мережі 10 кВ, яка працює з ізольованою нейтраллю.

У розподільчих мережах часто застосовують одну секціоновану систему збірних шин. Кожна секція при цьому від різних джерел живлення через ввідні вимикачі ВВ1 і ВВ2. У нормальному положенні ВВ відключений. При зникненні живлення від одного джерела відбувається перемикання знесструмленої секції на сусідню за допомогою АВР. На ВВ і СВ застосовують такі струмові захисту: - МСЗ; - СВ з витримкою часу.

Для швидкого відключення КЗ на шинах 6-10 кВ застосовується логічний захист шин. Робота ЛЗШ заснована на прискоренні МСЗ ввідного вимикача при відсутності пуску МСЗ будь-якого з приєднань, що відходять від шин, в тому числі МСЗ секційного вимикача. Прискорення МСЗ секційного вимикача виконують при відсутності пуску МСЗ будь-якого з приєднань, що відходять від першої або другої секції збірних шин.

Чутливість захисту від однофазних замикань визначається при внутрішньому замиканні на землю за формулою (1):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{0\Sigma}}{I_{033 \text{ с.з}}}, \quad (1)$$

де $I_{0\Sigma}$ – сумарний струм нульової послідовності; $I_{033 \text{ с.з}}$ – струм спрацювання захисту від однофазних замкнень на землю.

Якщо коефіцієнт чутливості захисту $k_{\text{ч}}$ менше 1,25, то необхідно застосування спрямованого захисту.

Первинний струм спрацювання спрямованого захисту від однофазних замикань на землю $I_{033 \text{ с.з}}$ визначається за формулою (2):

$$I_{033 \text{ с.з}} = k_{\text{від}} \cdot I_{\text{нб}} \cdot k_{\text{пов}}, \quad (2)$$

де $k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відведення; $I_{\text{нб}}$ – струм небалансу; $k_{\text{пов}}$ – коефіцієнт повернення.

Висновки

1. Під час подвійних замикань на землю в розподільних мережах, що працюють з ізольованою нейтраллю (наприклад, 10 кВ) інколи трапляється неселективне відключення ввідного вимикача на трансформаторних підстанціях 110/10 кВ. Однією з причин помилкових відключень ввідного вимикача може бути спрацювання швидкодіючого логічного захисту шин.

2. Уникнути таких спрацювань можливо шляхом збільшення часу спрацювання захисту, який діє на відключення ввідного вимикача.

3. Потрібні подальші дослідження кожного випадку неселективних відключень ввідних вимикачів під час подвійних замикань на землю в електричних мережах 10 кВ з ізольованою нейтраллю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Коломієць Владислав. Дослідження режимів роботи нейтралі розподільних електричних мереж 6-35 кВ на основі квазі-фізичного моделювання. / Владислав Коломієць – Харків, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 2020. – 33 с. Режим доступу: <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf> та <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B5-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf>

[2] Кутін В. М. Релейний захист електричних станцій: Навчальний посібник / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 110 с.

[3] Рубаненко О. Є. Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції: Навчальний посібник / О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 124 с.

[4] Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: Навчальний посібник / В. П. Кідиба – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 504 с.

- [5] Шабад М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ / М.А. Шабад – М.: НТФ "Энергопресс", Энергетик", 2007. – 64 с
- [6] Цапенко Е.Ф. Замыкание на землю в сетях 6-35кВ/ Е.Ф. Цапенко – М.: Энергоиздат, 1986. – 128 с.
- [7] Борухман В.А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6–10 кВ и мероприятиях по их совершенствованию // Энергетик. – 2000. – №1. – С. 20–22.
- [8] Титенков С.С., Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6– 35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю // Энергоэксперт. – 2010. – №2. – С. 36–43.
- [9] Kehinde Olusuyi, Ayodele Sunday Oluwole, Temitope Adefarati, Adedayo Kayode Babarinde, A Fault Analysis of 11kv Distribution System (A Case Study of Ado Ekiti Electrical Power Distribution District) // American Journal of Electrical Power and Energy Systems Volume 3, Issue 2, March 2014, Pages: 27-36.

Рубаненко Александр Євгенійович – кандидат технічних наук, професор, кафедра ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Гулько Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: iryna_hunko@ukr.net

Гасич Владислав Володимирович – студент групи ЕС-20м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: gasich.vlad5@gmail.com

Науковий керівник: **Рубаненко Александр Євгенійович** — кандидат технічних наук, професор, кафедра ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Особливості експлуатації високовольтних електричних вимикачів

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі звертається увага на те, що в наш час в експлуатації знаходиться багато високовольтних вимикачів різних виробників та конструкцій, які відрізняються дугогасним середовищем та принципом дії. Це ускладнює їх експлуатацію. На основі аналізу пошкоджень високовольтних вимикачів доведено, що мають місце не лише не лише пошкодження застарілих оливних чи повітряних вимикачів, а і нових елегазових вимикачів. Зазначається, що під час експлуатації вимикачів потрібно враховувати їх технічний стан, який визначається шляхом використання сучасних методів та засобів діагностування. Підкреслюється, що за результати діагностування ВВ мають враховувати визначення ризиків під час експлуатації діагностованих вимикачів.

Ключові слова: високовольтний вимикач, повітряний вимикач, елегазовий вимикач, пошкодження вимикачів, ризики.

Abstract

The paper draws attention to the fact that nowadays there are many high-voltage switches in operation of different manufacturers and designs, which differ in the arc-quenching environment and the principle of operation. This complicates their operation. Based on the analysis of damage to high-voltage circuit breakers, it is proved that there are not only damage to obsolete oil or air circuit breakers, but also new SF6 circuit breakers. It is noted that during operation of switches it is necessary to consider their technical condition which is defined by use of modern methods and means of diagnostics. It is emphasized that the results of the diagnosis of explosives should take into account the definition of risks during the operation of the diagnosed switches.

Key words: high-voltage switch, air switch, SF6 switch, damage of switches, risks.

Вступ

В наш час в експлуатації знаходиться багато високовольтних вимикачів (ВВ), які поділяються за напругою електроустаткування, за призначенням, за дугогасним середовищем, за конструкцією та за іншими ознаками. Експлуатація вимикачів передбачає їх технічне обслуговування, поточні, розширені та капітальні ремонти, огляди, випробовування, on-line та off-line діагностування і т.п.

Одним з призначень ВВ є увімкнення та вимкнення високовольтного обладнання, відключення великих струмів під час коротких замкнень, струмів перевантажень і т.п.

Отже, відмова ВВ під час експлуатації спричиняє зростання ризиків, пов'язаних з небезпекою, з пошкодженням відповідального обладнання, пов'язаних з порушенням оптимальних та економічних режимів експлуатації електроенергетичних систем, технологічних процесів різних галузей в промисловості та агропереробному комплексі України. Пошкоджене високовольтне обладнання має бути швидко відключене найближчим вимикачем. Однак, навіть сучасні елегазові ВВ можуть пошкоджуватись. Неякісне діагностування елегазових ВВ викликає зростання ризиків пов'язаних з їх відмовою під час експлуатації. Отже, тема «Особливості експлуатації високовольтних електричних вимикачів», їх діагностування та визначення ризиків експлуатації несправних ВВ, внаслідок неякісного їх діагностування є актуальними.

Результати досліджень.

Результати досліджень пошкоджуваності ВВ показані на рис. 1. З рис. 1 видно, що пошкоджуваність елегазових вимикачів складає лише 7,1 %, від загальної кількості пошкоджень ВВ, однак кількість елегазових вимикачів, які в наш час знаходяться в експлуатації, значно менша ніж оливних або вакуумних.

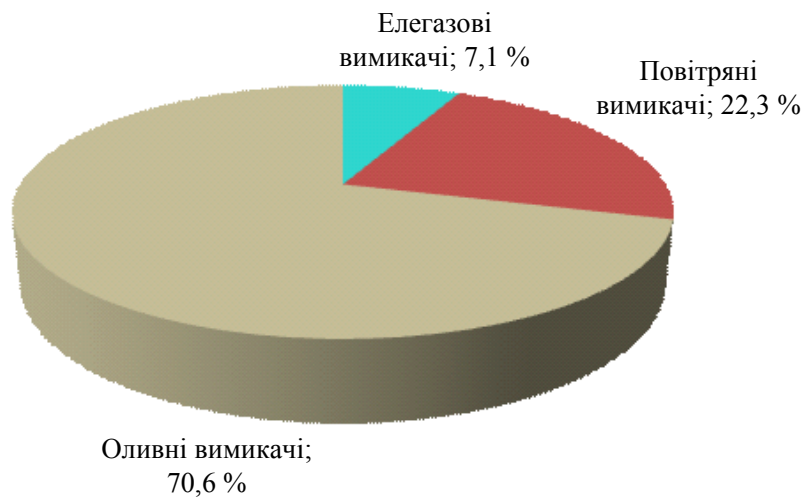


Рис. 1. Пошкоджуваність високовольтних вимикачів.

В [1] зазначається, що під час експлуатації мали місце пошкодження елегазових ВВ з наступних причин: пошкодження котушок електромагнітів увімкнення та вимкнення; пошкодження електричного двигуна заведення пружини; помилкова робота релейного захисту та автоматики; втрата тиску елегазу пов'язана з неякісним проведенням пуско-налагоджувальних робіт та з ущільненнями в картері дугогасильної камери; пошкодження обігрівачів пристроїв; несправності пристроїв сигналізації тиску елегазу. Під час проведення пуско-налагоджувальних робіт, які виконував шеф-інженер на вимикачі класу напруги 750 кВ, було зафіксовано нестабільну роботу приводу. Під час подання сигналу на увімкнення вимикач не при кожній операції фіксувався в увімкненому положенні. Причиною нестабільної роботи був дисбаланс між пружинами увімкнення та вимкнення [2].

Під час налагодження вимикачів на ПС-330 кВ «Хмельницька» було виявлено нестабільну роботу приводу. Після подачі команди на увімкнення привод не фіксувався в увімкненому положенні і самовільно вимикався. Причиною цього був недостатній натяг пружинки для фіксації зачіпки вимкнення. При виконанні операції увімкнення короткочасно з'являлась «земля» в колах постійного струму. Причиною цього був малий зазор між захисним металевим кожухом та проводом резистора для динамічного гальмування двигуна. Встановлено витік елегазу з зворотного клапана газорозподільної системи. При плановому технічному обслуговуванні та перевірці захистів вимикачів через рік після введення в експлуатацію виникли дефекти при увімкненні вимикачів. Вимикачі не фіксувалися в увімкненому положенні і самовільно вимикалися. За вказівкою представника заводу-виробника було виконано регулювання приводу, а саме укручування болта розщеплювала приводу [3]. В табл. 1 показані кількості відмов ВВ в залежності від видів ВВ.

Таблиця 1.

Кількості відмов ВВ

Вид вимикача	Клас напруги, кВ					Всього відмов по типам вимикачів
	110	220	330	500	750	
1 Повітряні	112	83	87	183	15	480/2977
2 Оливні	1760	674	-	-	-	2434/2977
3 Елегазові	27	28	1	6	1	63/2977

Проаналізувавши експлуатацію елегазових вимикачів які введені в роботу на підприємствах України також було встановлено такі причини відмов: обрив скло епоксидних тяг в дугогасильній камері; розірвання дугогасильних камер під час виконання неуспішного АПВ на елегазовому вимикачі LTB800E/4 по причині нездатності вимкнення вимикачем струму майже 500 А (холостий струм лінії); втрата тиску дугогасильного середовища; спалення електромагнітів вимкнення та увімкнення; порушення кріплення ковзаючих контактів до дуттєвого циліндру, що в свою чергу призвело до пробую ізоляційного проміжку між рухомим та нерухомим контактами вимикача який виконав 6718 циклів; зафіксовано відмови бакових елегазових вимикачів по причині блокування

кіл управління, які спричинила мала потужність і низька надійність обігрівачів баків [3, 4, 5]. Діаграма розподілу відмов для елегазових вимикачів зображена на рис. 2.



Рис. 2. Діаграма відмов елегазових вимикачів

На рис.3 показані : а - термограма дефектного елегазового вимикача, б та в – пошкоджені елегазові вимикачі, г та д – пошкоджені повітряні вимикачі

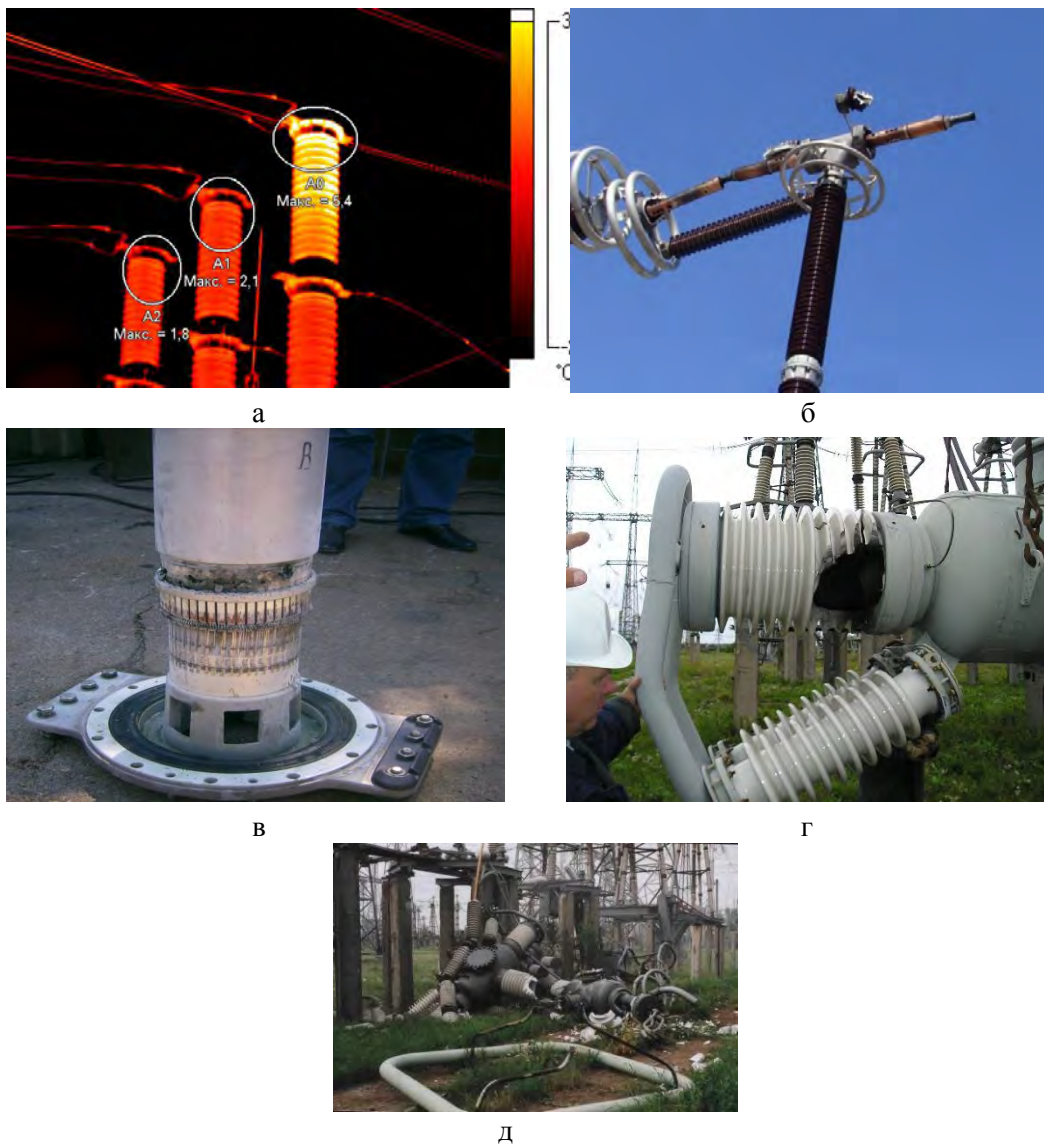


Рис. 3. Дефекти та пошкодження високовольтних вимикачів

Тому актуальним є вдосконалення, розробка та впровадження сучасних, інформативних систем визначення технічного стану ВВ [6].

Суть розрахунку ризиків зводиться до визначення сумарного ризику з врахуванням всіх факторів та порівняння його з прийнятним ризиком.

Загальні формули для компонентів ризику кожного виду втрат під час експлуатації ВВ з невідомим технічним станом. Або з погіршеним технічним станом наступні:

$$R1=RA1+RB1+RC1+RM1+RU1+RV1+RW1+RZ1, \quad (1)$$

$$R2=RB2+RC2+RM2+RV2+RW2+RZ2, \quad (2)$$

$$R3=RB3+RV3, \quad (3)$$

$$R4=RA4+RB4+RC4+RM4+RU4+RV4+RW4+RZ4, \quad (4)$$

У формулах (1) ÷ (4) використовуються: **компоненти ризику для вимикача під час відключення ВВ значних струмів коротких замкнень (кз)**, а саме: RA - компонент ризику нанесення шкоди живим істотам в результаті ураження електричним струмом в результаті неспрацювання вимикача або руйнування вимикача, RB - компонент ризику фізичного пошкодження суміжного з вимикачем високовольтного обладнання, викликаного неспрацюванням ВВ, яке може привести до вибуху або пожежі, до витoku електричного струму і наразити на небезпеку навколишнє середовище, RC - компонент ризику відмови внутрішніх систем ВВ, викликаного погіршенням його технічного стану (наприклад зношування головних контактів, зменшення тиску електричного струму і т.п.) під час увімкнення/вимкнення номінальних струмів; компоненти ризику для електрообладнання розподільного пристрою при короткому замкненні поблизу розподільного пристрою, RM - компонент ризику відмови внутрішніх систем ВВ, викликаного відключенням струмів коротких замкнень в циклі неуспішного АПВ; **компоненти ризику для вимикача та обладнання розподільного пристрою при короткому замкненні в обладнанні розподільного пристрою або поблизу**, а саме: RU - компонент ризику нанесення шкоди живим істотам внаслідок ураження їх електричним струмом або напругою кроку під час замкнень в обладнанні розподільного пристрою і неспрацюванні вимикача, RV - компонент ризику фізичного пошкодження обладнання розподільного пристрою (пожежа або вибух, викликані замкненнями та перевантаженнями електричного обладнання розподільних пристроїв та неспрацюваннями відповідних ВВ викликаних незадовільним технічним станом ВВ), RW - компонент ризику відмови ВВ, викликані пошкодженнями джерела живлення котушок увімкнення та вимкнення ВВ; **компоненти ризику для ВВ при короткому замкненні в лінії оперативного постійного струму**, а саме: RZ - Компонент ризику відмови внутрішніх систем ВВ, викликаний обривом або замкненнями в лініях оперативного постійного струму або напруги.

Висновки

1. В наш час в експлуатації знаходиться багато високовольтних вимикачів різних виробників та конструкцій, які відрізняються дугогасним середовищем та принципом дії. Це ускладнює їх експлуатацію.

2. Проведений аналіз пошкоджень ВВ свідчить про пошкодження не лише застарілих оливних чи повітряних вимикачів, а і нових електричних вимикачів.

3. Під час експлуатації ВВ потрібно враховувати їх технічний стан, який визначається шляхом використання сучасних методів та засобів діагностування.

4. Висновки за результатами діагностування ВВ мають враховувати визначення ризиків під час експлуатації діагностованих ВВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Рубаненко, О.Є. Координація впровадження та забезпечення надійності елегазових вимикачів в умовах експлуатації [Текст] / О.Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 135–139.
- [2] Михайлюк, Р. І. «Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі [Текст] / Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко // Енергетика та електрифікація. – 2014. – №3. – С. 34–37.
- [3] Кутін, В.М. Досвід впровадження та забезпечення надійності елегазових вимикачів в умовах експлуатації [Текст] / В.М. Кутін, О.Є. Рубаненко, С.В. Мисенко // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 1. – С. 1–7.
- [4] Тарасевич, П.Й. Перспективи розвитку засобів виявлення високовольтних вимикачів напругою 110–750 кВ, що відмовили [Текст] / П.Й. Тарасевич // Електроенергетичні та електромеханічні системи. - Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2009. – С. 91–96.
- [5] Андреев, Д.А. Анализ методов расчета коммутационного ресурса высоковольтных выключателей [Текст] / Д.А. Андреев, И.А. Назарычев // Вест. ИГЭУ. – 2008. – Вып. №2. – С. 69–84.
- [6] Richard Thomas. Controlled Switching of High Voltage SF6 Circuit Breakers for Fault Interruption. Thesis for the degree of licentiate of engineering. Sweden 2004. – 259 p.
- [7] О. В. Дідушок, “Мікропроцесорний пристрій для діагностування електромагнітного приводу вакуумного вимикача”, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 6, с. 31 – 36, 2019. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-31-36>.

Рубаненко Олександр Євгенійович – кандидат технічних наук, професор, кафедра ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Лесько Владислав Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: leskovlad@ukr.net.

Поліщук Андрій Володимирович – студент групи ЕЕ-186, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: andrey.polishchuk2000@gmail.com.

Мельничук Дмитро Олександрович – студент групи ЕС-20м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: studgor@gmail.com.

Науковий керівник: **Рубаненко Олександр Євгенійович** — кандидат технічних наук, професор, кафедра ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

ПРОТИКОРОЗІЙНИХ ЗАХИСТ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

Український державний університет науки і технологій

Анотація

Показано необхідність використання засобів протикорозійного захисту для підвищення таких властивостей підземних споруд, як довговічність та безвідмовність. В роботі представлено пристрій для протикорозійного захисту підземних споруд від ґрунтової та електрохімічної корозії.

Ключові слова: протикорозійний захист, рейковий електричний транспорт, ґрунтова корозія, електрохімічна корозія, захист підземних споруд.

Abstract

The necessity of using means of corrosion protection to increase such properties of underground structures as durability and reliability is shown. The paper presents a device for corrosion protection of underground structures from soil and electrochemical corrosion.

Keywords: corrosion protection, rail electric transport, soil corrosion, electrochemical corrosion, protection of underground structures.

В умовах міст з розгалуженими підземними комунікаціями та спорудами важливим питанням постає захист їх металевих частин від впливу природніх корозійних процесів, які пришвидшуються зовнішніми джерелами.

Механізм протікання корозії металу під дією агресивного середовища та електрохімічної корозії носить однаковий характер. Неодмінною умовою протікання процесу корозії є контакт металу з електролітом, тобто з вологою (ґрунтовою, атмосферною) і розчиненими в ній різними хімічними елементами (солями, кислотами, лугами).

В силу неоднорідності структури і складу металу, а також неоднорідності електроліту, різні ділянки поверхні металу, що знаходяться в контакті з електролітом, навіть при відсутності зовнішнього електричного поля отримують різні за величиною електрохімічні потенціали, наслідком чого є протікання струму по замкнутому ланцюгу гальвано-корозійної пари, при цьому на поверхні металу завжди будуть ділянки, з яких корозійний струм стікає в електроліт (анод) і ділянки, в які струм повертається назад з електроліту в метал (катод). В анодній ділянці відбувається розчинення металу, тобто поступове корозійне руйнування, в катодній – метал зберігається повністю.

Особливо сильно процес електрохімічної корозії проявляється в містах з наявністю рейкового електричного транспорту, який живиться від мережі постійного струму. Це ділянки підземних комунікацій та споруд які попадають в зону впливу блукаючих струмів, які стікають з рейок.

Кількість і протяжність міських підземних споруд з року в рік збільшується. При цьому, велика частка міських підземних споруд експлуатуються 40 років і більше.

Останнім часом в умовах міст мало уваги приділяється протикорозійному захисту і як результат ресурсні характеристики міських підземних мереж різко скорочуються.

Процес електрохімічної корозії призводить до інтенсивного руйнування: металевих частин споруд – зменшується їх несуча здатність; металевих оболонок кабелів – відбувається порушення герметичності, з'являються пробої ізоляції; водо- та газопроводів – зменшення їх ресурсних характеристик, поява аварійних ситуацій. Всі описані негативні процеси призводять до збільшення витрат на обслуговування та ремонти комунікацій та споруд.

Основним критерієм оцінки загрози електрохімічної корозії, від впливу рейкового електричного транспорту, є величина потенціалу рейок відносно землі.

Вказане вище підтверджує необхідність використання засобів протикорозійного захисту для підвищення таких властивостей підземних споруд, як довговічність та безвідмовність, зокрема, на зменшення впливу ґрунтової та електрохімічної корозії на підземні споруди, зменшення витрат на їх обслуговування та ремонт.

Одним з таких засобів є пристрій для протикорозійного захисту підземних споруд патент UA 136229, МПК: C23F 13/00, C23F 13/20 який направлений на протикорозійний захист підземних споруд з можливістю використання декількох джерел живлення, які забезпечують стабільну подачу та можливість регулювання значення захисного потенціалу для захисту підземних комунікацій та споруд від ґрунтової та електрохімічної корозії.

Дьяков Віктор Олексійович — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інтелектуальні системи енергопостачання», Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

Антонов Андрій Владиславович — кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інтелектуальні системи енергопостачання», Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, e-mail: a.v.antonov91@gmail.com

ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ

Луцький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглядається нормування втрат електроенергії як процедура поступового підвищення вимогливості до рівня втрат, що включаються в тариф, з метою їх зниження до економічно обгрунтованого рівня.

Ключові слова: електричні мережі, втрати електроенергії, нормування втрат, автоматизована система, диспетчерське керування.

Abstract

The paper considers the rationing of electricity losses as a procedure for gradually increasing the requirements for the level of losses included in the tariff, in order to reduce them to an economically reasonable level.

Keywords: electrical networks, electricity losses, loss rationing, automated system, dispatch control.

Втрати електроенергії в мережах України недопустимо великі, особливо враховуючи гострий дефіцит на енергоносії, що суттєво впливає на тарифи на електроенергію. Електричні мережі фізично зносились і морально постаріли. Для технічного переоснащення і модернізації технічного обладнання електричних мереж необхідно використовувати нові технологічні розробки, які підвищать надійність ліній електропередач, впроваджувати енергозберігаючі та екологічно чисті технології з метою активно впливати на значення технологічних втрат електроенергії вдаються до їх нормування. Проте існуючі підходи і методи нормування та планування заходів для зменшення втрат електроенергії в електроенергетичній системі не досконалі і вимагають адаптації до нових умов експлуатації. Особливо це відноситься до оперативних, розрахунків втрат електроенергії, складанню балансу електроенергії та керування витратами, включаючи їх нормування і корекцію тарифів. Одним з організаційних інструментів стимулювання енергопостачальних організацій до проведення економічно обгрунтованих заходів щодо зниження технологічних втрат електроенергії є нормування втрат. Нормування втрат електроенергії розглядається як процедура поступового підвищення вимогливості до рівня втрат, що включаються в тариф, з метою їх зниження до економічно обгрунтованого рівня.

У найближчі десятиліття у розвинутих країнах слід чекати впровадження високовольтних пристроїв, які використовують принцип високотемпературної надпровідності (обмежувачі струму, реакторне і трансформаторне устаткування, кабелі, накопичувачі енергії).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Бондарчук А. С. Прогнозування за аналітичною моделлю тренда динаміки електроспоживання міста / А. С. Бондарчук // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2014. – Вип. 4(43). – С. 159–161.

Добровольська Любов Наумівна— канд. техн. наук, професор, професор кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Куць Надія Григорівна— канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: nadia86@gmail.com.

Собчук Дмитро Сергійович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: sobdim@gmail.com.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ СХЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано новий метод еквівалентування схеми, який спрощує розрахунки еквівалентних опорів усієї схеми. Розроблені математичні моделі дозволяють здійснити розрахунок повної матриці еквівалентних опорів з використанням розширеної та доповненої першої матриці інцидентності.

Ключові слова: електрична мережа, еквівалентування, схема заміщення, віртуальні вітки, балансування.

Abstract

A new method of circuit equivalence is proposed, which simplifies the calculation of equivalent resistances of all circuits. The developed mathematical models allow to calculate the complete matrix of equivalent resistances using the extended and supplemented first incidence matrix.

Keywords: electrical network, equivalence, substitution scheme, virtual branches, balancing.

Електроенергетичній системі здебільшого властива структура, що зумовлює складність математичних моделей та заступних схем з великим обсягом елементів, які, в свою чергу, характеризуються низкою інформаційних параметрів, обумовлених виникненням процесів, що не піддаються аналізу без прийняття певних допущень [1]. Для спрощення математичних та графічних моделей розроблено метод еквівалентування, що полягає в побудові моделей електричної мережі, які характеризують реальний її стан та дозволяють спростити її схему заміщення, створивши ефективні засоби обробки даних.

Для визначення еквівалентного опору між 1 та 2 вузлом вектор задаючих струмів подається:

$$J_{12}^T = [-1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0].$$

Враховуючи те, що одиничний струм протікає в колі опору R_{12} , еквівалентний опір між вузлами 1 та 2 може бути визначений з наступного виразу:

$$I_e \cdot R_e = 1 \cdot R_e = U_e = U_{12} = R_{12} \cdot I_{12},$$

де I_{12} – значення струму, отримане з рівняння стану.

Узагальнюючи для усіх віток схеми, отримаємо розширену матрицю інцидентності M^{don} :

$$M^{\text{don}} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & J_3 & \dots & J_{m+m_v} \end{bmatrix}.$$

Виконавши поелементне множення рядків оберненої матриці коефіцієнтів методу рівноважного балансування [2] $B = A_s^{-1}$ на значення опору вітки Z_i , отримаємо матрицю опорів схеми:

$$D_{i,j} = B_{i,j} \cdot Z_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Для розрахунку усіх еквівалентних опорів доповнюється матриця D рядками, що враховують вітки, які з'єднують вузли, що поєднані більш ніж однією віткою через інші проміжні вузли:

$$D_{m+1,j} = Q_{m+1,k} \cdot D_{k,j} + Q_{m+1,i} \cdot D_{i,j},$$

де $Q_{m+1,k}$, $Q_{m+1,i}$ – знакові коефіцієнти ± 1 відповідно до напрямку k -ої та i -ої віток.

Розрахунок матриці еквівалентних опорів визначається:

$$R = D \cdot M^{\text{don}}.$$

Значення еквівалентних опорів віток розміщені на діагоналі цієї матриці. Підвищення ефективності методу досягається оптимізацією алгоритму розрахунку шляхом знаходження найбільш інформативних діагональних елементів даної матриці:

$$R_{i,i} = \sum_{j=1}^n D_{i,j} \cdot M_{j,i}^{\text{don}}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Розроблений новий метод еквівалентування схеми спрощує розрахунки еквівалентних опорів усієї схеми завдяки використанню методології рівноважного балансування, що дозволяє провести розрахунки з урахуванням взаємовпливів усіх віток схеми. Розроблені математичні моделі дозволяють здійснити розрахунок повної матриці еквівалентних опорів з використанням розширеної та доповненої першої матриці інцидентності, що вперше репрезентує повну характеристику електричної мережі з врахуванням віртуальних віток та, базуючись на методології рівноважного балансування, використовує для розрахунку усі рівняння першого закону Кірхгофа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] П. Л. Воронов, В. А. Щедрин «Эквивалентирование и упрощение сложных электрических систем по частям при моделировании», Вестник чувашского университета, № 1, с. 44-54, 2015.

[2] С. В. Бевз, С. М. Бурбело, В. В. Войтко «Метод рівноважного балансування та автоматизація розрахунків усталеного режиму електричної мережі засобами MathCAD» Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, № 4, С. 36–44, 2020.

Бевз Світлана Володимирівна — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bevz@vntu.edu.ua

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Луцький національний технічний університет

Анотація

Розглянутий конкретний приклад і розраховані параметри функціонування регіональної електроенергетичної мережі. Сформульовані вимоги до експертної системи, що автоматизує збір регіональних даних і реалізує комп'ютерну підтримку прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: оптимізація, регіональна мережа, керування, експертна система, відмова устаткування.

Abstract

The concrete example and calculated parameters of functioning regional electricity grid. Requirements for an expert system that automates the collection of regional data and implements computer support for management decisions.

Keywords: optimization, regional network, management, expert system, equipment failure.

Вступ

У створенні сприятливого інвестиційного клімату й підвищенні конкурентоспроможності регіонів, особливо – проблемних, серед найважливіших заходів вказується на необхідність оптимізації регіональних організаційних макроструктур [1]. У роботах провідних вітчизняних науковців [2], розвиток регіону запропоновано розглядати в двох аспектах. Перший – відновлення устаткування в розподільних і споживчих вузлах, мережних структур електро- й теплоенергетики, підприємств АПК. Другий аспект – це розвиток відповідних мереж, робота яких, в силу приналежності одному регіону, може підкорятися однакою закономірностям.

Дослідження цих закономірностей сприятиме вдосконалюванню керування регіонами і представляє науковий інтерес.

Основні матеріали дослідження

Для забезпечення роботи мереж, що розподіляють матеріальні й інформаційні ресурси, фінансується, по-перше, підтримка функціонування носіїв і, по-друге, розвиток мереж в комплексі з інформаційною, технічною підтримкою й коштами для забезпечення безпеки. При цьому, крім вимог змінних зовнішніх умов, що визначаються, у тому числі, конкурентними взаємодіями, тактику розвитку мережі в значній мірі детермінують її власні властивості, що проявляються в стаціонарних умовах.

На роботу мережі впливають як детерміновані, передбачувані фактори, так і фактори випадкові, обумовлені погодними умовами, відмовами устаткування мереж, кваліфікаціями фахівців і т.д. Для дослідження закономірностей, побудови математичних моделей і вироблення прогнозів для різних варіантів інвестування може бути використаний добре розвинутий науковий арсенал математичної статистики.

Як приклад розглянемо електричну мережу одного з регіональних центрів, що представляє собою місто приблизно із трьохсоттисячним населенням і АПК. Диспетчерським пунктом електромережі фіксуються кожна дата й час виклику ремонтної бригади для виправлення ушкоджень, а також моменти, коли функціонування відновлене. Для того, щоб класифікувати тривалості безвідмовної роботи й ремонтів, необхідно побудувати гістограми. Найпростіше такі розрахунки провести в оболонці Excel. Для того, щоб класифікувати тривалості безвідмовної роботи й ремонтів, необхідно побудувати гістограми. Найпростіше такі розрахунки провести в оболонці Excel. Відповідний алгоритм, оформлений у вигляді програми мовою *Visual Basic for Applications*. Аналіз результатів обчислень показав, що ряди отриманих ймовірностей близькі до геометричних прогресій.

Методом найменших квадратів для кожного з варіантів розрахунків підібрана така геометрична

прогресія, щоб мінімізувати розбіжності між емпіричними і теоретичними кривими.

Результати розрахунків гістограм і їх порівняння зі стандартними геометричними розподілами представлені на рис.1 для періодів безвідмовної роботи й на рис.2 для тривалостей відновлення.

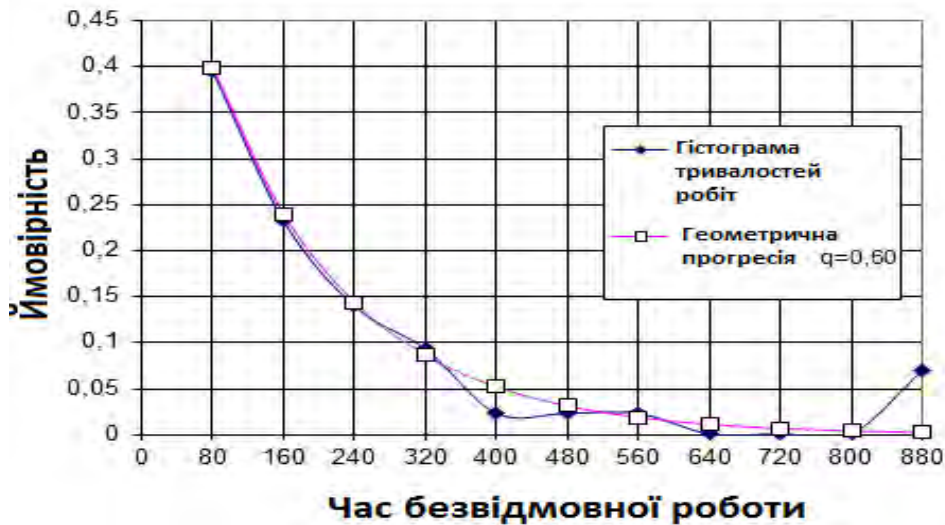


Рис. 1 – Результати обробки експерименту (темні точки) і теоретичні залежності числа періодів безвідмовної роботи від їхньої величини

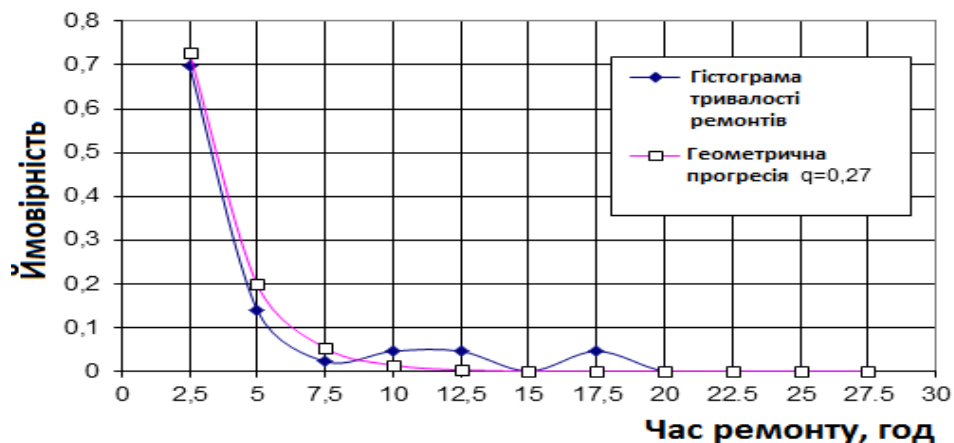


Рис. 2 – Результати обробки експерименту (темні крапки) і теоретичні залежності числа періодів відновлень від величини цих періодів

Розрахувавши показники прогресій, що представляють геометричні розподіли і зважаючи на те, що реальний час змінюється безперервно, побудуємо необхідне узагальнення,

При цьому можуть бути прогнозовані:

- накладення аварійних ситуацій один на одну й пов'язані з цим фінансові втрати;
- тенденції, які мають місце при введенні нових потужностей або при зміні кількості гілок мережі й інших трансформаціях.

Розрахувавши параметри відповідні накладення аварійних ситуацій один на одну й пов'язані з цим фінансові втрати;

- тенденції, які мають місце при введенні нових потужностей або при зміні кількості гілок мережі й інших трансформаціях.

Названа експертна система не зможе замінити роботу регіональних управлінських структур, однак як засіб комп'ютерної підтримки в оперативному прийнятті розв'язків у ситуаціях, що вимагають швидкого збору й узагальнення великих обсягів даних різної природи, проведення громіздких розрахункових оцінок, у тому числі – імітаційного комп'ютерного моделювання, така система може виявитися незамінною.

Аналогічні дослідження можуть бути проведені й для регіональних систем іншого виду – як для розподільних, так і для телекомунікаційних.

Висновки

Отримані в даній роботі теоретичні залежності задовільно описують експеримент і дають змогу здійснювати комп'ютерне моделювання роботи регіональних мереж у безперервному часі, не прив'язуючись до тих тимчасових дискретів, які вибиралися для зручності обробки даних диспетчерській служби.

При цьому можуть бути прогнозовані:

- накладення аварійних ситуацій один на одну й пов'язані з цим фінансові втрати;
- тенденції, які мають місце при введенні нових потужностей або при зміні кількості гілок мережі й інших трансформаціях.

Названа експертна система не зможе замінити роботу регіональних управлінських структур, однак як засіб комп'ютерної підтримки в оперативному прийнятті розв'язків у ситуаціях, що вимагають швидкого збору й узагальнення великих обсягів даних різної природи, проведення громіздких розрахункових оцінок, у тому числі – імітаційного комп'ютерного моделювання, така система може виявитися незамінною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Шефтель З. Г. Теорія ймовірностей: Монографія. - Київ: Наукова думка, 1994. - 274 с.

[2] Курочкін Ю.А. Надійність і діагностування цифрових пристроїв і систем. - М.: Вища школа, 1993. - 240 с.

Добровольська Любов Наумівна— канд. техн. наук, професор, професор кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Собчук Дмитро Сергійович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: sobdim@gmail.com.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РЕЗИСТОРА ЗАЗЕМЛЕННЯ НЕЙТРАЛІ В МЕРЕЖАХ 20 КВ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Стаття присвячена дослідженню оптимального значення опору резистора заземлення нейтралі в мережах 20 кВ. Метою дослідження є підвищення надійності розподільних мереж середньої напруги та визначення оптимального способу виконання резистивного заземлення нейтралі у цих мережах.

Ключові слова: опір резистора, розподільна мережа, нейтраль, спосіб заземлення нейтралі.

Abstract

The article is devoted to the study of the optimal value of the resistance of the neutral grounding resistor in 20 kV networks. The aim of the study is to increase the reliability of medium voltage distribution networks and determine the optimal way to perform resistive neutral grounding in these networks.

Keywords: resistor resistance, distribution network, neutral, neutral grounding method.

Актуальність обраної теми полягає в тому, що в даний час дослідження систем заземлення для ліній 20 кВ зосереджуються на їх стратегіях захисту, разом з цим, масштаби системи продовжують збільшуватися, запуск різних перехідних процесів, які можуть бути запущені, та їх вплив на електрообладнання все ще потребують теоретичної оцінки.

Виходячи з цього постає важливе питання необхідності заземлення нейтралі розподільної мережі напругою 20 кВ через резистор або дугогасний реактор. Використання дугогасного реактора пов'язане зі значними капіталовкладеннями, а також неможливістю використання простих пристроїв релейного захисту. Оскільки однофазні замикання на землю (ОЗЗ) в мережах 20 кВ становлять не менше 70 % загального числа ушкоджень і супроводжуються виникненням кидків ємнісних струмів і перенапруг. Ступінь прояву цих ефектів залежить від ряду факторів – режиму нейтралі, довжини й завантаження мережі, початкових умов комутації, віддаленості місць замикань від джерела живлення тощо. Основний фактор, що визначає небезпеку виникнення і розвитку однофазних замикань у даних мережах – спосіб заземлення нейтралі. При цьому усестороннє та повне дослідження аналізованих способів демонструє, що традиційне заземлення нейтралі є неефективним в порівнянні з заземлення нейтралі через резистор, оскільки заземлення нейтралі через резистор дозволяє обмежити струми однофазного короткого замикання до значення, необхідного для виконання простого релейного захисту.

Виділяють два основних підходи до режиму заземлення нейтралі мереж напругою 20 кВ, які спрямовані на зменшення струмів коротких на землю, це: обмеження струмів шляхом встановлення резистора в нейтраль мережі; повна компенсація завдяки використанню дугогасного реактора.

В даній роботі розглянуто саме резистивний метод заземлення нейтралі, оскільки це дозволяє вирішити два важливих завдання: селективно визначити пошкоджене приєднання (за рахунок простих релейних захистів, діючих на відключення або на сигнал) і негайно вжити заходів щодо усунення пошкодження; істотно обмежити рівень дугових перенапруг при ОЗЗ і виключити ферорезонансні процеси.

Існує два основних типи резисторів для заземлення нейтралей: рідкий резистор зовнішнього встановлення та суцільний металевий резистор внутрішнього встановлення. Способи встановлення резисторів в нейтраль мережі: заземлення нейтралі за через низькоомний резистор; заземлення об'єднаної нейтралі через високоомний резистор; заземлення нейтралей через високоомний резистор. Разом з цим, можливі два варіанти реалізації резистивного заземлення нейтралі: високоомний і низькоомний.

Висновки

В основу роботи було покладено дослідження під час якого до розгляду було прийнято три варіанти значення опору заземлюючого резистора, а саме 5, 10 та 15 Ом. За результатами розрахунків оптимальним є використання резистора номіналом в 10 Ом, оскільки, у цьому разі струм однофазного короткого замикання не перевищує 1 кА.

Кирик Валерій Валентинович — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних мереж та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ;

Буряк Анна Романівна — магістрант кафедри електричних мереж та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ;

Іськова Маргарита Сергіївна — магістрант кафедри електричних мереж та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З ВРАХУВАННЯМ ЧУТЛИВОСТІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ДО КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано методику оптимізації розрахункової моделі електроенергетичної системи (ЕЕС), яка дозволяє сформуванню адаптивних розрахункових моделей для систем оперативно-диспетчерського керування нормальними режимами ЕЕС з врахуванням чутливості втрат потужності до коефіцієнтів трансформації. Завдяки впорядкуванню оптимізуючих впливів, які здійснюються регулюючими пристроями на режими ЕЕС, більш раціонально використовується ресурс трансформаторів.

Ключові слова: розрахункова модель, чутливість, втрати потужності, регулюючий пристрій, коефіцієнт трансформації, дерево графа, незалежний контур, хорда.

Abstract

The paper proposes a method for optimizing the calculation model of the power system (EES), which allows to form adaptive calculation models for operational control systems of normal EES modes, taking into account the sensitivity of power losses to the transformation coefficients. Due to the streamlining of the optimizing effects exerted by the regulating devices on the EES modes, the resource of transformers is used more rationally.

Keywords: calculation model, sensitivity, power loss, control device, transformation coefficient, graph tree, independent circuit, chord.

Вступ

Підвищення ефективності автоматизованих систем диспетчерського керування (АСДК) електроенергетичних систем (ЕЕС) передбачає вдосконалення методів і засобів формування розрахункових моделей ЕЕС, вибір на їх основі керуючих впливів та автоматизацію основних функцій процесу керування нормальними режимами. Це стосується збору та обробки оперативної телеметричної інформації про стан ЕЕС, синтез адаптивних розрахункових моделей та керуючих дій з урахуванням ієрархії ЕЕС та умов практичної реалізації законів керування в АСДК.

Традиційні математичні методи не в повній мірі задовольняють новим вимогам по реалізації принципів автоматичного керування режимами ЕЕС, тому виникає потреба у вдосконаленні математичних моделей процесу оперативно-диспетчерського управління нормальними режимами ЕЕС на основі сучасних методів моделювання з використанням методів теорії оптимального керування складними технологічними системами та теорії графів [1,2]. Основною

метою проведених в роботі досліджень є формування адаптивної розрахункової моделі ЕЕС, яка була б адекватна реальним умовам експлуатації ЕЕС і враховувала чутливість критерію оптимальності до параметрів, що оптимізуються.

Результати досліджень

Оптимальне керування параметрами режимів ЕЕС на сучасному етапі розвитку АСДК досягається шляхом вибору оптимальної конфігурації схеми ЕЕС, складу працюючого обладнання, адекватним математичним забезпеченням задач керування та рядом інших факторів. Оптимізація розрахункової моделі має на меті вибір оптимальних методів і засобів управління для цілеспрямованого коригування ходу процесів і характеристик об'єктів, якими здійснюється керування [1, 2].

Задача оптимального керування нормальними режимами ЕЕС в загальному випадку формулюється як задача теорії оптимального керування [3]:

мінімізувати функцію

$$F(u) = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_k} [\mathbf{x}^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t) \mathbf{R} \mathbf{u}(t)] dt \quad (1)$$

динамічної системи, яка описується рівняннями

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \mathbf{u}(t) \\ \mathbf{x}(t_0) &= \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C} \mathbf{x}(t) + \mathbf{D} \mathbf{u}(t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де: $x(t)$, $u(t)$, $y(t)$ – відповідно вектори стану, керування і спостереження; \mathbf{Q} , \mathbf{R} , \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} - матриці констант, які можуть залежати від часу t ; t_0 , t_k – фіксовані моменти часу.

При керуванні усталеним режимом ЕЕС критерієм оптимальності служить економічний критерій - мінімум технологічних витрат електричної енергії на її передачу по електричним мережам за умов дотримання обмежень по надійності електропостачання та якості електроенергії. Ще на стадії формування цільової функції ставиться мета отримати закони керування регулюючими пристроями у вигляді, зручному для їх автоматичної реалізації. Розв'язком задачі (1)-(2) є рівняння виду:

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{W} \mathbf{y}(t) \quad (3)$$

де \mathbf{W} – матриця зворотного зв'язку, яка відображає зв'язок топології мережі з її сталими параметрами.

Вираз (3) являє собою закон оптимального керування параметрами регулюючих пристроїв ЕЕС, та за певних умов дозволяє досягнути мінімум цільової функції (1). Для реалізації законів автоматичного керування режимами існують певні умови, основними з яких є:

- виділення областей корекції та координація роботи регулюючих пристроїв з урахуванням ранжування їх за пріоритетом керування режимами;
- побудова розрахункової моделі ЕЕС, в першу чергу дерева графа, таким чином, щоб виділити в якості хорд трансформаторні вітки з найбільшим регулюючим ефектом, що по суті є адаптацією розрахункової моделі до реальних умов експлуатації цих пристроїв.

Об'єднання цих двох принципів при реалізації оптимальних режимів дозволяє наблизити струморозподіл в ЕЕС до економічного і знизити рівень втрат активної потужності в енергосистемі. Керувати потоками потужності в неоднорідних електричних мережах можливо шляхом зміни комплексних коефіцієнтів трансформації регулюючих трансформаторів. Цілеспрямоване формування розрахункової моделі ЕЕС дозволяє ідентифікувати параметри режиму, проаналізувати склад вхідної та вихідної інформації і врахувати фактори, які мають найбільший вплив на достовірність отриманих результатів. Призначення моделі визначається її принциповою можливістю синтезувати оптимальні рекомендації та закони керування для ведення оптимального технологічного режиму в енергосистемі.

Для визначення законів керування (1) необхідно побудувати розрахункову модель за певним алгоритмом. Насамперед, сформувати модель дерева графа таким чином, щоб виділити в якості хорд незалежних контурів трансформаторні вітки. Це дозволить реалізувати в контурах схеми заміщення зрівнювальні електрорушійні сили (е. р. с.) у лінійній залежності від параметрів регулювальних пристроїв. На етапі попередніх розрахунків необхідно виконати ранжування регулювальних трансформаторів за пріоритетом керування режимами [3].

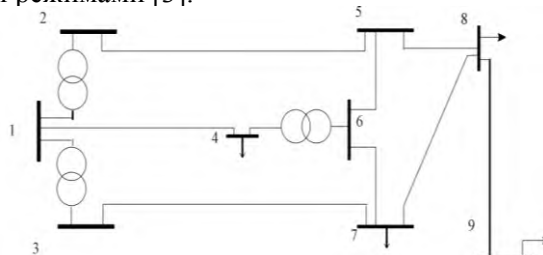


Рис. 1 – Схема з'єднання моделі електричної мережі

Висновки

Моделі ЕЕС з врахуванням чутливості втрат потужності до коефіцієнтів трансформації дозволяють підвищити ефективність оперативно-диспетчерського керування режимами. Крім того, завдяки впорядкуванню оптимізуючих впливів, які здійснюються регулюючими пристроями на режими ЕЕС, більш раціонально використовується ресурс трансформаторів. Також, запропонована методика цілеспрямованого формування розрахункової моделі електричної мережі забезпечує їй значну гнучкість, високий ступінь адаптивності та керованості, що є одним з важливих факторів при розвитку та модернізації систем керування в АСДК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. Лежнюк П.Д., Кулик В.В. Оптимальное керування потоками потужності і напругою в неоднорідних електричних мережах. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 188 с.
- [2]. Анализ неоднородностей электроэнергетических систем / Войтов О.Н., Воропай Н.И., Гамм А.З. и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 256 с.
- [3]. Лежнюк П.Д., Зелинский В.Ц. Серова И.А. Методика координации работы регулирующих устройств при оптимальном управлении режимами электрической системы // В кн. Устройство преобразования информации для контроля и управления в энергетике. - Харьков, 1992. – С. 108-112.
- [4]. Зелінський В. Ц., Остра Н. В. Оптимізація розрахункової моделі електроенергетичними системами для автоматизованих систем диспетчерського управління з урахуванням втрат потужності // Вісник ВПІ. – 2005. – № 4. – С. – 63 - 68.

Лежнюк Петро Дем'янович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: *Остра Наталя Вікторівна* — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: natalyaostra@ukr.net.

Ткачук Вадим Сергійович — студент групи 2ЕЕ-18б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: VadymTkachuk159753@gmail.com.

Lezhnyuk Petro D. – Dr. tech. Sciences, Prof., Prof. of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsya, email : lezhpd@gmail.com

Supervisor: *Ostra Natalya V.* — PhD, Associate professor, Associate Professor, Associate Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: natalyaostra@ukr.net.

Tkachuk Vadym S — student of 2EE-18b group, electric power and electromechanics faculty, Vinnytsia national technical university, Vinnitsya, e-mail: VadymTkachuk159753@gmail.com.

МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РЕЖИМНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕС) ПРИ ВІДМОВАХ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

В роботі виконано порівняльний аналіз методів короткострокового прогнозування навантаження. Запропоновано програмний модуль обробки ретроспективної та оперативної інформації щодо величин вузлового навантаження.

Ключові слова: електроенергетична система, надійність, вузлове навантаження, потужність, вітроенергетична установка.

Abstract

The paper performs a comparative analysis of short-term load forecasting methods. A software module for processing retrospective and operational information on the values of the nodal load is proposed.

Keywords: power system, reliability, nodal load, power, wind power plant.

Наразі в електроенергетиці України актуальним є задачі врахування і аналізу всіх ризиків, особливо ризику експлуатації ЕЕС з електростанціями різних типів внаслідок відмов електрообладнання, яке має на сьогодні значний рівень зношення і вичерпання ресурсу. Оперативний персонал повинен знати і враховувати всі можливі експлуатаційні ризики в прогнозований період від декількох хвилин, до декількох діб, тижнів наперед. Тому важливим є прогнозування технічного стану електрообладнання, активної і реактивної потужностей вузлів ЕЕС з електростанціями різних типів, особливо з вітроенергетичними установками (ВЕУ), оскільки похибки в прогнозах потужностей ВЕУ і навантажень в умовах відмов окремих елементів можуть призвести до небалансу між генерацією і споживанням, каскадному розвитку аварій. Для розв'язання цих задач необхідна розробка моделей оцінки і прогнозування ризику відмов електрообладнання і вузлового навантаження ЕЕС. Важливою задачею в зв'язку з цим є забезпечення необхідного рівня достеменності отриманої інформації щодо потужностей вузлів навантаження.

Існуючі на сьогоднішній день традиційні моделі вузлового навантаження не в повній мірі відповідають сучасним вимогам. При статистичному моделюванні режимів ЕЕС часто не використовуються оперативні дані по вузловому навантаженню, реальний імовірнісний розподіл вузлового навантаження на інтервалі часу спостереження та нечіткість вихідної інформації. З метою підвищення точності оцінки і прогнозування вузлового навантаження були отримані і оброблені дані погодинних значень вузлового активного навантаження однієї з підсистем ЕЕС НЕК «Укренерго». Створений програмний модуль обробки ретроспективної і оперативної інформації щодо величин вузлового навантаження дозволяє: формувати гістограми частот та функцій розподілу імовірності вузлового навантаження на інтервалі часу спостереження (тиждень, місяць, квартал, 6 місяців) в певний час доби; виконувати трансформацію статистичних розподілів імовірності в нечіткі інтервали трьох і чотирьохреперного виду. Отримані залежності використовують при імовірнісно-статистичному моделюванні режимів ЕЕС.

Для прогнозування ресурсу працездатності обладнання і вузлового навантаження створено математичні моделі на основі штучних нейронних мереж з елементами нечіткої логіки. Тестування різних математичних моделей прогнозування навантаження виконувалось з використанням фактичних усереднених на інтервалі одна година значень вузлових навантажень, отриманих за період один рік з оперативно-вимірювального комплексу енергосистеми «НЕК УКРЕНЕРГО», що містить 56 вузлів з яких 17 є вузлами навантаження. Порівнювались наступні методи короткострокового прогнозування навантаження: ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average, декомпозиційний

метод (ARMAX), метод групового ураховання аргументів (МГУА) – нейронних мереж. В якості критерію оптимізації використовується середньоквадратична похибка моделі на навчальній вибірці. Порівняльний аналіз отриманих середніх абсолютних похибок у відсотках (MAPE) показав, що вони для методів ARIMA, ARMAX та МГУА – нейронних мереж становлять 5,818, 7,104 і 2,475 відповідно. Отримані результати свідчать про те, що метод МГУА може виконувати хороші прогнози з найменшими похибками, та слугувати для короткострокового прогнозування навантаження вузлів підсистем ЕЕС.

Бардик Євген Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри відновлювальних джерел енергії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: bardik1953@gmail.com

Коваль Ярослав Сергійович – аспірант кафедри відновлювальних джерел енергії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: yaroslavkova124@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ І ОЦІНКА РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ПІДСИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕС) З АТОМНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ (АЕС)

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

В роботі розроблене програмне забезпечення "RISK POWER PLANT", яке дозволяє вирішувати ряд важливих задач, а саме: оцінювати імовірність відмови основного силового і комутаційного обладнання електричних систем з АЕС і ВП АЕС на основі використання як кількісної так і якісної інформації про технічний стан, визначати кількісні показники ризику виникнення аварійних ситуацій в підсистемах ЕЕС з АЕС та знеструмлення ВП електростанцій при аварійних збуреннях на АЕС і в ЕЕС, досліджувати режими роботи енергоблоків АЕС на незбалансоване навантаження, обґрунтовувати і формувати превентивні технічні рішення щодо мінімізації ризику виникнення аварій в підсистемах з АЕС.

Ключові слова: електроенергетична система, атомна електрична станція, комутаційне обладнання, аварійне збурення.

Abstract

The software "RISK POWER PLANT" is developed in the work, which allows to solve a number of important tasks, namely: to estimate the probability of failure of the main power and switching equipment of electrical systems from NPPs and NPPs based on the use of both quantitative and qualitative information on technical condition, to determine quantitative indicators of the risk of emergencies in the subsystems of the NPP with NPPs and de-energization of power plants during emergency disturbances at NPPs and in the NPP, to study the modes of operation of NPP power units for unbalanced load, to substantiate and form preventive technical solutions to minimize the risk of accidents in NPP subsystems.

Keywords: power system, nuclear power plant, switching equipment, emergency disturbance.

Особливістю функціонування сучасних енергосистем України та інших промислово розвинених країн є стійка тенденція до підвищення аварійності, пов'язане в першу чергу із старінням електрообладнання, несприятливими кліматичними умовами, більш напруженими умовами роботи оперативного персоналу. Почастішали системні аварії, які викликають знеструмлення власних потреб (ВП) електростанцій і тим самим сприяють розвитку аварії.

Особлива небезпечним є знеструмлення споживачів ВП АЕС, оскільки може привести до зменшення потужності і порушення ядерної безпеки АЕС при виникненні великої системної аварії з порушенням динамічної та статичної стійкості енергосистеми; при відмовах електрообладнання системи зовнішнього електропостачання власних потреб електростанції з порушенням стійкості за напругою; при відмовах окремих асинхронних двигунів внаслідок технічного стану.

Події, пов'язані із втратою зовнішніх джерел електропостачання власних потреб АЕС в Швеції (2006 р.), США (2005 р.), Великобританії (2005 р.) і особливо Японії (2011 р.), які призвели або могли призвести до серйозного порушення рівня безпеки атомних енергоблоків, потребують постійного моніторингу за роботою ЕЕС і ВП АЕС.

Як показують статистичні дані імовірність пошкодження або відключення повітряних ліній, які зв'язують АЕС з системою внаслідок перш за все внутрішніх та зовнішніх впливів стихійних явищ повністю не виключені. При цьому можлива повна втрата зв'язку електричної станції з ЕЕС з повним погашенням всієї станції, високою ймовірністю розвитку каскадної аварії в енергосистемі з повним погашенням окремих регіонів. Такі системні аварії можуть призвести до виділення енергоблоків АЕС для роботи на незбалансоване навантаження або аварійного розхолодження всіх реакторних блоків.

В умовах повного погашення АЕС вимогами системи диктується необхідність швидкого запуску хоча б одного атомного енергоблоку для чого необхідно здійснити живлення трансформаторів ВП. Для існуючих АЕС резервна подача живлення для розкручування власних потреб ("підняття" ВП з "нуля") реалізуються шляхом комутації в мережах 330 – 750 кВ для створення електричного ланцюгу, який зв'яже шини АЕС з шинами джерела потужності. При цьому важливим є забезпечення

високої надійності схем подачі живлення, що містять повітряні лінії (ПЛ) , високовольтні вимикачі, силові трансформатори (автотрансформатори), реактори ,електродвигуни ВП.

Для вирішення вище зазначених задач розроблене програмне забезпечення “RISK POWER PLANT”, яке дозволяє: оцінювати імовірність відмови основного силового і комутаційного обладнання електричних систем з АЕС і ВП АЕС на основі використання як кількісної так і якісної інформації про технічний стан; визначати кількісні показники ризику виникнення аварійних ситуацій в підсистемах ЕЕС з АЕС та знеструмлення ВП електростанцій при аварійних збуреннях на АЕС і в ЕЕС; оцінювати ризик порушення електропостачання споживачів ВП АЕС при аварійних ситуаціях в ЕЕС; визначати ризик відмови системи електропостачання ВП АЕС при живленні від зовнішніх незалежних джерел ; досліджувати режими роботи енергоблоків АЕС на незбалансоване навантаження ; обґрунтовувати і формувати превентивні технічні рішення щодо мінімізації ризику виникнення аварій в підсистемах з АЕС.

Бардик Євген Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри відновлювальних джерел енергії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: bardik1953@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ СПРАЦЬОВАНОГО РЕСУРСУ ТА ЙМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АГРЕГОВАНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Є. І. Бардик¹, О. Л. Бондаренко¹

¹НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Наразі з розвитком ринкових відносин в електроенергетиці України загострюється проблема забезпечення режимної надійності сучасних електроенергетичних систем (ЕЕС). Суттєвий вплив на надійність ЕЕС України в сучасних умовах визначають наступні основні фактори: зростання зносу основних фондів в і низькі темпи його заміни; напружений режим роботи електрообладнання в умовах ринкових відносин; зростають вимоги споживачів щодо підтримання постійно високого рівня надійності. Зазначені фактори сприяють зростанню інтенсивності аварійних ситуацій, що підтверджується виникненням за останні десятиріччя низки системних аварій в ЕЕС Північної Америки, Західної Європи, Росії, переважно внаслідок відмов силового і комутаційного обладнання.

Значна частка аварій, які виникають у сучасних ЕЕС, припадає на аварії в електричних мережах, функції локалізації яких виконують насамперед високовольтні вимикачі (ВВ). За даними НЕК «Укренерго» на даний момент в експлуатації знаходяться 850 одиниць елегазових вимикачів напругою від 35 до 750 кВ, що становить 26 % від загальної кількості ВВ. Тому важливою задачею є розробка математичних моделей визначення спрацьованого ресурсу та ймовірності відмови нових елегазових вимикачів. Складність виявлення аналітичних залежностей і класом технічного стану (ТС) об'єкта потребує для побудови відповідних моделей вимикача використання теорії нечітких множин і нечіткої логіки, що дозволяє подати в єдиній формі різномірну інформацію про об'єкт.

Розроблена лінгвістична математична модель елегазового ВВ дозволяє на основі декомпозиції об'єкта на окремі функціональні вузли і побудованих лінгвістичних моделей оцінки їх ТС, визначити ресурс працездатності та ймовірність відмови за інформацією отриманою з виведеного з експлуатації вимикача та прийняти відповідні рішення, а також шляхом об'єднання часткових висновків щодо ТС окремих елементів за інформацією отриманою з виведеного з експлуатації вимикача з результатами моніторингу параметрів ТС робочих режимів з урахуванням особливостей даного типу вимикача, історії життя та розробленої нечіткої бази знань комплексної оцінки ТС вимикача виконати агреговану оцінку ТС, визначити ресурс працездатності та ймовірність відмови ВВ в цілому. В якості вхідних даних, які отримані у робочих режимах роботи лінгвістичної моделі елегазового вимикача використано такі: механічний ресурс, комутаційний ресурс, тиск SF₆ та стан ізоляторів. В якості вихідної змінної використовується: клас ТС, ресурс працездатності, ймовірність відмови вимикача. Оцінка ступеню значущості функціональних вузлів в частині впливу на загальний спрацьований ресурс визначається за допомогою вагових коефіцієнтів, які визначаються на основі статистики відмов.

Проведене тестове дослідження побудованої лінгвістичної моделі елегазового ВВ підтвердило її адекватність. Переваги даної розробки в порівнянні з іншими аналогами полягають у наступному: спрацьований ресурс визначається на основі використання даних з експлуатації, враховується вплив окремих функціональних вузлів ВВ на загальний спрацьований ресурс відповідними ваговими коефіцієнтами, можливість адаптації лінгвістичної моделі в залежності від типу ВВ. Розроблена модель є складовою комплексної математичної моделі аналізу експлуатаційних ризиків в ЕЕС при відмовах електрообладнання.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ФЕРРАНТІ В ДАЛЬНІХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧАХ НАДВИСОКОЇ НОМІНАЛЬНОЇ НАПРУГИ

В роботі наведено результати дослідження режиму напруги в проміжних точках дальньої лінії електропередавання змінного струму. Представлені математичні моделі розподілу реактивної потужності та профілю напруги вздовж фактичної та ідеалізованої лінії. Досліджено похибки моделювання профілю напруги за ідеалізації електропередачі. Запропоновано спосіб та математичні моделі визначення координат екстремальних точок поточкорозділу за реактивною потужністю та за напругою вздовж траси лінії. Досліджено похибки визначення екстремальної за напругою точки відповідно до навантаження та довжини електропередачі. Показано можливість застосування запропонованих моделей в задачах регулювання та налагодження параметрів гнучких електропередач на базі ліній надвисокої номінальної напруги.

Ключові слова: дальня електропередача змінного струму, ефект Ферранті, гнучка електропередача, розподіл напруги.

Формування сучасної системи передачі та розподілу електричної енергії вимагає застосування новітніх підходів до регулювання режимів електричних систем, зокрема до створення електричних мереж, які самоорганізуються, змінюючи свої параметри відповідно до поточних умов робочого режиму. Для досягнення даної мети широкого застосування набувають FACTS-технології, застосування яких забезпечує самоналагодження електропередач, що забезпечує гнучкість системи передачі електричної енергії, збільшення пропускної здатності магістральної електричної мережі, раціональне регулювання напруги в електричній системі тощо. Формування законів регулювання пристроїв компенсації та налагодження параметрів гнучких електропередач вимагає урахування експлуатаційних характеристик робочих режимів магістральних електричних мереж, які визначаються надвеликими зарядними струмами ліній електропередавання надвисокої номінальної напруги та пов'язаним з цими струмами ефектом Ферранті.

Жорсткі обмеження щодо допустимої перенапруги в магістральних мережах надвисокої номінальної напруги обумовлюють постановку задачі визначення найбільшої робочої напруги електропередачі лінії з метою оптимізації заходів, направлених на нормалізацію профілю напруги вздовж траси лінії. Відомі підходи до моделювання розподілу діючих (амплітудних) значень напруги вздовж лінії електропередавання базуються на громіздких викладках, ідеалізації електропередачі або дискретизації лінії електропередавання, що ускладнює оперативне визначення максимальної напруги вздовж траси лінії та унеможливує застосування цих моделей для налагодження гнучких електропередач.

Визначення координати екстремальної точки за напругою вздовж траси лінії потребує розв'язання складного нелінійного рівняння, яке не має аналітичного розв'язку, що ускладнює вирішення задачі налаштування пристроїв налагодження та компенсації параметрів електропередачі відповідно до поточного режиму лінії. Показано, що застосування моделі ідеалізованої електропередачі для визначення координати екстремальної точки забезпечує високу точність моделювання тільки в режимах малих навантажень електропередачі.

Запропоновано застосовувати математичні моделі лінеарізованої електропередачі, а також більш детальні моделі другого та третього порядку для визначення координати екстремальної точки за напругою вздовж електропередачі. Показано, що збільшення точності розрахунків можна досягти у разі застосування математичних моделей другого та третього порядку. Очевидно, що підвищення деталізації моделювання обумовлює збільшення точності моделі, проте пов'язано із збільшенням громіздкості математичної моделі, а застосування моделі третього порядку взагалі вимагає залучення апарату комплексних чисел для реалізації відповідних розрахунків.

Показано, що для типових конструкцій магістральних електропередач ОЕС України достатню точність розрахунків забезпечують моделі першого та другого порядку і тільки для електропередач надвеликої довжини доцільно використовувати математичну модель третього порядку.

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДАХОВИХ СЕС НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 КВ ЗАСОБАМИ ПК «ВТРАТИ-10/0,4»

¹АТ «Вінницяобленерго»; ²Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено дослідження з оцінювання впливу дахових СЕС на технологічні витрати електроенергії у розподільних електричних мережах 0,4 кВ. Виявлено, що використання типових значень коефіцієнтів форми графіків навантаження призводить до істотного недорахування втрат електроенергії в мережах 0,4 кВ з СЕС. Збільшення частки корисного відпуску, що покривається СЕС призводить до зростання втрат в мережах завдяки різним графіками генерування СЕС та навантаження. Збільшення частки до 40% гарантовано призводить до збільшення втрат.

Ключові слова: втрати електроенергії, відновлювальні джерела енергії, дахова сонячна електрична станція, коефіцієнт форми.

Abstract

A study was conducted to assess the impact of rooftop solar power plants on the technological losses of electricity in 0.4 kV electrical distribution networks. It is revealed that the use of typical values of shape factor of load schedule leads to a significant underconsumption of electricity losses in the 0.4 kV networks with rooftop solar power plants. The increase of the part of useful leave covered by rooftop solar power plants leads to an increase in network losses due to different schedules of rooftop solar power plants generation and load. Increasing the part of generation to 40% is guaranteed to increase losses.

Keywords: electricity losses, renewable energy sources, rooftop solar power plant, shape factor

Вступ

Економічний розвиток, зміни клімату та забруднення навколишнього середовища спричиняють розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у всьому світі, особливо останні два десятиліття. Для підтримки розбудови ВДЕ законодавством України дозволено встановлювати сонячні електростанції (СЕС) потужністю до 30 кВт для отримання «зеленого» тарифу на рівні приватних домогосподарств. Оформлення документації для підключення і продажу надлишків встановленої домогосподарством сонячної електростанції виконується по спрощеній схемі, тому для використання дахових СЕС (ДСЕС) не передбачено отримання дозвільних документів чи ліцензій. За останні 5 років в Україні майже 12 тисяч домогосподарств встановили та використовують СЕС загальною потужністю близько 280 МВт.

Очевидно, що такі умови та потужності створюють певні складнощі для функціонування електричних мереж операторів систем розподілу (ОСР). Історично електричні мережі ОСР на II класі напруги були побудовані за радіально-магістральною схемою та розраховані на централізоване електропостачання. Поява додаткового джерела живлення у таких схемах призводить до зміщення точки потякорозподілу ближче до голови фідера 10 кВ або лінії 0,4 кВ. Така зміна режиму роботи електричної мережі неодмінно впливає на рівні технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) відповідно до місця приєднання ДСЕС або їх групи. Залежно від метеорологічних умов вплив на ТВЕ

може бути як позитивним, так і негативним, тобто поява ДСЕС у існуючій мережі ОСР може призводити до зростання ТВЕ, і як наслідок погіршення показників у рамках стимулюючого тарифоутворення для операторів систем розподілу (РАВ-регулювання).

Згідно з Методикою затвердженою Національною комісією [1], що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) передбачається, що ТВЕ у мережах операторів систем розподілу мають знизитися щонайменше на 1% на першому класі напруги та на 3,5% на другому класі напруги щорічно до 2035 року.

Таким чином, задача оцінювання негативного впливу ДСЕС на ТВЕ у розподільних електричних мережах 0,4 кВ є актуальною, особливо в умовах РАВ-регулювання для ОСР.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Постанова НКРЕКП Про затвердження Порядку встановлення (формування) тарифів на послуги з розподілу електричної енергії. Від 05.10.2018 № 1175 зі змінами № 1936 від 21.10.2020. [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Верховної ради України. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v1175874-18#Text>

Бурикін Олександр Борисович — канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Ситник Артур Валерійович — аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Кулик Володимир Володимирович — докт. техн. наук, доц., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Лежнюк Петро Дем'янович — докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Поліщук Андрій Леонідович — канд. техн. наук, Генеральний директор АТ «Вінницяобленерго»

***Burykin Oleksandr Borysovych** - Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University*

***Sytnyk Artur Valeriiovych** - Postgraduate Student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University*

***Kulyk Volodymyr Volodymyrivych** - Dr. tech. Sciences, Associate Professor, Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University*

***Lezhnyuk Petro Demyanovych** - Dr. tech. Sciences, Prof., Head of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University*

***Polishchuk Andriy Leonidovych** - Candidate of tech. Sciences, General Director of JSC "Vinnytsiaoblenergo"*

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ФЕС З ВИКОРИСТАННЯМ 3D-DWT РОЗКЛАДАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто алгоритм методу просторово-часового прогнозування генерування фотоелектричної станції (PV) шляхом поєднання тривимірного вейвлет-перетворення (3D-DWT) та методу найменших квадратів опорних векторів (LS-SVM) для обробки попередніх даних часових рядів розосереджених ФЕС як в просторовій, так і в часовій області. Запропонований метод прогнозування застосовує вейвлет-перетворення до даних про потужність, що збираються з декількох ФЕС у тривимірному просторі, з урахуванням просторового розподілу місць приєднання ФЕС та відповідної генерованої ними потужності у визначені часові проміжки.

Ключові слова: прогнозування генерування, вейвлет-перетворення, фотоелектричні станції.

Abstract

The algorithm of the method of spatial-temporal prediction of photovoltaic station (PV) generation by combining three-dimensional wavelet transform (3D-DWT) and the method of least squares of reference vectors (LS-SVM) for processing preliminary data of time series of scattered PV as in n space-time, and in the time domain. The proposed forecasting method applies wavelet transforms to power data collected from several PV in three-dimensional space, taking into account the spatial distribution of PV connection points and the corresponding power generated by them in certain time intervals.

Keywords: generation forecasting, wavelet transform, photovoltaic stations.

Вступ

В останні роки широкого розповсюдження набули фотоелектричні станції в «розумних» мережах, що дозволило зібрати велику кількість даних по генеруванню, що може допомогти дослідити існуючі кореляційні зв'язки між різними ФЕС розташованими в одній локальній електричній мережі. У цьому контексті просторово-часове прогнозування набуває великого інтересу. В роботах [1-3] розглядаються просторово-часові області при розробці методів прогнозування потужності ФЕС. Для забезпечення комплексних просторово-часових моделей прогнозування необхідно виконати дослідження зв'язків між часовими рядами різних ФЕС та прогнозами на окрему станцію.

Алгоритм визначення потужності генерування ФЕС

Далі розглянемо алгоритм використання просторово-часової моделі прогнозування з використанням тривимірних даних, N розподілених ФЕС та їх географічних координат (рис.1). Погодинне генерування кожної ФЕС позначаються як $p_n(i)$, де $n=1, 2 \dots N$, N – кількість ФЕС, i - момент спостереження при $i = 1, 2 \dots T$, де T - кількість спостережень.

Послідовність виконання дослідження:

1. Будуємо матрицю 2D (двовірну) розміром N на N , що визначається координатами широти та довготи, що ідентифікують досліджувані ФЕС в координатній сітці;
2. Задаємо N часових рядів $p_n(i)$ в матриці P розмірністю N на N на T , щоб отримати тривимірні дані для моделі прогнозування. Слід відзначити, що в тривимірному представленні XY ідентифікує кожну ФЕС в просторі (місце розташування), а вісь Z представляє часовий ряд з проміжком в 1 год виробітку потужності ФЕС;
3. Будуємо матрицю P' розміром N на N на $T-h$ з метою навчання моделі прогнозування на h годин вперед. Кожний елемент матриці P' в напрямку осі Z відповідає $(i+h)$ елементу в матриці P , розглядаючи з інтервалом в 1 годину.
4. Виконуємо 3D дискретні вейвлет-перетворення матриць P і P' на рівні 1, використовуючи пев-

- не сімейство вейвлетів;
5. Отримуємо деталізуючі коефіцієнти тривимірного вейвлет перетворення для P та P' , ($j=1, \dots, l$);
 6. Тренуємо LS-SVM, використовуючи коефіцієнти деталізації P та P' на нижньому рівні;
 7. Задаємо новий набір даних для тестування LS-SVM, щоб розрахувати коефіцієнти деталізації;
 8. Застосовуємо тримірне вейвлет перетворення до тестового набору даних прогнозування на базі коефіцієнтів деталізації;
 9. Перетворюємо 3D-матрицю в двовимірну матрицю, щоб отримати N часових рядів прогнозованого генерування для кожної ФЕС окремо.

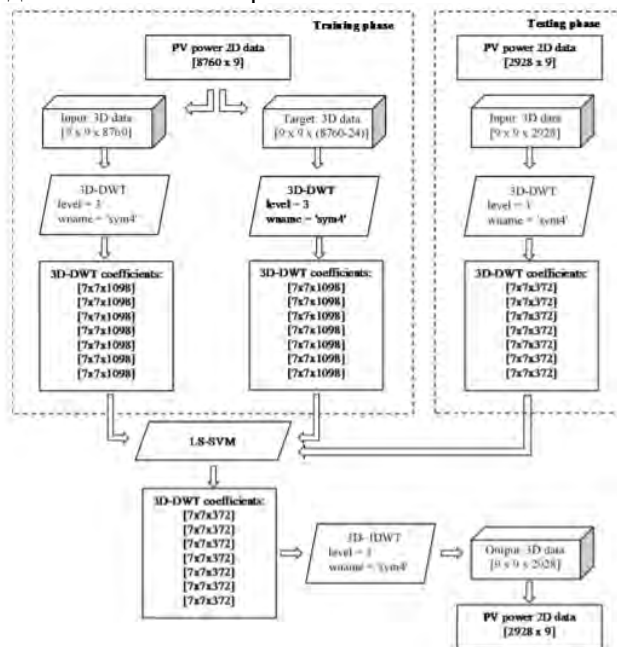


Рис. 1 Алгоритм навчання та перевірки моделі прогнозу генерування ФЕС

Висновки

У роботі представлено модель просторово-часового прогнозування генерування кількох ФЕС зосереджених в межах однієї локальної електричної системи. Тривимірне вейвлет-перетворення реалізується в моделі прогнозування на основі LS-SVM з використанням даних по генеруванню ФЕС за попередній рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R.A. Verzijlbergh, L.J. De Vries, G.P.J. Dijkema, P.M. Herder, "Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector", (2017) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 660-667.
- [2] A. Tascikaraoglu, "Evaluation of spatio-temporal forecasting methods in various smart city applications" (2018) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82- 1, 424-435.
- [3] C. Yang, A. A. Thatte and L. Xie, "Multitime-Scale Data-Driven Spatio-Temporal Forecast of Photovoltaic Generation" 2015 *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 104-112.

Рубаненко Олена Олександрівна — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, olenarubanenko@ukr.net

Гулько Ірина Олександрівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, iryna_hunko@ukr.net

Кириченко Іван Федорович – студент групи ІЕС-20м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: glok2259@gmail.com

Урсуленко Валентин Володимирович — студент групи ІЕЕ-18Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ursulenkovalentin@gmail.com

Rubanenko Olena Oleksandrivna – Ph.D., Associate Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : olenarubanenko@ukr.net

Hunko Iryna Oleksandrivna – Ph.D., Senior Lecturer of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : iryna_hunko@ukr.net

Ursulenko Valentine V. — student groups 1EE-18b, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : ursulenkovalentin@gmail.com

Ivan F. Kyrychenko – student, group 1ES-20m Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: glok2259@gmail.com

М. В. Пушкар
Н. Д. Красношарпа
В. А. Баженов
В. І. Павленко

СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»

Анотація

В даній статті сформульовано та вирішено актуальну задачу синтезу системи керування безпілотним літальним апаратом частотними методами. Синтезовано передаточну функцію системи керування апаратом у вертикальній площині та проведено аналіз стійкості за допомогою діаграми Бодє в MATLAB.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, синтез, система керування, класичні частотні методи, діаграма Бодє.

Abstract

In this article the actual problem of synthesis of the drone control system by frequency methods is formulated and solved. The transfer function of the drone control system in the vertical plane was synthesized and the stability analysis was performed using the Bode diagram in MATLAB.

Keywords: drone, synthesis, control system, classic frequency methods, Bode diagram.

Вступ

В сучасній науково-технічній літературі та техніці приділяється значна увага безпілотним літальним апаратам (БПЛА) [1], які є різновидом літальних апаратів, що виконують політ при відсутності пілота на його борту. Частіш за все під БПЛА розуміється дистанційно пілотований (керований) літальний апарат, здатний виконувати зліт, політ та посадку при управлінні ним у вертикальній площині в автоматичному режимі. БПЛА є частиною комплексу, до якого також входить наземний пункт керування з його центральною ланкою – людиною-оператором.

Мета роботи. В роботі формулюється та вирішується задача синтезу системи керування БПЛА у вертикальній площині за допомогою класичного частотного методу з використанням пакету MATLAB.

Результати досліджень

Для спрощення задачі приймаються наступні припущення [2, 3]:

1) кут ухилу глісади паріння є досить малим і поступальний рух БПЛА цілком визначається відхиленням руля висоти $\delta(t)$;

2) під час посадки вважається фіксованим значення повітряної швидкості БПЛА V .

При цих припущеннях лінеаризоване рівняння поздовжньо-вертикального переміщення БПЛА має вигляд:

$$\frac{d^3\theta(t)}{dt^3} + 2\xi\omega_0 \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + \omega_0^2 \frac{d\theta(t)}{dt} = K T_0 \omega_0^2 \frac{d\delta(t)}{dt} + K \omega_0^2 \delta(t), \quad (1)$$

де ξ коефіцієнт демпфування короткоперіодичних коливань; ω_0 – резонансна частота коливань; K – коефіцієнт підсилення короткоперіодичних коливань; T_0 – траєкторна постійна часу.

Величини ξ, ω_0, K, T_0 являються параметрами, які залежать від конструкції БПЛА. Кут тангажа θ та висота польоту h між собою пов'язані диференціальним рівнянням [1,2]:

$$T_0 \frac{d^2 h(t)}{dt^2} + \frac{dh(t)}{dt} = V\theta(t), \quad (2)$$

де початкові умови вважаються нульовими. На основі комбінації диференціальних рівнянь (1) та (2) можна отримати передаточну функцію, яка пов'язує поміж собою відхилення руля висоти $\delta(t)$ та самої висоти h [2]:

$$h(s) = \frac{kV}{s^2 \left(1 + \frac{2\xi}{\omega_0} s + \frac{1}{\omega_0^2} s^2 \right)} \delta(s). \quad (3)$$

Відповідно до (3), динамічні властивості БПЛА у вертикальній площині в основному представляють два інтегратори та коливальну ланку.

З використанням методики [4] отримано передаточну функцію системи керування БПЛА в вертикальній площині та за допомогою пакету прикладних програм MATLAB сформовано програму для дослідження стійкості її робочих режимів. Результати дослідження показують що система є стійкою, а її динамічні властивості задовольняють необхідні вимоги [5], тобто отримані частотними методами передаточні функції синтезу системи керування БПЛА у вертикальній площині можуть бути використані на практиці для створення реальних систем керування такими апаратами.

Висновки

В результаті виконання досліджень методом математичного моделювання встановлено, що синтезована система автоматичного керування БПЛА у вертикальній площині має прийнятні динамічні властивості, що повністю задовольняють технічні вимоги до таких систем. Подібні системи можна синтезувати також методом математичного програмування [2], що дозволить отримати кращі показники якості керування, що і планується дослідити в подальших дослідженнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Распопов В.Я. «Микросистемная авионика: учебное пособие»//Тула :- «Гриф К», 2010, – 248с..
- [2] F. Santoso, M. A. Garratt, S. G. Anavatti and I. Petersen, "Robust Hybrid Nonlinear Control Systems for the Dynamics of a Quadcopter Drone,"// in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 50, no. 8, pp. 3059-3071
- [3] Nur Uddin, Hendra G. Harno, Rianto Adhy Sasongko, "Altitude Control System Design of Bicopter Using Lyapunov Stability Approach"// *Electronics and Smart Devices (ISESD) 2021 International Symposium on*, pp. 1-6, 2021.
- [4] Шматок С.О., Подчашинський Ю.О. «Автоматизоване проектування систем керування на основі MATLAB. Навчальний посібник» // Житомир: ЖДТУ, 2005. – 172с.
- [5] "IEEE Draft Standard for Drone Applications Framework," in IEEE P1936.1/D7.0, 2021 , vol., no., pp.1-32, 2 Sept. 2021.

Пушкар Микола Васильович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Красношарка Наталія Дмитрівна - доцентка кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Баженов Володимир Андрійович – доцент кафедри електричних мереж та систем (ЕМС), ФЕА НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Павленко Віктор Іванович – професійний магістр кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ", м. Київ.

Pushkar Mykola V. - Associate Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv..

Krasnosharpa Natalia D. - Associate Professor of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

Bazhenov Volodymyr A. - Associate Professor of the Department of Electrical Networks and Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

Pavlenko Viktor I. - Professional Master of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv. (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ", Kyiv.

СУЧАСТНІ ПІДХОДИ ТА ВИМОГИ ДО МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБОЛОНКИ ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧОГО ЕЛЕМЕНТУ

Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація

Проведено огляд існуючих методів неруйнівного контролю герметичності тепловиділяючих елементів тепловиділяючих збірок ядерного реактору атомної електростанції. Аналіз розглянутих методів контролю показав, що вони побудовані на виявленні відсоткового змісту радіоактивних речовин та інертних газів, які спостерігаються у теплоносії після розгерметизації тепловиділяючого елемента. Встановлено, що досліджувані методи контролю не дозволяють визначити критерії розгерметизації або герметизації оболонки тепловиділяючого елемента. Запропоновано метод контролю пошкодження зовнішньої та внутрішньої структури оболонки тепловиділяючого елемента на основі застосування апарату фрактальної геометрії, який дозволяє зазначити ступінь герметичності тепловиділяючого елемента у режимі реального часу.

Ключові слова. метод контролю герметичності оболонки, розгерметизація тепловиділяючого елемента, критерії стану оболонки.

Abstract

A review of existing methods of non-destructive testing of the tightness of fuel elements of fuel assemblies of a nuclear reactor of a nuclear power plant is carried out. The analysis of the considered control methods showed that they are based on the detection of the percentage of radioactive substances and inert gases that are observed in the coolant after depressurization of the fuel element. It is established that the studied control methods do not allow to determine the criteria of depressurization or sealing of the shell of the fuel element. A method of controlling damage to the outer and inner structure of the shell of the fuel element based on the use of the apparatus of fractal geometry, which allows to indicate the degree of tightness of the fuel element in real time.

Keywords: Method of shell tightness control, depressurization of fuel element, shell condition criteria.

Вступ

Одним з основних параметрів безпеки ядерного реактора (ЯР) атомних електростанції (АЕС), є порушення герметичності оболонок тепловиділяючого елемента (ТВЕЛ), який є основним елементом активної зони ЯР. Як показав аналіз [1-6], сучасні методи контролю не відстежують динаміку процесу пошкодження та руйнування оболонки ТВЕЛ та не визначають критерії розгерметизації оболонки, тому запропоновано метод контролю пошкодження зовнішньої та внутрішньої структури оболонки тепловиділяючого елемента на основі застосування апарату фрактальної геометрії, який дозволяє зазначити ступінь герметичності тепловиділяючого елемента у режимі реального часу. Це є актуальним завданням, що і зумовило вибір напрямку дослідження. [1]

Результати досліджень

Для контролю оболонки ТВЕЛ застосовуються руйнівні та неруйнівні методи контролю [2, 4]. Руйнівні методи в процесі контролю руйнують оболонку ТВЕЛ та застосовуються тільки на виробництві. Тому в роботі були розглянуті неруйнівні методи, які контролюють зовнішню та внутрішню структуру оболонки ТВЕЛів при їх експлуатації. [2, 3]

Капілярні методи засновані на капілярному проникненні крапель індикаторних рідин в порожнині поверхневих дефектів. Капілярна дефектоскопія використовується при моніторингу ТВЕЛ в процесі експлуатації. [2, 3]

Радіографічний метод контролю заснований на здатності рентгенівських променів проникати через метал і впливати на світлочутливу рентгенівську плівку, розташовану зі зворотнього боку

зварного шва, у місцях, де є дефекти контрольованого матеріалу (непровари, пори, тріщини, шлакові включення та ін.) [3]

Радіохвильовий метод полягає в реєстрації змін параметрів електромагнітних хвиль радіодіапазону при взаємодії з оболонкою ТВЕЛ. [4, 5]

Мас-спектрометричний метод заснований на використанні кількості гелію в якості індикаторного газу, що вводиться під оболонку ТВЕЛа, тому з його допомогою можна виявити процес розгерметизації оболонки, по відсотковому змісту у теплоносії перевищуючи норму. [5]

Висновки

1. Розгляну сучасні методи контролю не відстежують динаміку процесу пошкодження та руйнування оболонки ТВЕЛ та не визначають кретирії розгерметизації оболонки.

2. Запропоновано новий перспективний метод контролю пошкодження зовнішньої та внутрішньої структури оболонки тепловиділяючого елемента на основі застосування апарату фрактальної геометрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Буданов П.Ф., Бровко К. Ю., Хом'як Е. А., Тимошенко О. А. Удосконалення методу контролю оболонки тепловиділяючого елемента для підвищення безпеки ядерного реактора. // Вісник ХПІ. 2020. С. 26 – 31.

[2] Герасимов Д. Г. Разработка технической идеологии построения системы для проверки герметичности теловыделяющих элементов / Д. Г. Герасимов // *Путь науки*. - 2017. - С. 52 - 56.

[3] Кимович Ю. К. Комплексный контроль дефектов внешнего вида ТВЕЛОВ ВВЭР-1000 / Ю. К. Кимович, В. К. Кулешов // *Приборы*. - 2013. - №10. - С. 21 - 25.

[4] Богорад В. И., Литвинская Т. В., Носовский А. В., Слепченко А. Ю. Вопросы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов при внедрении новых видов ядерного топлива на АЭС Украины с реакторами ВВЭР-1000 // Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности. 2014. С. 29 - 30.

[5] Курский А. С., Калыгин В. В., Семидоцкий И. И. Методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов на корпусном кипящем реакторе ВК-50 // Вестник ИГЭУ. 2014. №1. С. 1 - 6.

Хом'як Едуард — аспірант. Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків e-mail: eakhomiak@gmail.com

Буданов Павло — кандидат технічних наук, доцент, кафедра фізики, електротехніки та електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків.

Бровко Константин — кандидат технічних наук, доцент, кафедра фізики, електротехніки та електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків.

Кирисов Ігор — аспірант. Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків.

Науковий керівник*: **Буданов Павло Феофанович** — кандидат технічних наук, доцент, кафедра фізики, електротехніки та електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків.

СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація

Розглянуто розвиток та перспективи використання систем накопичення електричної енергії. Проаналізовано вплив використання відновлювальних джерел живлення країнами світа на розвиток систем накопичення електричної енергії. Розглянуто класифікацію систем накопичення електричної енергії за типами акумулювання електричної енергії.

Ключові слова: електрична енергія, відновлювальні джерела енергії, системи накопичення електричної енергії.

Abstract

The development and prospects of the use of electrical energy storage systems were considered. The influence of the use of renewable energy sources by countries of the world on the development of electric energy storage systems was analyzed.

Keywords: power energy, renewable energy, electrical energy storage systems.

Вступ

Проблема збереження електричної енергії є актуальною та потребує постійної уваги щодо подальшого розвитку та застосування. Однією з причин є постійно зростаючий попит на електричну енергію, що генерується відновлювальними джерелами живлення. В роботі проаналізовано розвиток та подальше використання систем накопичення електричної енергії.

Результати досліджень

Електрична енергія, як відомо, має один серйозний недолік – електричну енергію неможливо було накопичувати у промислових масштабах. Відповідно до цього кількість виробленої енергії повинна дорівнювати кількості використаної. При цьому, досить тривалий час зберігати електричну енергію було можливо лише за умови перетворення її в інший вид енергії: хімічну, механічну, термічну. Перетворивши електричну енергію в будь-який з цих видів, її можна було зберігати більш тривалий час. [7, 8].

Використання систем накопичення електричної енергії відкриває нові можливості для подальшого розвитку електроенергетики. Такі системи містять високотехнологічні пристрої, які постійно розвиваються. Такі системи мають можливість здійснювати запаси електричної енергії. Формування ринку та подальша стабілізація виробництва електричної енергії відновлювальними джерелами, а також нерівномірність графіку навантаження внаслідок використання відновлювальних джерел живлення є передумовами активного розвитку систем накопичення енергії.

Багато Європейських країн розглядають розвиток систем накопичення електричної енергії як один із ключових моментів розвитку енергетичної галузі. Технологічний процес, який має постійно зростаючий рівень, призведе до зниження вартості систем накопичення електроенергії, рівень якої є оптимальним для споживачів.

Також, Bloomberg New Energy Finance зауважує, що до 2030 року буде побудовано близько 125 ГВт накопичувачів електроенергії, сумарна потужність складе близько 305 ГВт год. [2, 3].

Розглядаючи за типами зберігання енергії основні засоби акумулювання електричної енергії, необхідно відмітити наступні:

- Водневі системи, які здійснюють перетворення водня внаслідок електролізу в електричну енергію з її подальшим використанням;
- Індуктивні накопичувачі;
- Інерційні накопичувачі;
- Ємнісні накопичувачі;
- Електрохімічні батареї;

- Теплові накопичувачі;
- Гідроакмулювання;
- Гравітаційні накопичувачі.

Висновки

1. В роботі проаналізовано розвиток та перспективи використання систем накопичення електричної енергії. Стисло розглянуто види систем за типами зберігання електричної енергії. Проаналізовано відповідно до [4] стан світового ринку щодо використання система зберігання електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- ...
- [2] BloombergNEF Електронний ресурс <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>.
- [3] International Renewable Energy Agency Електронний ресурс <https://www.irena.org/>.
- [4] In 2019, installations of energy storage technologies fell for the first time in a nearly a decade. Report. Електронний ресурс <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/energy-storage>
- [7] Олійник Ю.С. Напрямки енергозбереження// Міжнародна науково-практична конференція «Наука, техніка і технології: глобальні та сучасні тенденції» 27–28 грудня 2019 року / Прага, Чеська республіка с. 93-96.
- [8] Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013 [<http://energetika.in.ua/ua/>].

Олійник Юлія Сергіївна — кандидат педагогічних наук, кафедра Фізики, електротехніки та електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків e-mail: yulya82vip@gmail.com

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ РОБОТИ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РІЗНИХ СЦЕНАРІЯХ ФОРМУВАННЯ ЦІНИ НА НАДАНІ ПОСЛУГИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Впровадження систем накопичення та подальшого переносу електроенергії досить важлива задача, що вирішується в різних країнах по різному, виходячи з типів продуктів, що можуть надаватись системами накопичення енергії. Розроблений алгоритм, що дозволяє визначити найменшу прогнозовану ціну для купівлі електроенергії для заряду накопичувача, або найбільшу прогнозовану ціну для продажу електроенергії/послуги.

Ключові слова: ринок допоміжних послуг; система накопичення енергії; резерв підтримки частоти; резерв відновлення частоти.

Abstract

The introduction of battery energy storage systems and the subsequent transfer of electricity is a very important task, which is solved in different countries in different ways, based on the types of products that can be provided by battery energy storage systems. An algorithm has been developed to determine the lowest estimated price for the purchase of electricity for the storage charge, or the highest estimated price for the sale of electricity / services.

Keywords: additional service market; battery energy storage system; frequency support reserve; frequency recovery reserve.

Вступ

Значний приріст генерування відновлювальних джерел енергії (далі – ВДЕ), що значно залежить від мінливих погодних умов, а також значний ступінь старіння основного генеруючого обладнання теплових електростанцій (далі – ТЕС) змушує фахівців галузі переглянути структуру генерувальних потужностей [1].

Результати досліджень

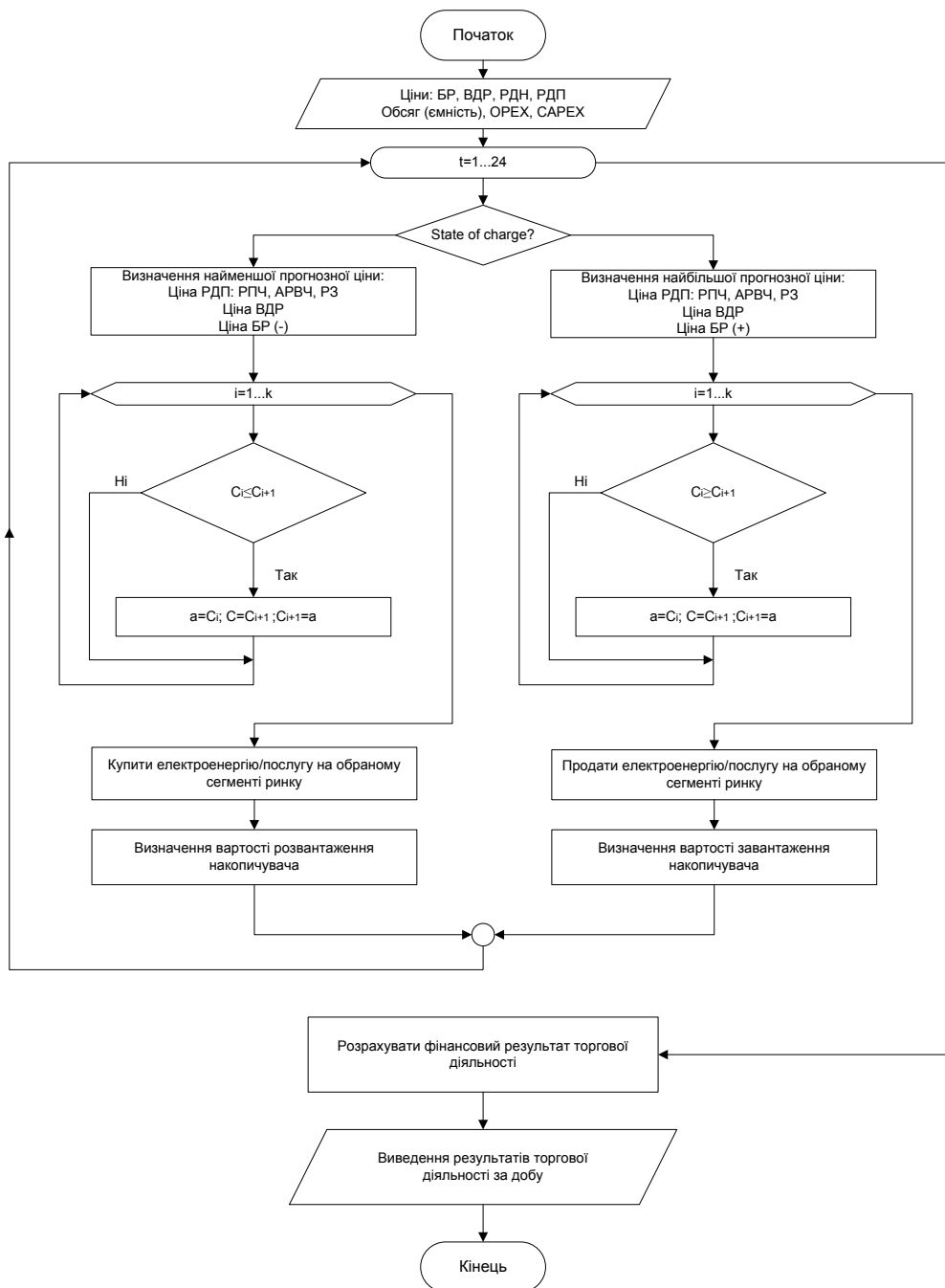
Розроблений алгоритм дозволяє визначити найменшу прогнозовану ціну для купівлі електроенергії для заряду накопичувача, або найбільшу прогнозовану ціну для продажу електроенергії/послуги.

Початковими даними є ретроспектива цін електроенергії на балансуєчому, внутрішньодобовому, ринку “на добу наперед” та ринку допоміжних послуг, номінальна ємність СНЕ, а також капітальні витрати на будівництво СНЕ (CAPEX) та витрати на обслуговування (OPEX). Розрахунок проводиться для кожної години доби, що дає змогу, при необхідності, щогодини визначити найменшу прогнозовану ціну для купівлі електроенергії/послуги на наступні 50 хв для Балансуєчого ринку, 1 годину для внутрішньодобового та наступну добу для ринку “на добу наперед”.

Пошук оптимальної ціни купівлі-продажу, здійснюється алгоритмом “спливаючої бульбашки”. Алгоритм працює таким чином — у поданому наборі даних (цін на РДП, ВДР та БР) порівнюються дві сусідні ціни. Якщо одна з них менша за попередню (у випадку пошуку найменшої ціни для купівлі) чи більша за попередню (у випадку пошуку найбільшої ціни для продажу), то вони міняються місцями. Прохід по списку цін продовжується доти, доки дані не будуть відсортованими усі елементи набору даних. Даний алгоритм завдяки своїй простоті добре підходить для сортування невеликих масивів даних.

Потім проводиться визначення вартості розвантаження/завантаження накопичувача та розраховується фінальний результат торгової діяльності, на основі відсортованих даних.

Кінцевим результатом даного алгоритму є виведення результатів торгової діяльності на наступних 24 години, з вибраними найвигіднішими цінами для купівлі та продажу електроенергії.:



Висновки

Передумовами впровадження систем накопичення енергії є постійний ріст обсягів негарантованої генерації ВДЕ та фактичне спрацювання свого паркового ресурсу значною частиною теплової генерації, що на сьогоднішній день, разом з гідроелектростанціями є основними засобами балансування енергосистеми. Такі фактори значно впливають на операційну безпеку роботи ОЕС України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Лежнюк П. Д. Оцінювання якості електропостачання в локальних електричних системах з різнотипними відновлювальними джерелами енергії / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, І. В. Котилко, І. О. Прокопенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 195. - С. 23-25. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtsug_2018_195_10

[2] Блінов І.В., Парус Є.В., Іванов Г.А. Дослідження організації конкурентної моделі ринку елект-

роенергії України з урахуванням мережевих обмежень в ОЕС України. Пр. Інституту електродинаміки НАН України. 2016. Вип. 45. С. 34 – 39.

[3]Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Оцінка роботи електростанцій при наданні допоміжних послуг з первинного та вторинного регулювання частоти в ОЕС України. Технічна електродинаміка. 2013. № 5. С. 55 – 60.

Прокопенко Ігор — Ph.D, аспірант, кафедра ЕСС Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: delfin11071994@gmail.com

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

ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація

Проведений аналіз сучасних тенденцій розвитку систем розподіленої генерації, запропоновано загальний підхід до забезпечення надійної та стабільної роботи децентралізованих енергетичних систем побудованих на основі відновлюваних джерел електричної енергії з урахування можливостей систем накопичення енергії та кліматичного прогнозування генерації.

Ключові слова: баланс електричної енергії, децентралізовані енергосистеми, альтернативні джерела живлення, алгоритм управління, надійність електропостачання.

Abstract

Carrying out analyzes of current trends in the development of systems for generating generation, proponently for the purpose of ensuring that the efficient and stable robots of decentralized energy systems will be built on the basis of the development of energy efficiency

Keywords: balance of electric power, decentralized power systems, alternative source, control algorithm, reliability of power supply.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку енергетичної галузі характеризуються значним збільшенням частки генеруючих потужностей альтернативних відновлюваних джерел електричної енергії. Найбільшого розвитку останнім часом зазнають системи генерації електричної енергії що побудовані на основі сонячних та вітрових електростанцій. Так станом на середину вересня 2021 року за даними НЕК «Укренерго» частка генерації в покритті навантаження цими електростанціями складала 8% (214,8 млн. кВт год) що перевищує генерацію українських ГЕС та ГАЕС [1], а в структурі генерації електроенергії розвинених країн Європи частка сонячних та вітрових електростанцій може сягати більш ніж 50% [2,3,4]. Розвиток технологій розподіленої генерації суттєво впливає на процеси децентралізації енергетичних систем та демонополізацію ринку електричної енергії та послуг в енергетичній галузі [5,6]. Актуальним є питання всебічного аналізу загальних та часткових принципів побудови систем розподіленої генерації та визначення характерних властивостей цих систем взагалі та окремих їх елементів та режимів їх роботи.

Результати досліджень

Децентралізовані енергетичні системи в умовах України використовують переважно сонячну та вітрову енергію безпосередньо та енергію фотосинтезу через процес виробництва та подальшого використання біогазу. Окрім цього до об'єктів розподіленої генерації можна віднести мікро ГЕС місцевого значення [7].

Загальні підходи до побудови надійної децентралізованої системи електропостачання наведені на рис. 1

Основним завданням системи є забезпечення балансу виробленої на та спожитої споживачами електричної енергії, що відображається у співпадінні графіків генерації на енергогенеруючих об'єктах та навантаження споживачів. До генеруючих потужностей належать:

- вітрові електростанції (ВЕС);
- сонячні електростанції (СЕС);
- біогазові електростанції (БГЕС);

- мікро гідроелектростанції, які доцільно використовувати в режимі гідроакumuлюючих електростанцій (ГЕС - ГАЕС).

БГЕС та ГЕС-ГАЕС на відміну від ВЕС та СЕС мають прогнозований та керований графік генерації електричної енергії. Тому енергетичний потенціал цих електростанцій можливо використовувати в маневровому режимі за для покриття піків електричних навантажень споживачів [8].

Окрім генеруючих потужностей до технологічних підсистем відносяться акумуляторні батареї (АБ) що перетворюють електричну енергію на хімічну та таким чином запасують її та гравітаційні акумулятори баштового типу [9,10]

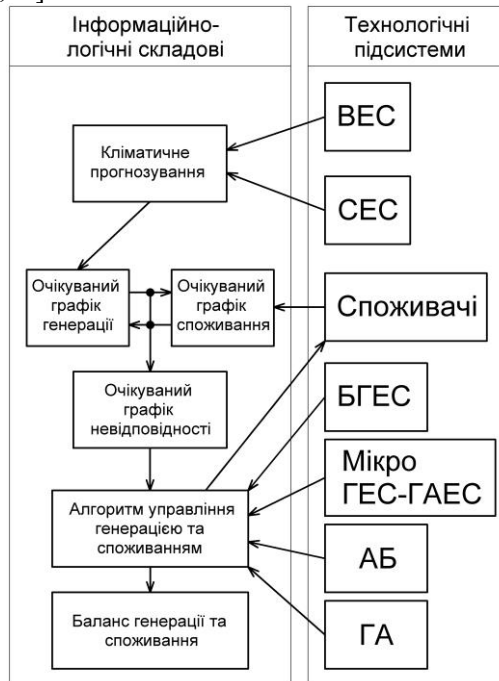


Рис. 1. Узагальнений підхід до забезпечення надійної роботи децентралізованої енергосистеми

Висновки

Розроблення алгоритму управління генерацією та споживанням електричної енергії слід складати з урахуванням характерних можливих режимів роботи основних технологічних підсистем

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ua.energy/robotaips/robota-energosity-13-19-veresnya-2021-roku/>
- [2] Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.dw.com/>
- [3] Monitoringbericht 2020 Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB Stand: 1. März 2021
- [4] Електронний ресурс режим доступу: <https://www.eeseaec.org/energetika-regionov-mira>
- [5] Електронний ресурс. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
- [6] Стрельбіцька Н. Є. Лібералізація оптового ринку електроенергетики України: перші наслідки / Н. Є. Стрельбіцька // Бізнес Інформ. – 2014. – № 4. – С. 136–139.
- [7] Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні. А.М.Чернюк, І.Г.Кирисов, Ю.О. Черевик. // Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» Том 32 (71) №3, 2021. С. 239-247.
- [8] А. М. Чернюк, І. Г. Кирисов, Є. І. Качанов Засоби забезпечення процесу генерації та споживання електричної енергії в електроенергетичних системах з розподіленою генерацією з врахуванням фактору навизначеності погодних та кліматичних умов. // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність №1(1), 2020р. С 95 - 99
- [9] Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.energyvault.com/>

Чернюк Артем Михайлович — к.т.н., доц., завідувач кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків e-mail: archer.uipa@gmail.com

Євген Ігорович Качанов – аспірант кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики
Української інженерно-педагогічної академії

Юлія Олександрівна Черевик - аспірантка кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики
Української інженерно-педагогічної академії

Злата Вадимівна Оберемок – студентка кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики
Української інженерно-педагогічної академії

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИЄДНАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДО РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ЕКОНОМІЧНОГО СТРУМОРОЗПОДІЛУ

Вінницький національний технічний університет (ВНТУ)

Анотація

Запропоновано метод та алгоритм визначення оптимальних місць приєднання промислових накопичувачів енергії (ПНЕ) до розподільних електричних мереж на основі імітації економічного струморозподілу. Показано, що оптимізація встановлених потужностей та місць приєднання ПНЕ за комплексним критерієм оптимальності (наприклад, за рентабельністю капіталовкладень) може бути зведена до визначеної кількості розрахунків режиму електричної мережі, до заступної r -схеми якої додано фіктивні опори, що визначаються економічними чинниками.

Ключові слова: промислові накопичувачі енергії, розподільні електричні мережі, оптимізація встановленої потужності, вирівнювання навантажень, комплексний критерій оптимальності.

Abstract

A method and algorithm for determining the optimal connection points of industrial energy storage devices (IESs) to electrical distribution networks based on the simulation of economic current distribution are proposed. It is shown that the optimization of installed capacities and IES connection points by a complex criterion of optimality (for example, by return on investment) can be reduced to a certain number of calculations of the electric network mode, to the substitute r -circuit of which fictitious resistors determined by economic factors are added.

Keywords: industrial energy storage devices, distribution electric networks, optimization of installed capacity, load balancing, complex optimality criterion.

Вступ

Сучасні розподільні електричні мережі (РЕМ) повинні забезпечувати надійне та ефективне енергозабезпечення споживачів, а також транспортування електроенергії розосереджених джерел енергії. Крім реконструкції РЕМ та модернізації їх основного обладнання, набувають актуальності дослідження у напрямку вдосконалення структури та способів керування їх режимами [1].

Для вирішення зазначеної проблеми принципи побудови сучасних електроенергетичних систем мають відповідати загальному прогресу техніки та технологій. Цього можна досягти, впроваджуючи, разом з новими інформаційними технологіями, результати системних теоретичних досліджень ЕЕС, які базуються на фундаментальних фізичних принципах у поєднанні з сучасними підходами до математичного моделювання та оптимізації їх станів [2].

З розбудовою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у розподільних електричних мережах (РЕМ) актуальною проблемою забезпечення енергоефективності мереж стала оптимізація перетікань активної потужності [3]. Можливості зміни режимів роботи ВДЕ на вимогу диспетчерів РЕМ обмежені недопущенням аварійних режимів, або усуненням їх наслідків. Виходячи з цього, розглядається можливість застосування промислових накопичувачів енергії (ПНЕ) для компенсації нерівномірності добового завантаження мереж та вирівнювання профілю напруги у критичних вузлах [4]. Вирішення цієї задачі передбачає вибір параметрів та розміщення промислових накопичувачів, а також регулювання їх потужності в залежності від режимів РЕМ.

Проектна постановка задачі розміщення ПНЕ в електричних мережах потребує врахування широкого комплексу факторів, що впливають на ефективність роботи електроустановок та якість електроенергії, а також економічність технічного рішення. Для вирішення таких задач розроблено низку методів оптимізації. Однак у сучасних умовах актуальними і до кінця не вирішеними залишаються питання оптимізації перетікань активної потужності в РЕМ, що забезпечила б зниження втрат електроенергії та належну якість напруги завдяки новим засобам регулювання [5].

Результати досліджень

Постановка задачі. Для розподільної електромережі, структура та параметри якої є заданими, необхідно визначити місця приєднання та потужності ПНЕ, що забезпечать максимальну рентабельність капіталовкладень з урахуванням технічних обмежень об'єкта дослідження.

Для розв'язання подібних задач високу ефективність показав метод економічного струморозподілу [2], що отриманий на основі принципу найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського. Відомо, що задача оптимізації перетікань активної потужності в електричних мережах за критерієм мінімуму втрат електроенергії може бути зведена до розрахунку економічного струморозподілу з використанням заступної г-схеми електромереж [2]. Аналогічний підхід було застосовано для оптимізації розміщення та потужностей ПНЕ за рентабельністю капіталовкладень. Для цього до заступної г-схеми було введено додаткові економічні опори (рис. 1), що відтворюють вплив економічних чинників, зокрема витрати на встановлення та експлуатацію ПНЕ.

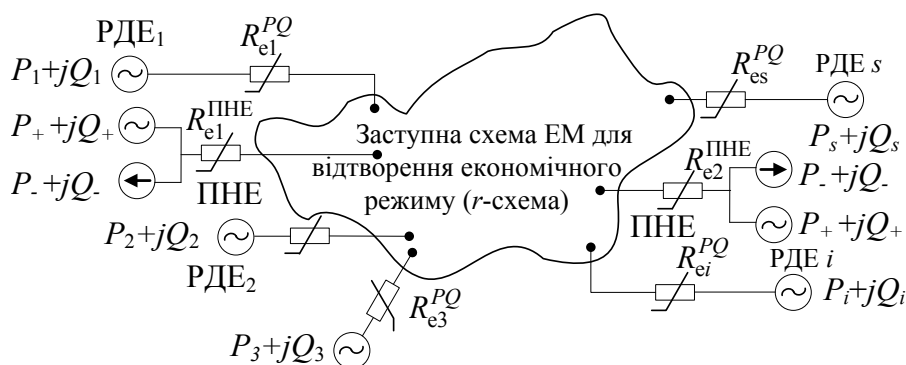


Рис. 1 – Заступна схема РЕМ для розрахунку економічного струморозподілу за комплексним економічним критерієм

Використовуючи математичні перетворення функції рентабельності з урахуванням джерел окупності капіталовкладень в ЕМ було отримано вираз для визначення економічного опору для окремого ПНЕ:

$$R_{ei}^{ПНЕ} = \frac{U_i^2}{P_i} \left[\alpha_{втр} + \frac{K_i (\alpha_e + \alpha_p)(1 - \alpha_n) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c (1 - \alpha_n)} \right],$$

де U_i , P_i , K_i – середньозважена напруга у потенційному вузлі приєднання, встановлена потужність та капіталовкладення в ПНЕ; $\alpha_{втр}$, α_e , α_p – відносні втрати електроенергії в ПНЕ, відносні витрати на їх експлуатацію та додаткові річні амортизаційні відрахування; α_n , $\alpha_{кр}$ – податок на прибуток та річні витрати на обслуговування кредиту; c , τ – вартість втрат електроенергії та час максимальних втрат.

Використання ПНЕ, як додаткових джерел енергії у електричних мережах, має певні особливості, зокрема, необхідність накопичення енергії перед її використанням, неможливість миттєвого накопичення енергії, обмеженість видачі потужності рівнем заряду акумуляторів. Виходячи з цього, алгоритм оптимізації вузлів приєднання ПНЕ до електромереж має відмінності, порівняно з оптимізацією приєднання традиційних джерел енергії. Так, імітація ідеального струморозподілу [2] виконується щонайменше для двох станів досліджуваної мережі: стану, що характеризується максимальним локальним генеруванням, та стану з максимальним споживанням та відсутністю генерування ВДЕ. Крім того, необхідно визначити тривалість проміжків часу, коли локальне навантаження перевищує середнє значення за графіком (T_{max}), та виявляється меншим за нього (T_{min}). Отримані дані дають змогу оцінити обсяги електроенергії, що необхідні для вирівнювання навантаження РЕМ, а також можливість їх накопичення та видачі протягом визначених періодів часу. Крім того, імітація ідеальних режимів сприяє розміщенню ПНЕ на підстанціях, де вони спричинятимуть мінімальне підвищення втрат в режимі споживання та максимальне їх зменшення в режимі видачі електроенергії.

Разом з тим, найкращі результати з оптимізації розміщення ПНЕ дає імітація ідеальних режимів на півгодинних інтервалах, використовуючи виміряні, або типові графіки навантаження та генерування. У цьому випадку крім оптимальних місць приєднання ПНЕ вдається визначити характерний графік їх заряду-розряду, що є вихідними даними для підбору необхідних технічних параметрів накопичувача під конкретні умови функціонування.

Висновки

Введення встановлених потужностей додаткових ПНЕ до переліку залежних параметрів режиму ЕМ дає змогу розрахувати їх оптимальні значення за комплексним критерієм. Вони відповідають мінімуму втрат активної потужності в розрахунковій r -схемі з економічними опорами, тобто максимуму рентабельності капіталовкладень у додаткові ПНЕ.

Використання вимірних, або типових графіків навантаження/генерування РЕМ для імітації ідеальних режимів на півгодинних інтервалах сприяє оптимізації не лише місць приєднання, але й параметрів промислових накопичувачів для використання у конкретних мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення // Технічна електродинаміка. – 2015. – №6. – С. 44–50.
- [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] V. Calderaro, V. Galdi, F. Lamberti and A. Piccolo, "Co-located storage systems with renewable energy sources for voltage support in distribution networks," 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2015.7286486.
- [4] A. Ashoornezhad, H. Falaghi, M. Yousefi and A. Hajizadeh, "Bi-Level Distribution Network Planning Integrated with Energy Storage to PV-Connected Network," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2020, pp. 1325-1329, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152508.
- [5] M. Stecca, L. R. Elizondo, T. B. Soeiro, P. Bauer and P. Palensky, "A Comprehensive Review of the Integration of Battery Energy Storage Systems Into Distribution Networks," in IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, vol. 1, pp. 46-65, 2020, doi: 10.1109/OJIES.2020.2981832.

Володимир Кулик – доктор технічних наук, професор кафедри Електричних станцій та систем ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

Максим Затхей – студент освітньої програми «Електричні системи і мережі» другого (магістерського) рівня вищої освіти Факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: maxzatkhey@gmail.com

КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ

¹Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Анотація

У роботі показано можливість застосування модернізованого елемента системи комплексного перетворення сонячного випромінювання які дозволяють одночасно виконувати декілька функцій: отримувати електричну та теплову енергії і здійснювати тепловий захист самої будівлі в зимовий та літній періоди ,а також забезпечуючи одночасне перетворення і перерозподіл та акумулювання сонячної енергії.

Ключові слова: фотоелектричні перетворювачі, акумулювання, сонячна енергія.

Abstract

The paper shows the possibility of using a modernized element of the system of complex conversion of solar radiation which allows to optimize several functions: to receive electric and thermal energy and to provide thermal protection of the building in winter and summer, as well as providing simultaneous conversion and redistribution and accumulation of solar energy.

Keywords: photovoltaic converters, storage, solar energy.

Системи енергозабезпечення сучасних будівель застосовують теплову та електричну енергію. Сонячне випромінювання дозволяє перетворення як в теплову так і в електричну енергії. В більшості випадків це робиться в окремих пристроях таких як геліоколектори та фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), котрі застосовуються окремо. Більш перспективною технологією є використання енергоактивних покриттів (ЕАП), які поєднують в собі одночасно функції теплової ізоляції з можливістю перетворення в корисну теплоту енергії поновлювальних джерел енергії. У роботі розглядається застосування модернізованого елемента системи комплексного перетворення сонячного випромінювання у вигляді енергоактивних покриттів ЕАП будівель, які дозволяють одночасно виконувати декілька функцій: отримувати електричну та теплову енергії і здійснювати тепловий захист самої будівлі в зимовий та літній періоди ,а також забезпечуючи одночасне перетворення і перерозподіл та акумулювання сонячної енергії.

Тобто такі ЕАП в певні періоди року будуть виконувати функції, властиві як геліоколекторним системам опалення і гарячого водопостачання, так і ФЕПам,. З іншого боку в певні періоди року такі ЕАП виконують роль теплоізоляції, наприклад зменшують теплові втрати будівлі, в пікові зимові періоди, а також зменшують теплові надходження в будівлю в жаркий літній період. Це є перспективним шляхом для підвищення ефективності енергопостачання, оскільки це проводить до підвищення термічного опору огорожі будівель з одночасним використанням альтернативних джерел енергії за рахунок цих огорож. В роботі пропонується конструкція ЕАП, який має вбудовані в нього ФЕПи, які дозволяють отримувати одночасно електричну енергію. Застосування ФЕПів в складі ЕАП буде мати такі переваги: зберігається земля , яку витрачають під їх установку, створюється більш оптимальний температурний режим їх праці.

При технічно реалізованих параметрах ЕАП визначається при різних рівнях освітленості сонячним випромінюванням кількість теплової та електричної енергії, яку можливо отримати в різні періоди року. період.

Габрінець В.А. – д.т.н, проф. Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро

Накашідзе Л.В. - канд. техн. наук, с.н.с., директор НДІ енергетики, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

Титаренко І.В. - Ст. викладач кафедри інтелектуальні системи енергопостачання Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро

МЕТОДИ І СПОСОБИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА САМОДІАГНОСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запроновано систему дистанційного моніторингу та самодіагностики фотоелектричних станцій.

Ключові слова: фотоелектрична станція, фотоелектричний модуль, самодіагностика, дистанційний моніторинг.

Abstract

A system of remote monitoring and self-diagnostics of photovoltaic stations has been introduced.

Keywords: photovoltaic station, photovoltaic module, self-diagnostics, remote monitoring.

Вступ

Для об'єднаних енергосистем (ОЕС), в наслідок реалізації великої кількості проєктів з будівництва відновлюваних джерел енергії, в спадщину експлуатуючим підрозділам дісталась маса проблем з реалізації можливості безаварійної експлуатації або попередження виникнення технологічних порушень.

З огляду на територіальні масштаби промислових фотоелектричних станцій (далі – ФЕС), які розташовуються на десятках, а іноді і на сотнях гектарів, реалізація діагностики електрообладнання прямими методами діагностування не є ефективною та потребує значних ресурсів, з огляду на це впровадження методів самодіагностики ФЕС з можливістю дистанційного моніторингу дозволить попередити технологічні порушення, визначити точне місце знаходження пошкодженого електрообладнання в момент його пошкодження та попередити ланцюгову реакцію для сусіднього обладнання [1].

Отримуючи дані про стан обладнання ми зможемо зменшити кількість відмов в роботі електрообладнання і як наслідок забезпечити споживачів якісною електроенергією зменшивши кількість комунаційних перенапруг.

Для визначення впливу на генерування ФЕС різних за фізичним змістом факторів, можна використовувати критеріальне моделювання, що передбачає перетворення вихідної моделі явищ чи об'єктів в безрозмірну, а саме критеріальну форму запису, де всі, приймаючі участь у процесі, величини мають зміст критеріїв подібності [2]. Для цього залежність, яка показана в [3], апроксимується позиномом:

$$P=f(T, W, I_r, H, D), \quad (1)$$

де P – потужність, яку генерує ФЕС, Вт; T – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$; I_r – сонячне опромінення, $\text{Вт}/\text{м}^2$; H – вологість, %; D – струм стрінга, А.

Позином, яким апроксимується (1), має вигляд [1]:

$$P = \sum_{i=1}^m a_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}}, \quad (2)$$

де P – потужність генерування; a_i та α_{ji} – постійні коефіцієнти, що визначаються властивістю досліджуваного процесу системи; x_j – змінні параметри системи.

Постійний аналіз старіння та деградації фотоелектричних модулів дозволить корегувати прогнозування генерації що в свою чергу відіграє важливу роль в балансі електроенергії та потужності роботи ОЕС.

Висновки

Отже, науково-технічна задача реалізації автоматичної системи моніторингу технічного стану елементів ФЕС має бути невід’ємною її складовою для нормальної експлуатації ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Астахов Ю. Н., Лежнюк П. Д. Применение критериального метода в энергетике. К. : УМК ВО, 1989. 140 с.
- [2] Смагло І. І. Діагностика фотоелектричних модулів засобами інфрачервоної техніки. Доповідь на міжнародній науково-практичній інтернет-конференції молодих вчених та студентів «Сучасні тенденції розвитку агропромислового сектора економіки в умовах конференції» Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна 14-15 травня 2020.
- [3] Supervision and fault detection system for photovoltaic installations based on classification algorithms. Castallà M., Kampouropoulos K., Urbano E., Romeral L., Renewable Energy and Power Quality Journal, 2020. Vol. 18, P. 375 – 379.

Лежнюк Петро Дем'янович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Смагло Іван Іванович – аспірант кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет

Рубаненко Олена Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Smaglo Ivan Ivanovych – doctoral student of Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia email: smagloivan91@gmail.com

Rubanenko Olena Oleksandrivna – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : olenarubanenko@ukr.net

Lezhnyuk Petro Demyanovych – Dr. tech. Sciences, Prof., Prof. of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsya, email : lezhpdp@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі було проведено аналіз сучасного стану вітроенергетики в Україні.

Ключові слова: вітрова енергетика, відновлюване джерело енергії, електрична енергія

Abstract

The analysis of the current state of wind energy in Ukraine was carried out in the work.

Keywords: wind energy, renewable energy source, electricity

Вступ

Енергетика забезпечує економічне зростання не тільки окремих галузей, але й усїєї країни в цілому. Водночас використання енергетичних ресурсів призводить не тільки до позитивних, але й до значних негативних впливів на здоров'я людей і навколишнє середовище. На жаль, сучасна енергетика сприяє значному обсягу викидів вуглекислого газу, метану, оксидів сірки, оксидів азоту і летких органічних сполук [1].

Результати дослідження

Дослідження показали, що Україна має значний потенціал і великі території, придатні для розвитку відновлюваних джерел, в тому числі й вітрових установок. Найбільш перспективними для будівництва вітроелектростанцій вважаються південні й південно-східні регіони країни, де середня швидкість вітру на висоті осі ротора сягає 7 м за секунду і вище. За рахунок різниці температур Чорного та Азовського морів, що викликає переміщення повітряних мас, на території від Одеської до Херсонської області утворилася так звана «повітряна труба». Гарний вітроенергетичний потенціал мають і Карпати, Івано-Франківська та Львівська області [2, 3].

За останніми оцінками Української вітроенергетичної асоціації (УВЕА) 16 ГВт ВЕС – це реальний потенціал вітроенергетичного сектора України. При забезпеченні коефіцієнта використання встановленої потужності не менше 40%, який підтверджений на практиці нині для працюючих ВЕС у Запорізькій, Херсонській та Миколаївській областях, – річні обсяги генерування електроенергії ВЕС можуть становити 56 млрд. кВт·год.

Щодо вартості будівництва вітроелектростанцій «під ключ», то вона коливається в межах \$1400-1700 за 1 кВт. Згідно з прогнозами УВЕА, до 2050 р. ця вартість може скоротитися більш як на 20% [4].

Отже, вітроенергетика України останнім часом набула достатнього досвіду проектування, виробництва й експлуатації вітроенергетичних установок. Для розвитку вітроенергетичного сектору використовується державна підтримка. На сьогодні в Україні діє «зелений» тариф на електроенергію, вироблену відновлюваними джерелами. Крім того, впроваджується система підтримки ВДЕ у вигляді спеціальних аукціонів.

В той же час, хотілось би зазначити, що існує низка проблем, пов'язаних з використанням відновлюваних джерел енергії в розподільних електричних мережах. І досить часто впровадження ВДЕ призводить до збільшення втрат й погіршення показників якості електроенергії. У випадку, коли генерування ВДЕ узгоджене з навантаженням розподільної мережі, ефективність експлуатації останніх підвищується. Надлишкове генерування переважно викликає погіршення техніко-економічних показників енергопостачальних компаній [5].

Таким чином, існує багато технічних задач, пов'язаних з впровадженням ВДЕ (в тому числі й ВЕС), які на сьогодні є недостатньо дослідженими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Повханяч А. Ю. Вітроенергетика як ключовий елемент енергетичної стратегії / А. Ю. Повханяч. // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Вип. 13, част. 2. – 2017. – С. 81-86.
2. Вітроенергетичний сектор України 2018. Огляд ринку. URL: http://uwea.com.ua/uploads/reviews/2018_ua.pdf
3. Використання вітроенергетичних установок для виробництва водню в складі автономних станцій електромобілів на паливних елементах / В. І. Бурдюк, С. О. Кудря, М. О. Бурдюк, В. Ю. Іванчук // Відновлювана енергетика. – 2019. – № 2. – С. 40-46.
4. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук, М. Чепелев, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. ; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьолля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.
5. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.

Чорний Вадим Сергійович – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vad.ttt.999@gmail.com

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

Chorny Vadym S. - graduate student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine; e-mail: vad.ttt.999@gmail.com

Supervisor: **Teptia Vira V.** - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Power plants and electrical system, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: teptyavira@gmail.com

БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показано вплив відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на баланс електроенергії в енергосистемі на прикладі покриття добових графіків електроспоживання. Досліджено можливості використання різного типу електростанцій для резервування нестабільності генерування ВДЕ.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, нерівномірність графіка генерування, баланс електроенергії.

Abstract

The influence of renewable energy sources (RES) on the balance of electricity in the power system is shown on the example of covering daily electricity consumption schedules. Possibilities of using different types of power plants to reserve the instability of RES generation have been investigated.

Keywords: renewable energy sources, uneven generation schedule, electricity balance.

Баланс електроенергії в об'єднаній енергосистемі України в частині генерування формується різними електростанціями:

$$P_{АЕС}(t) + P_{ТЕС}(t) + P_{ГЕС}(t) \pm P_{ГАЕС}(t) + P_{ВДЕ}(t) - P_n(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (1)$$

де $P_{АЕС}(t)$ – потужність атомних електростанцій (АЕС), $P_{ТЕС}(t)$ – потужність теплових електростанцій (ТЕС) і теплоелектроцентралей (ТЕЦ), $P_{ГЕС}(t)$ – потужність гідроелектростанцій, $P_{ГАЕС}(t)$ – потужність гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС), $P_{ВДЕ}(t)$ – потужність ВДЕ, $P_n(t)$ – навантаження трансформаторних підстанцій (ТП), $\Delta P(t)$ – технологічні витрати в електричних мережах.

Баланс потужності розглянемо в порівнянні графіків генерування електричних станцій для покриття електроспоживання в грудні 2019 року і травні 2020 року. Як приклад, розглянемо баланс потужності на 13.00, коли очікується максимальне генерування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема фотоелектричних електростанцій (ФЕС).

Для зручності дані графіків, наведених на рис. 1 і 2, для 13.00 зведемо в табл. 1. Сумарне навантаження електростанцій о 13.00 год. дорівнює: $P_1=20791$ МВт, $P_2=14940$ МВт. Різниця навантажень складає: $20791 - 14940 = 5851$ МВт. Різниця визначена з врахуванням вимушеного закачування води на ГАЕС 924 МВт. Якщо брати «чисто» навантаження споживачів електроенергії, то різниця дорівнює $20721 - 14016 = 6775$ МВт. У відсотках зменшення навантаження складає: $6775/20791 * 100 = 32,6\%$. Відповідно на 6775 МВт або на 32,6% необхідно зменшити генерування електростанцій. Якими електростанціями зменшити?

Зменшення генерування теплоелектроцентралей (ТЕЦ) на 1594 МВт відбулося природним шляхом, закінчився опалювальний сезон. Для гідроелектростанцій (ГЕС) це також не проблема. Як рівнинні вони і так можуть нести повне навантаження всього декілька годин за добу. Щодо теплових електричних станцій (ТЕС), які незначно зменшили генерування (всього на 153 МВт), розглянемо окремо. Таким чином, основне обмеження генерування прийшлося на атомні електричні станції (АЕС) (4183 МВт, це 4 блоки по 1000 МВт). Одночасно, відмітимо, що генерування відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) збільшилося на 1563 МВт або більше ніж у півтора рази. Щоб якось компенсувати зростання генерування ВДЕ в енергосистемі змушені запустити гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС) як споживача 924 МВт в насосному режимі, що дало можливість утримати в роботі один блок АЕС. Відмітимо, що такий режим ГАЕС передбачено тільки в нічний час, коли зменшується електроспоживання і необхідно утримати АЕС у базі графіка навантаження, тобто підтримувати їх навантаження постійним.

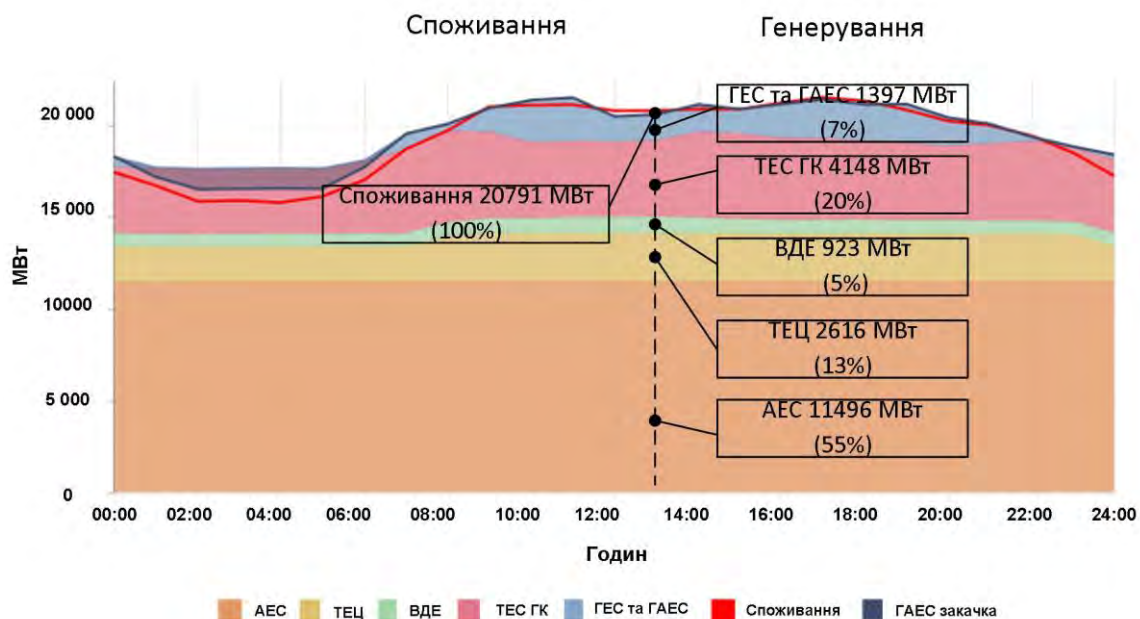


Рисунок 1 – Покриття добового графіка електроспоживання 13.12.2019

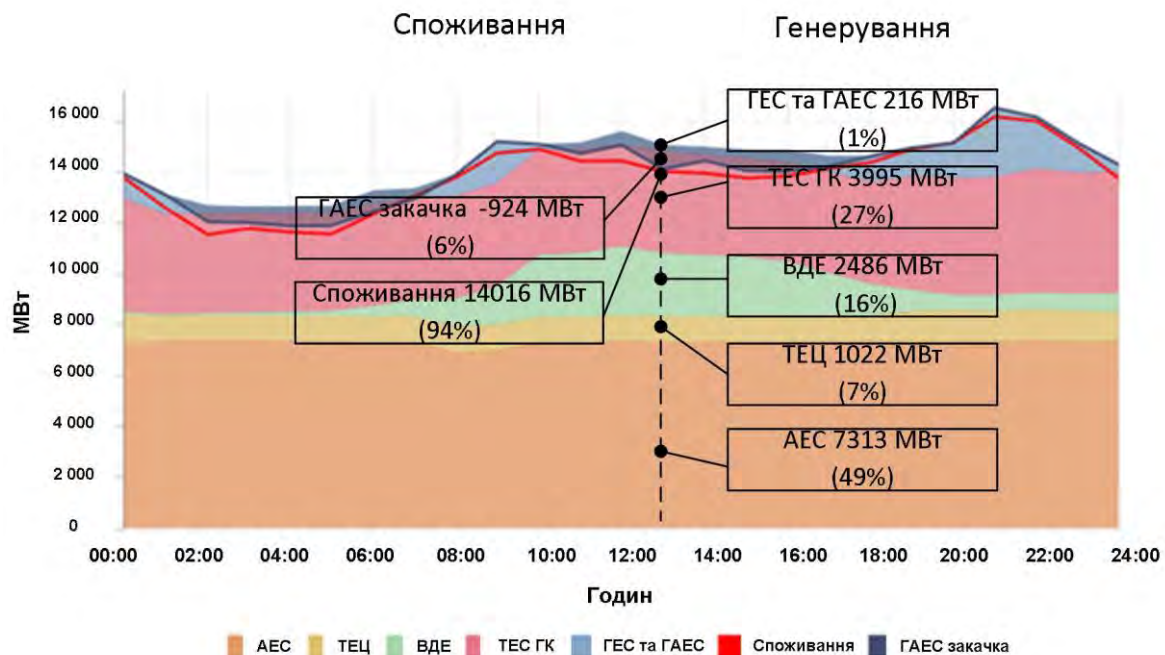


Рисунок 2 – Покриття добового графіка електроспоживання 18.05.2020

Таблиця 1 – Структура балансу активної потужності о 13.00

Графік	Навантаження, МВт	АЕС МВт/%	ТЕЦ МВт/%	ТЕС МВт/%	ГЕС,Г АЕС МВт/%	ВДЕ МВт, %
1	20791	11496/55	2616/13	4148/20	1397/7	923/5
2	14016+924 =14940	7313/49	1022/7	3995/27	216/1	2486/16
Різниця	6775/32,6	4183/36,4	1594/6,9	153/3,7	1181/84,5	+1563/+169

Електрична енергія має таку особливість, що її споживання і генерування мають бути постійно однаковими, бути збалансованими. Оскільки навантаження споживачів електроенергії весь час змінюється, то ці обставини висувають певні умови до електростанцій. Враховуючи також технологічні особливості виробництва електроенергії на різних типах станцій, для них плануються відповідні графіки роботи, за якими вони покривають добовий графік електроспоживання.

АЕС з блоками ВВЕР технологічно не придатні до поточного регулювання потужності. Вони спроектовані так, що виводяться на номінальну потужність і так працюють постійно, тобто знаходяться в базі графіка електроспоживання. Для того, щоб забезпечити для них такий режим роботи, споруджуються накопичувачі електроенергії – Дністровська, Ташликська ГАЕС.

ТЕС конденсаційного типу призначені для виробництва електроенергії та регулювання потужності в досить широкому діапазоні. Мінімально допустимі навантаження блоків ТЕС залежать від їх потужності та від виду палива. Для вугільних блоків це 50–60% від номінальної потужності, а для газомазутних відповідно 30–40% (останні в Україні практично не експлуатуються). Тобто, технічно регульовальний діапазон ТЕС, всередині якого потужності можуть змінюватися автоматично без зміни складу основного і допоміжного обладнання, знаходиться в межах 40–50% від номінальної потужності. У свій час, коли електроспоживання було суттєво більшим, частина ТЕС працювала в базі графіка, а інша була призначена для роботи у змінній частині графіка. На сьогодні АЕС витіснили ТЕС з бази графіка. На ТЕС пок-ладено обов'язки створювати *резерв потужності*, необхідний для забезпечення надійності електропо-стачання споживачів електроенергії. Загальний резерв потужності складається з навантажувального, аварійного і ремонтного, а також компенсації негарантованого генерування.

Ремонтний резерв розділяється на резерв для капітального і резерв для поточного ремонтів. *Навантажувальний резерв* служить для покриття короточасних непланових підвищень і випадкових по-штовхів навантаження. Він складає 1–3% від установленної потужності. *Аварійний резерв* потужності призначений для заміни обладнання, що відключилося. Він має складати 10–12% від установленної потужності. *Резерв негарантованого генерування* це генерування фотоелектричних і вітрових електростанцій (ФЕС і ВЕС), яке залежить від погодних умов. Резерв негарантованого генерування залежить від про-гнозного значення генерування ФЕС і ВЕС на наступну добу і є величиною змінною. В найкращому варіанті, якщо прогноз знаходиться в допустимих межах 10%, то резерв потужності мінімально має бути не менше 10% від максимально прогнозованої потужності на добу.

Таким чином, сумарний резерв мав би складати мінімально 20–25% від середнього електроспожи-вання за добу. В цьому випадку ймовірність обмеження споживачів електроенергії буде мінімальною (так звані віярні відключення мінімізуються).

Особливістю ВДЕ, як сонячних (ФЕС), так і вітрових (ВЕС) електростанцій, є залежність їх генеру-вання від метеопараметрів. Вони не є гарантованими джерелами електроенергії. Потужність їх може змінюватися практично від нуля (немає вітру для ВЕС; ніч, туман, дощові хмари для ФЕС) до номіналь-ної. Очевидно, що для балансування режиму енергосистеми необхідно прогнозувати генерування ВДЕ (за нормативними документами необхідно прогнозувати погодинне генерування на наступну добу). Для ВДЕ характерним було не контрольоване енергосистемами генерування, тобто вся вироблена електро-енергія видавалася в електричні мережі без всяких обмежень. Через те, що з розбудовою ВДЕ це призве-ло, в кінці кінців, до проблем з балансуванням режимів, то тепер розробляються нормативні документи, які упорядковують генерування ВДЕ.

Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування є ряд способів. Зокрема це: узгодження графіків електроспоживання і генерування ВДЕ; накопичувачі електроенергії: гідроелект-ростанції, хімічне акумулювання, водневі технології, біогазові технології та інші способи; використання наявних джерел генерування – в першу чергу блоків теплової генерації з регульовальним діапазоном по потужності 30–50%. На сьогодні в ОЕС України практично єдиним і найбільш дієвим є останній спосіб. Разом з тим, для того, щоб запрацювали способи компенсації нестабільності генерування під час балан-сування режимів енергосистеми, як мінімум, повинен бути розвинутий ринок платних послуг на комер-ційній основі.

Лежнюк Петро Дем'янович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри електричних станцій та сис-тем, Вінницький національний технічний університет

Повстянко Катерина Олександрівна – студентка освітньої програми «Електричні системи і мережі» другого (магістерського) рівня вищої освіти Факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com

Lezhniuk Petro Demyanovych – Dr. tech. Sciences, Prof., Prof. of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsya, email : lezhp@gmail.com

Povstyanko Kateryna Oleksandrivna - student of the educational program "Electrical Systems and Networks" of the second (master's) level of higher education of the Faculty of Power Engineering and Electromechanics of VNTU, Vinnytsia, E-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com

І. Г. Кирисов
П. Ф. Буданов
Е. А. Хом'як
К. Ю. Бровко

ПІДХОДИ ТА ВИМОГИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ РЕЛЬЄФУ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ШАРУ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація

Розглянуті та проаналізовані існуючі моделі сонячного елемента. Аналіз моделей показав, що розрахунок основних електрофізичних параметрів (струм короткого замикання, напруга холостого ходу) приводиться без урахування змін величини площі активної сприймаючій поверхні рельєфу напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача. Це істотно впливає на розрахунок величини вихідної потужності та коефіцієнта корисної дії, а також знижує точність та стабільність вольт-амперної і вольт-ватної характеристик сонячного елемента. Запропоновано розрахунок площі активної сприймаючій поверхні рельєфу напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, проводити на основі моделювання процесів в структурі рельєфу напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, що має фрактальні властивості.

Ключові слова: сонячний елемент, фотоелектричний перетворювач, вольт-амперна характеристика, вихідна потужність, коефіцієнт корисної дії

Abstract

Considered and the analysed existent models of sunny element. The analysis of models showed that a calculation over of basic electrophysics parameters (current of short circuit, tension of idling) was brought without the account of changes of size of area active to the perceiving surface of relief of semiconductor layer of photo-electric transformer. It substantially influences on the calculation of size of initial power and output-input ratio, and also the volt-ampere u volt of wadding reduces exactness and stability descriptions of sunny element. The calculation of area active offers to the perceiving surface of relief of semiconductor layer of photo-electric transformer, to conduct on the basis of design of processes in the structure of relief of semiconductor layer of photo-electric transformer that is fractal characteristics.

Keywords: solar cell, photoelectric converter, volt-ampere characteristic, output power, efficiency

Вступ

Зроблений аналіз зарубіжної та вітчизняної літератури [1-5] показав, що у більшості робіт, досліджуються в основному моделі сонячних елементів (СЕ), в яких вольт-амперні (ВАХ) та вольт-ватні характеристики (ВВХ) фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), залежать від рівня інтенсивності сонячного випромінювання, кута нахилу до сонця і температури. Для опису основних параметрів ФЕП в таких моделях [1-5], досить часто, використовуються численні обмеження і припущення щодо реальної сприймаючої поверхні (РСП) напівпровідникового шару (НПШ) ФЕП. Наслідки цих обмежень і припущень, спостерігаються і у відхиленнях, отриманих для значень ВАХ і ВВХ ФЕП, а також впливають на вихідну потужність (ВП) і коефіцієнт корисної дії (ККД) СЕ. Низька якість і дефекти РСП НПШ ФЕП, впливають на один з основних параметрів СЕ - коефіцієнт заповнення ВАХ, за яким можна судити про якість ФЕП. Таким чином, в результаті того, що в відомих моделях [1-5] не враховується РСП, що значно знижує величину ВП та ККД, тому запропоновано побудова моделі сонячного елемента, з урахуванням фізичних процесів у структурі рельєфу НПШ ФЕП, що має фрактальні властивості, що і є актуальною проблемою.

Результати досліджень

Для підвищення точності ВАХ і ВВХ, які впливають на ВП і ККД СЕ, була запропонована фізична модель, яка дозволяє розглянути фізичні процеси, що впливають на зміни зовнішньої і внутрішньої структури рельєфу НППШ ФЕП.

В роботі показано, що при розрахунках основних електрофізичних параметрів ФЕП таких як: фотострум, напруга і струм навантаження, струм короткого замикання, напруга холостого ходу істотно впливає величина площі активної сприймаючої поверхні рельєфу НППШ ФЕП.

В роботі запропоновано дослідити зміни структури рельєфу НППШ ФЕП та провести його моделювання на основі застосування апарату фрактальної геометрії, що дозволить зв'язати електрофізичні параметри з величинами геометричних параметрів при зміні внутрішньої структури рельєфу НППШ ФЕП, а саме площі активної сприймаючої поверхні.

Висновки

Запропонований підхід щодо застосування апарату фрактальної геометрії для розрахунку геометричних параметрів структури НППШ ФЕП для розрахунку величини площі активної сприймаючої поверхні рельєфу НППШ ФЕП, який дозволяє підвищити точність ВАХ і ВВХ та розрахувати реальну ВП і ККД для СЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Буджак Я.С., Єрохов В.Ю., Мельник І.І. Прогнозування і розрахунок фотоелектричного перетворювача із заданими характеристиками// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011.– № 4/8(52). – С. 24-29.

[2] Левшов А.В., Фёдоров А.Ю., Молодиченко А.В. Математическое моделирование фотоэлектрических солнечных элементов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика» – 2011.– №11(186). – С. 246-249.

[3] Евдокимов В.М., Майоров В.А. Методы расчета и исследование предельных энергетических и тепловых характеристик фотоэлектрических преобразователей солнечного концентрированного излучения // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – Выпуск №1(26). – С. 111-121.

[4] Литвин Н.В., Капустина Н.В., Власова В.Д. Моделирование параметров элементов солнечных батарей // Мониторинг наука и технологи . – 2020.– № 1(43). – С. 40–44.

[5] Шарифов Б.Н., Тергулов Т.Р. Моделирование солнечной панели в программе MATLAB/SIMULINK // Весник УГАТУ . – 2015.– Т.19.– № 4(70),– С. 77–83.

Кирисов Ігор — аспірант кафедри Фізики електротехніки і електроенергетики e-mail: kirisovui1980@gmail.com

Буданов Павло Феофанович — кандидат технічних наук, доцент кафедри Фізики електротехніки і електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія , м. Харків. e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net

Хом'як Едуард — аспірант кафедри Фізики електротехніки і електроенергетики e-mail: eakhomiak@gmail.com

Бровко Костянтин к.т.н., доцент, доцент кафедри Фізики електротехніки і електроенергетики, Української інженерно-педагогічної академії , м. Харків. e-mail: brovkokonstantin@gmail.com

Науковий керівник: **Буданов Павло Феофанович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри Фізики електротехніки і електроенергетики, Українська інженерно-педагогічна академія , м. Харків. e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net

В.Г.Сиченко¹
Є.М. Косарєв³
В.М. Лящук²
С.К. Погожий¹
А.Р. Шарипкін¹
М.М. Пулін⁴

СИНТЕЗ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗПОДІЛЕНОГО ТИПУ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

¹Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту, АТ
«Укрзалізниця»

²Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка Лазаряна

³ТОВ «ЕДС-Проект»

⁴РФ «Львівська залізниця»

Анотація

The paper proposes to develop the laws of software control of energy flows depending on the current situation

Ключові слова: сонячна панель, деградація сонячних панелей.

Abstract

The authors propose to develop the laws of software control of energy flows depending on the current situation

Keywords: solar panel, degradation of solar panels

Задача структурно-параметричного синтезу системи електропостачання залізниці розподіленого типу (СРЖ) включає в себе декілька етапів: визначення мети синтезу та дослідження СРЖ як об'єкта проектування; розробка методів моделювання даної системи; створення методів топологічного синтезу системи, які включають компоновку та раціональне розміщення установок та основних вузлів електрообладнання; розробка, власне, самої системи розподіленого живлення, а саме: вибір кількості пунктів живлення (ПП) і місць їх встановлення; вибір потужності ПП, їх елементної бази та схемотехніки; розробка схеми зовнішнього електропостачання децентралізованої системи; визначення найбільш оптимальних параметрів, з точки зору досягнення сформульованих цілей, а також розробка системи управління для пристроїв розподіленого живлення та отримання числових значень параметрів регуляторів, які забезпечують необхідні динамічні характеристики та досягнення заданих значень показників якості функціонування.

На сьогоднішній день сформовано декілька підходів до побудови СРЖ, але одним з головних векторів розвитку сучасної електроенергетики є еволюційний перехід від централізованої генерації електричної енергії до розподілених смарт-систем генерації, які використовують відновлювані джерела енергії. Їх застосування збільшує маневреність потоків енергії, що призводить до підвищення якості електропостачання в умовах нерівномірних графіків споживання електричної енергії. Застосування розподілених систем генерації та накопичення електричної енергії дозволяє знизити матеріалоемність електроенергетичних систем, збільшити її надійність і живучість за рахунок резервної енергії, запасеної в накопичувачах. Тому сучасна СРЖ – це мультиресурсна система електропостачання методологічною основою якої є структура енергетичного хаба, при цьому оптимальна сукупність технологій і пристроїв для електропостачання конкретної електрифікованої ділянки визначатиметься в кожному випадку окремо з урахуванням її властивостей, місць приєднання джерел генерації, профілю колії, графіка руху поїздів і

т.і. При цьому, при впровадженні швидкісного руху СРЖ повинна забезпечувати не тільки нормований рівень напруги на струмоприймачеві електровоза, а й достатню енергоємність тягової мережі.

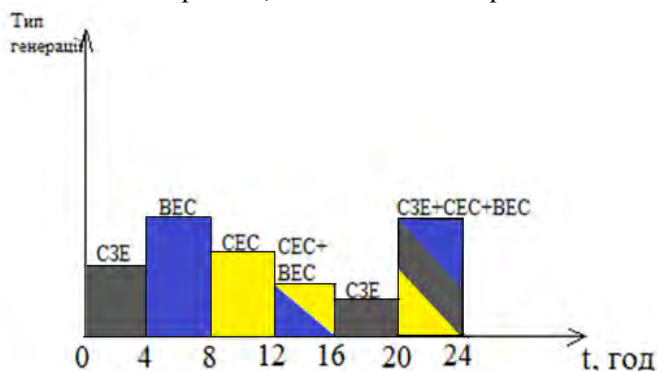


Рисунок 1.

Для забезпечення ж необхідного рівня енергоефективності необхідно обумовити ефективну взаємодію джерел енергії різного типу, як системи зовнішнього електропостачання (СЗЕ), та і джерел розподіленої генерації (ДРГ). Аналіз графіків генерації альтернативними джерелами показує, що рівні продукуюваної енергії змінюються в залежності від пори року випадковим чином, що необхідно враховувати при розробці алгоритму сумісної роботи централізованого та розподіленого живлення. Авторами запропоновано розробляти закони програмного управління потоками енергії в залежності від поточної ситуації, варіант одного з них представлено на рис 1

Віктор Сиченко – д.т.н., с.н.с, доцент, Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту, АТ «Укрзалізниця», м. Київ, E-mail: elpostz@i.ua

Віталій Ляшук – к.т.н., доцент, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка Лазаряна, м. Дніпро.

Євген Косарєв – к.т.н, проєктант, ТОВ «ЕДС-Проект», м. Дніпро E-mail: kossya@yandex.ua

Микола Пулін – Заступник начальника дистанції електроспоживання, РФ «Львівська залізниця», м. Самбір.

Антон Шарипкін – провідний інженер, Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту, АТ «Укрзалізниця», м. Київ, E-mail: sharypkin932017@gmail.com

Сергій Погожий – інженер 1-ої категорії, Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту, АТ «Укрзалізниця», м. Київ, E-mail: everestete@gmail.com

ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ТА СУЧАСНА ЕНЕРГЕТИКА

Луцький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано одне із перспективних відновлювальних джерел - низькопотенційне тепло навколишнього середовища. На прикладі представленої загальної схеми роботи певного теплового насоса показано, як використання тепла навколишнього середовища можна організувати із застосуванням теплових насосів.

Ключові слова: відновлювальні джерела, навколишнє середовище, низькопотенційне тепло, тепловий насос, закон збереження енергії.

Abstract

The paper analyzes one of the promising renewable sources - low-potential heat of the environment. The example of the presented general scheme of operation of a certain heat pump shows how the use of ambient heat can be organized using heat pumps.

Keywords: renewable sources, environment, low-potential heat, heat pump, the law of conservation of energy.

Енергетична криза спонукає до пошуку різноманітних додаткових джерел енергії у зв'язку з обмеженістю природних викопних і видобувних палив і неухильному зростання цін на їх види. Шляхи вирішення енергетичних проблем лежать в різних напрямках. На сьогоднішній день пріоритетними є природні поновлювані джерела енергії (сонце, вітер, річки) та використання низько потенційного тепла навколишнього середовища. Особливе значення приділяється способам отримання максимального коефіцієнта перетворення одного виду енергії в інший.

Енергетична програма на період з 2018 рік по 2040 році базується на виробітку та споживанні більше 40 % світової електроенергії із відновлюваних джерел. Україна планує збільшити цей відсоток у шість разів до 2035 року. Законом України «Про електроенергетику» до 1 січня 2030 року введено поняття «зеленого» тарифу, перераховані альтернативні джерела енергії за цим тарифом, визначено значення «зеленого» тарифу для різних джерел енергії при впровадженні відновлювальних джерел енергії. Одним із перспективних відновлювальних джерел є низькопотенційне тепло навколишнього середовища. Навколишнє середовище насичене тепловою, електричною та електромагнітною енергією досить великих величини. Якщо створити кругообіг цієї енергії з високим коефіцієнтом перетворення, то можна отримати екологічно чистий приріст енергії для використання у всіх сферах енергоспоживання. Використання тепла навколишнього середовища можна організувати із застосуванням теплових насосів. Тепловий насос передає енергію від однієї енергосистеми до іншої. Щоб такий процес передачі енергії відбувся, необхідно від незалежного джерела енергії використати певну енергію і подолати енергію активації. На рисунку 1 показана структура роботи певного теплового насоса. Від незалежного джерела енергії 1 працює тепловий насос 2, який від джерела енергії 4 відбирає енергію і передає її споживачеві 3. Якщо система замкнута, то для такої системи застосуємо закон

збереження енергії. Одночасно працюють три енергосистеми. Результуюча енергія всіх трьох систем з часом не змінюється. Тоді закон збереження енергії представиться у вигляді:

$$E_1 + E_3 + E_4 = \text{const} \quad (1)$$

В даній умові роботи теплового насоса з незалежним джерелом енергії використовуються коефіцієнти: передачі енергії від незалежного джерела енергії k_1 ; з теплового насоса k_2 ; від

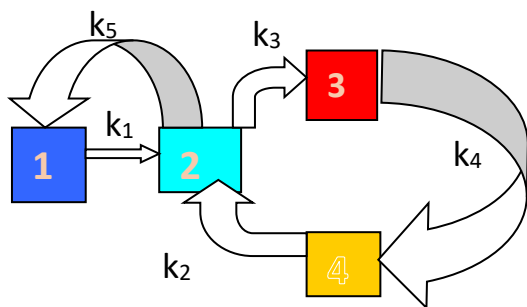


Рис. 1 – Загальна схема роботи теплового насоса: 1 - незалежне джерело енергії; 2 - теплової насос; 3 - споживаюча енергосистема; 4 - забираюча енергосистема

джерела енергії k_3 ; до споживача з k_4 ; від теплового насоса до незалежного джерела з коефіцієнтом передачі k_5 . Тому рівність (1) запишеться:

$$-k_1 E_1 + k_5 k_2 E_4 + k_3 k_2 E_4 - k_4 k_3 k_2 E_4 = const \quad (2)$$

В даний час науковці у всіх напрямках ведуть інтенсивно пошуки в реалізації відкритих енергосистем, які працюють з великими коефіцієнтами перетворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах : монографія / П.Д.Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик. – Вінниця : ВНТУ, 2014 -204с

[2] Современная энергетика. пути и методы развития и применения на транспорте / Л.И. Гречихин, Н.Г. Куць – Луцьк: Л НТУ, Наукові нотатки. - 2010. Вип. 28. - С. 162-165.

[3] Mathematical modeling of operation quality of electric grid with renewable sources of electric energy / P. Lezhnyuk, V. Komar, S. Kravchuk, D. Sobchuk. // Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2017. – 2018. – С. 324–327. doi: 10.1109/MEES.2017.8248923

Добровольська Любов Наумівна— канд. техн. наук, професор, професор кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

Куць Надія Григорівна— канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: nadia86@gmail.com.

Собчук Дмитро Сергійович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, e-mail: sobdim@gmail.com.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ У ENERGY SMART COMMUNITY З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Цифровим моделюванням були дослідженні режими роботи запропонованого перетворювача: живлення навантаження від мережі та сонячної фотоелектричної системи (СФЕС); живлення від СФЕС та генерування енергії в мережу; генерування енергії в мережу, при відключеному навантаженні; живлення від СФЕС.

Ключові слова. Energy Smart Community; розосереджена генерація, сонячна фотоелектрична система, якість струму, релейне керування

Abstract

By digital modeling, the operating modes of the proposed converter were investigated: power supply of the load from the network and photovoltaic system (PV-system) power supply from the PV-system and power generation into the network; generating energy to the network, with the load disconnected; power supply from PV-system.

Keywords: Energy Smart Community; distributed generation, solar photovoltaic system, current quality, relay control

Серед різних відновлюваних технологій енергія вітру і сонячна фотоелектрична енергія є найбільш комерційно реалізованою і широко застосовується в сьогоденних енергетичних парадигмах по всьому світу. Основним економічним фактором, що сприяє впровадженню сонячних батарей є найбільша ставка "зеленого" тарифу.

Energy Smart Community це взаємодія між споживачем, розосередженими джерелами та енергопостачальною компанією, що полягає в підвищенні рівня використання енергії з боку споживача та стабілізації роботи як малих, так і регіональних систем розподілу [1]. Важливим питанням є якість струму в таких системах електропостачання.

Мета роботи – покращення якості електропостачання Energy Smart Community за допомогою перетворювача з схемою керування яка формує синусоїдальний струм та підвищує коефіцієнт потужності до 1.

У якості DC/AC перетворювача пропонується інвертор, який формує трифазну систему струмів синусоїдальної форми з частотою мережі. Система керування обрана релейна, такий принцип керування дозволяє реалізувати граничну швидкодію при відпрацюванні завдання [2]. На відміну від перетворювачів з ШИМ керуванням, спрощується система керування, скорочується кількість регуляторів. Розроблена система керування складається з регуляторів струму, регулятор вхідної напруги U_c . Частота перемикання вентилів близько 200 кГц. Така висока частота дозволяє формувати синусоїду з високою точністю.

На рисунку 1 представлено результати моделювання роботи системи, коли потужність P_{PV} сонячних батарей більша ніж потужність, яка необхідна навантаженню P_n . У цьому режимі залишок енергії віддається в мережу $P_M = P_{PV} - P_n$. Струм споживаний з мережі i_A

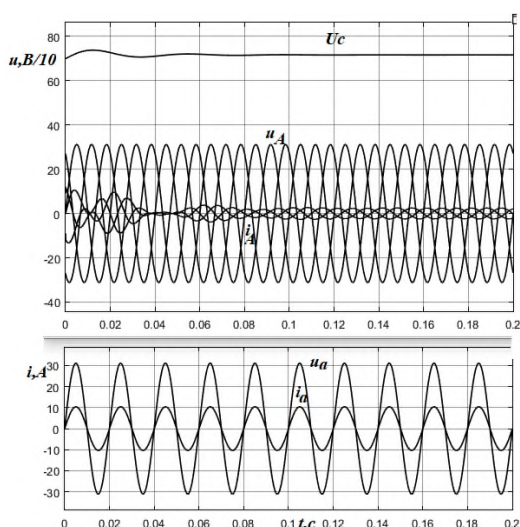


Рис. 1 – Результати моделювання

синусоїдальний в протифазі напрузі мережі u_A , що підтверджує режиму генерування енергії до мережі.

Аналіз гармонік струму мережі показав що коефіцієнт THD 3,41%. Таке значення задовольняє стандартам на якість споживаного струму.

Висновки

Представлено перетворювач для сонячної фотоелектричної системи покращення якості електропостачання Energy Smart Community. Перетворювач з розробленою системою керування забезпечує формування синусоїдального струму з THD менше 5%, що задовольняє стандартам на якість електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Денисюк, С. П. Оцінка та передумови для побудови інтелектуальних енергетичних середовищ на основі фотовольтаїчних систем генерації електроенергії / С. П. Денисюк, П. В. Соколовський // Зб. наук. пр. НУК. – Миколаїв : НУК, 2020. – № 2 (480). – С. 58–67.

[2] Bielokha G. Electromagnetic compliant of voltage source with relay control./ Bielokha G. Samcheleev Yu.// IEEE International Conference «Modern electrical and energy systems” // Кременчуг, КрНУ, 2017 – р 32-36.

Денисюк Сергій Петрович — докт. техн. наук, професор, директор інституту енергозбереження та енергоменджменту.

Дерев'яно Денис Григорович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електропостачання.

Бєлоха Галина Сергіївна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

Виконано аналіз конструктивних особливостей, технічних характеристик та специфіки застосування гравітаційних систем накопичення енергії різних типів, на основі чого обґрунтовано найбільш перспективні з них для застосування в електричних мережах України. Запропоновано критерій для кількісної оцінки ефективності застосування гравітаційних систем накопичення енергії, який враховує технічні й економічні показники роботи систем накопичення та їх вплив на електричні мережі.

Ключові слова: система накопичення енергії, гравітаційний накопичувач, електрична мережа, критерій ефективності, маневровість, графік навантаження, надійність електропостачання.

Abstract

The analysis of constructive features, technical characteristics and specifics of application of gravitational energy storage systems of various types is executed, on the basis of what the most perspective of them for application in electrical networks of Ukraine is grounded. A criterion for quantitative assessment of the efficiency of gravity energy storage systems, taking into account the technical and economic performance of the storage systems and their impact on the electrical networks, is proposed.

Keywords: energy storage system, gravity storage, electrical network, efficiency criterion, flexibility, load schedule, reliability of electricity supply.

Вступ

В даний час в світі активно розвиваються технології акумулювання енергії, в результаті чого стають досить поширеними різні типи систем накопичення енергії (СНЕ), які використовуються в побуті, комунальному секторі, транспортних системах, а також в енергетиці для вирішення великого спектру завдань [1-3]. З огляду на світовий досвід впровадження та експлуатації гравітаційних СНЕ [4-6] можна стверджувати, що такі системи мають певні переваги в порівнянні з іншими, завдяки чому добре зарекомендували себе при роботі в електричних мережах різного класу напруги і мають великий потенціал для використання в Україні.

Метою даної роботи є розробка техніко-економічного критерію ефективності застосування гравітаційних СНЕ для аналізу перспектив їх застосування в електричних мережах України.

Результати досліджень

Виконаний аналіз характеристик, особливостей функціонування та розрахунку основних параметрів, що визначають ефективність роботи, для гравітаційних СНЕ різного типу. З урахуванням особливостей ландшафту, вимог щодо спорудження та умов подальшої експлуатації були виділені типи гравітаційних СНЕ, що мають найкращі перспективи для впровадження в електричних мережах України. Це СНЕ, розміщені у вертикальній шахті, в гірському масиві або котловані, на залізничних коліях, а також гідравлічні.

Визначений вплив кожної з гравітаційних СНЕ, що розглядаються, на режими роботи електричної мережі, а також на навколишнє середовище для різних умов експлуатації. Одержана інформація дає можливість визначати оптимальні параметри для гравітаційних СНЕ різних типів залежно від ряду факторів, серед яких географічні умови, наявність необхідних ресурсів та інших.

Для вирішення завдання порівняння декількох гравітаційних СНЕ різних типів, що можуть експлуатуватись в однакових умовах, доцільно виконати кількісну оцінку ефективності застосування гравітаційних СНЕ в електричних мережах. В якості критерію для порівняння пропонується використовувати техніко-економічний показник, який враховує особливості накопичення і зберігання енергії, а також впливу кожної системи накопичення на електричну мережу і навколишнє середовище:

$$K_{ef}(i) = w_C C(i) + w_{C_{nr}} C_{nr}(i) + w_{\eta_{ES}} \eta_{ES}(i) + w_{E_{ES}} E_{ES}(i) + w_{V_r} V_r(i) + w_{t_{dmax}} t_{dmax}(i) + w_{K_{lsir}} K_{lsir}(i) + w_{\Delta P} \Delta P(i) + \sum_{m=1}^M w_{R_m} \cdot R_m(i), \quad (1)$$

де $C(i)$ – загальні фінансові витрати на впровадження гравітаційної СНЕ i -го типу; $C_{nr}(i)$ – сумарні витрати на обслуговування і ремонт гравітаційної СНЕ в період її експлуатації; $\eta_{ES}(i)$ – КПД гравітаційної СНЕ; $E_{ES}(i)$ – значення накопиченої енергії для СНЕ; $V_r(i)$ – маневровість гравітаційної СНЕ; $t_{dmax}(i)$ – максимальна тривалість розряду СНЕ; $K_{lsir}(i)$ – коефіцієнт нерівномірності графіка сумарного навантаження споживачів в електричній мережі; $\Delta P(i)$ – сумарні втрати електроенергії при передачі споживачам в електричній мережі; $R_m(i)$ – показник надійності електричної мережі; $w_C, w_{C_{nr}}, w_{\eta_{ES}}, w_{E_{ES}}, w_{V_r}, w_{t_{dmax}}, w_{K_{lsir}}, w_{\Delta P}, w_{R_m}$ – вагові коефіцієнти, що враховують важливість відповідних технічних і економічних факторів, що визначають специфіку функціонування гравітаційної СНЕ в розглянутих умовах експлуатації, а також їх вплив на режими роботи електричних мереж.

Використання розробленого критерію ефективності застосування гравітаційних СНЕ дозволило провести розрахунки для аналізу перспектив використання таких накопичувачів в різних регіонах України, яким характерні різні географічні та природні характеристики (рельєф місцевості, наявність водних ресурсів, особливості видобутку корисних копалин та ін.).

Висновки

1. Визначено, що найбільш перспективними для використання в електричних мережах України є гравітаційні СНЕ, розміщені у вертикальній шахті, в гірському масиві або котловані, на залізничних коліях, а також гідравлічні.

2. Розроблено техніко-економічний критерій для кількісної оцінки ефективності застосування гравітаційних СНЕ в електричних мережах, який враховує витрати на створення, підключення та обслуговування кожного типу гравітаційних СНЕ, особливості накопичення і зберігання енергії, специфіку їх впливу на електричні мережі.

3. Визначено діапазони значень розробленого техніко-економічного критерію, що дозволило обґрунтувати доцільність застосування гравітаційних СНЕ конкретного типу в заданих умовах експлуатації, які визначаються географічними, кліматичними, економічними та іншими факторами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Zhang F. Assessment of the effectiveness of energy storage resources in the frequency regulation of a single-area power system / F. Zhang, Z. Hu, X. Xie, J. Zhang, Y. Song // *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 32(5). – 2017. – P. 3373-3380.
- [2] Bauer T. Molten Salt Storage for Power Generation / T. Bauer, C. Odenthal, A. Bonk // *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 93, no. 4. – 2021. – P. 534-546.
- [3] Dovgalyuk O., Saidov S., Yakovenko I. Application of Energy Storage Systems at the Traders Work on the Ukraine Energy Market. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2019, pp. 250-253, doi: 10.1109/MEES.2019.8896474.
- [4] De la Torre S., Aguado J. A., Abreu-Caracuel L. Optimal Operation of an Energy Storage System Based on Gravitational Energy Using a Dedicated Railway System. *2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC46532.2019.8952252.
- [5] Berrada A., Loudiyi K., Gravity Energy Storage. San Diego, USA: Elsevier Science, 2019, 186 p.
- [6] Ruoso A. C. Storage Gravitational Energy for Small Scale Industrial and Residential Applications / A. C. Ruoso, N. R. Caetano, L. A. O. Rocha // *Inventions*, vol. 4. – 2019. – P. 64.

Довгалюк Оксана Миколаївна — кандидат технічних наук, професор, кафедра передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: Dovgalyuk_O@kpi.edu.ua

Яковенко Іван Сергійович — аспірант, кафедра передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: i.c.jakovenko@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Українська інженерно-педагогічна академія

Анотація

В даному дослідженні було проаналізовано перспективу розвитку сонячної енергетики в Україні, її можливе майбутнє, зелений тариф та доцільність встановлення сонячних батарей на території України.

Ключові слова: сонячна енергетика, сонячна електростанція, сонячна батарея, сонячний елемент, зелений тариф, альтернативна енергетика.

Abstract

This study analyzed the prospects for the development of solar energy in Ukraine, its possible future, environmental tariffs and the feasibility of installing solar panels in Ukraine.

Keywords: solar energy, solar power plant, solar battery, solar cell, green tariff, alternative energy.

Вступ

Загалом, станом на кінець I півріччя 2021 року в Україні введено 9225 МВт потужностей, що виробляють електроенергію з відновлюваних джерел, а саме: 6 351 МВт – сонячні електростанції; 1 593 МВт – вітроелектростанції; 933 МВт – СЕС домогосподарств; 119 МВт – потужності на твердому біопаливі; 118 МВт – мала гідроенергетика; 111 МВт – біогазові установки. В Україні працює 15 665 (875 промислові та 14 790 СЕС домогосподарств) об'єктів відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф.

Наша держава входить в десятку країн Європи за темпами розвитку сонячної енергетики, тому ми пропонуємо вам дізнатись більше про 10 найпотужніших СЕС України: Покровська сонячна електростанція 240 МВт, Нікопольська сонячна електростанція 200 МВт, Сонячна електростанція "Яворів-1" 72 МВт, Кам'янець-Подільська сонячна електростанція 63.8 МВт, СЕС Tokmak Solar Energy 50 МВт, Дунайська сонячна електростанція 43.13 МВт, Старокозача сонячна електростанція 43 МВт, СЕС Терновиця 20 МВт, СЕС Modus Group 14 МВт, Калинівська сонячна електростанція 13.5 МВт.

Результати досліджень

Зелений тариф - тариф, за яким оптовий ринок електричної енергії України зобов'язаний закуповувати електричну енергію, вироблену на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії - вироблена лише мікро-, міні-та малими гідроелектростанціями), у тому числі на введених в експлуатацію пускових комплексах. Для приватних домогосподарств, які виробляють електрику з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та / або фасадах приватних домогосподарств (будинків, будівель та споруд), величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт, та які введені в експлуатацію встановлені такі тарифи:

з 01 січня 2016 року по 31 грудня 2016 року – 650,91 коп/кВт·год (без ПДВ);

з 01 січня 2017 року по 31 грудня 2019 року – 619,56 коп/кВт·год (без ПДВ);

з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року – 556,87 коп/кВт·год (без ПДВ).

Тобто, це значить, що оплата по зеленому тарифу стане все більш меншою, але окупність сонячних станцій майже не зміниться, так як, ця технологія стає все більш доступною і дешевою у світі. Як видно з даних більшість території України пристосована для встановлення сонячних електростанцій. Наша країна майже зовсім не відстає від провідних європейських лідерів сонячної енергетики: Німеччина, Італія, Франція. За останні кілька років сонячна енергетика нашої країни, стає все більш популярною серед інших відновлювальних видів енергії. Станом на кінець 2020 року загальна потужність всіх нових сонячних електростанцій склала 6320 МВт, частка СЕС на перший квартал 2021 року загальній генерації України складає близько 6%. Зокрема, планується будівництво СЕС, потужністю 10,6 МВт, на філії «Каскад Київських ГЕС і ГАЕС». Тут встановлять одну літій-іонну акумуляторну батарею, ємністю 46 МВт. Очікується, що інвестиції в проєкт складуть понад 40 мільйонів доларів. Окрім того, в планах Укргідроенерго - зведення сонячної установки на Канівській ГЕС. Її потужність складе 13,5 МВт. Три акумуляторні батареї будуть здатні накопичувати

надлишкову електроенергію, обсягом 22 МВт. Очікуваний обсяг інвестицій – понад 56 мільйонів доларів. Ще одну СЕС, потужністю 6,5 МВт, зведуть на берегах Кременчуцького водосховища. Тут також планують встановити одну акумуляторну батарею, ємністю 60 МВт, загалом інвестувавши у проект понад 47 мільйонів доларів.

В Україні головними трендами 2021 р. стануть активний розвиток домашніх сонячних станцій та комерційних об'єктів для забезпечення власного споживання. За підсумками 2021 р. загальний приріст потужностей сонячних електростанцій в Україні може скласти 6-7%, або 450-520 МВт. За прогнозами експертів, у найближчому майбутньому сонячна енергетика лише нарощуватиме темпи будівництва промислових та приватних станцій. При збереженні нинішніх тенденцій, до 2025 р вона може досягти сумарної потужності 5000 МВт. Втім стрімке зростання сонячної генерації неминуче призведе до проблем з балансуванням енергосистеми, вирішити які допоможе будівництво нових гідроенергуючих потужностей.

Висновки

Згідно з проведених досліджень, маємо такі результати: розташування нашої країни є доволі перспективною для фінансування сонячної енергетики. Також не слід забувати про оплату зеленого тарифа, який хоч з роками і стає меншим, але доволі високий в порівнянні з провідними європейськими країнами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Зелений тариф, впровадження проектів для фізичних та юридичних осіб. Заробіток на альтернативній енергетиці <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>. Дата звернення: 3 жовтня 2021 року

[2] Статистика розвитку відновлюваної електроенергетики на кінець I півріччя 2021 року <https://www.kmu.gov.ua/news/statistika-rozvitku-vidnovlyuvanoyi-elektroenergetiki-na-kines-i-pivrichchya-2021-roku> Дата звернення: 3 жовтня 2021 року

[3] СОНЯЧНІ ПЛАНИ. ЯК В УКРГІДРОЕНЕРГО РОЗВИВАЮТЬ АЛЬТЕРНАТИВНУ ЕНЕРГЕТИКУ https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/sonyachni-plani-yak-v-ukrgidroenergo-rozvivayut-alternativnu-energetiku Дата звернення: 4 жовтня 2021 року

[4] Роз'яснення щодо застосування зелених тарифів https://oook.od.ua/pictures/pdf_files/Розяснення_щодо_застосування_зелених_тарифів_з_01.01.2021_року.pdf Дата звернення: 4 жовтня 2021 року

[5] Найпотужніші сонячні електростанції України. Інфографіка https://www.ukrinform.ua/rubric-other_news/2887951-najpotuznisi-sonacni-elektrostantsii-ukraini-infografika.html Дата звернення: 3 жовтня 2021 року

Кучеренко Іван – студент 3 курсу (бакалаврату), кафедра Фізики електротехніки і електроенергетики, факультет енергетики і автоматизації, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, e-mail: ivkucherenko.1@gmail.com.

Войтенко Сергій — студент 5 курсу (магістратури), кафедра Фізики електротехніки і електроенергетики, факультет енергетики і автоматизації, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, e-mail: voitenkosseerg@gmail.com.

Ю. В. Малогулко
Д. М. Шаргородський
Д. В. Щербатий

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналіз літературних джерел щодо доцільності використання гібридних систем накопичення енергії. Досліджено вартісні показники для трьох типів накопичувачів: акумуляторного, суперконденсаторного і гібридного.

Ключові слова: акумулятор, суперконденсатор, системи накопичення, нетрадиційна енергетика.

Abstract

The work is devoted to the explore of using hybrid energy storage systems expediency. The cost indicators for three types of energy storage systems were explored: accumulator, supercapacitor and hybrid.

Keywords: accumulator, supercapacitor, storage systems, non-traditional energy.

Вступ

В зв'язку зі значним приростом генерування джерел нетрадиційної енергетики, які суттєво залежать від нестабільності погодних умов, а також з урахуванням значного рівня зношеності основного генеруючого обладнання маневрових електричних станцій, серед яких гідроелектростанції та теплові, виникає необхідність впровадження систем накопичення (СН) та подальшого переносу електроенергії [1].

Результати дослідження

На сьогоднішній день створено широкий спектр накопичувачів, побудованих за різними принципами [2-4]. Вони відрізняються між собою як за техніко-економічними показниками, так і за функціональним призначенням. До найрозповсюдженіших відносять - гідравлічні та пневматичні акумулятори, маховики, надпровідні індуктивні накопичувачі, ємнісні та різноманітні електрохімічні накопичувачі.

Інтерес до накопичувачів електроенергії спричинений тим, що ці пристрої є одним з ключових елементів інтелектуальних електроенергетичних систем, в яких СН виконують ряд важливих функцій: вираження графічних навантажень у мережі; демпфування короткочасних коливань активних та реактивних потужностей і частоти; зняття або істотне скорочення нерегулярних коливань в міжсистемних лініях електропередач для підвищення її пропускної здатності; забезпечення безперебійного живлення власних потреб підстанцій та відповідальних споживачів; забезпечення стабільної та стійкої роботи децентралізованих та нетрадиційних джерел, працюючих як автономно, так і в складі енергосистеми.

В результаті аналізу літературних джерел [3-6] було встановлено, що найбільш перспективними для використання в інтелектуальних електроенергетичних системах є СН на основі акумуляторних батарей великої енергоємності, оскільки вони мають можливість реалізації модульного виконання та компактності конструкцій; функціональну гнучкість, що забезпечує реалізацію різних режимів роботи; широкі можливості автоматизації процесів управління та контролю та простоту введення в систему інтелектуальних електричних мереж.

СН на основі натрій - сірчаних акумуляторів мають значний недолік - високий струм саморозряду і низьку питому енергоємність. Що стосується накопичувачів на основі літій-іонних акумуляторів, то такого роду недоліки в них відсутні. Саме, тому до СН з літій-іонними акумуляторами останнім часом підвищений інтерес. Проте подібних пристроїв випущено всього кілька десятків і працюють вони в режимах дослідної експлуатації.

Спираючись на те, що сучасні СН мають суттєві недоліки, які впливають на їх техніко-економічні характеристики, необхідно застосовувати СН, які є гібридними. Гібридні системи

накопичення (ГСН) електричної енергії являють собою складні електротехнічні комплекси, основними елементами яких є накопичувальний елемент у вигляді літій-іонної батареї та суперконденсатора, перетворювача роду струму з постійного на змінний і навпаки, системи керування перетворювачем і системи керування електротехнічним комплексом в цілому.

Системи накопичення енергії одного типу не можуть задовольнити вимоги в реальних умовах, враховуючи потребу в енергії в різних часових масштабах. В результаті цього використання гібридних систем накопичення енергії є одним з раціональних та можливих рішень. Найпоширеніша гібридна система накопичення енергії складається з свинцево-кислотних або літій-іонних батарей та суперконденсаторів [7].

Покажемо залежність (рис. 1) вартості кіловата встановленої потужності від часу безперервної роботи (енергоємності) для трьох типів накопичувачів: акумуляторного, суперконденсаторного (дві червоні пунктирні лінії) і гібридного (з різними поєднаннями енергоємності акумуляторної і суперконденсаторної частин - сині лінії). Лінії ГТУ, ДГУ - питомі вартості газотурбінних і дизельних генераторів з урахуванням паливної складової. Тут параметр $k = t / t_{sc}$ - відношення максимального часу безперервної роботи накопичувача (t) до часу роботи (t_{sc}) суперконденсатора, n - максимально можлива кількість циклів заряду-розряду.

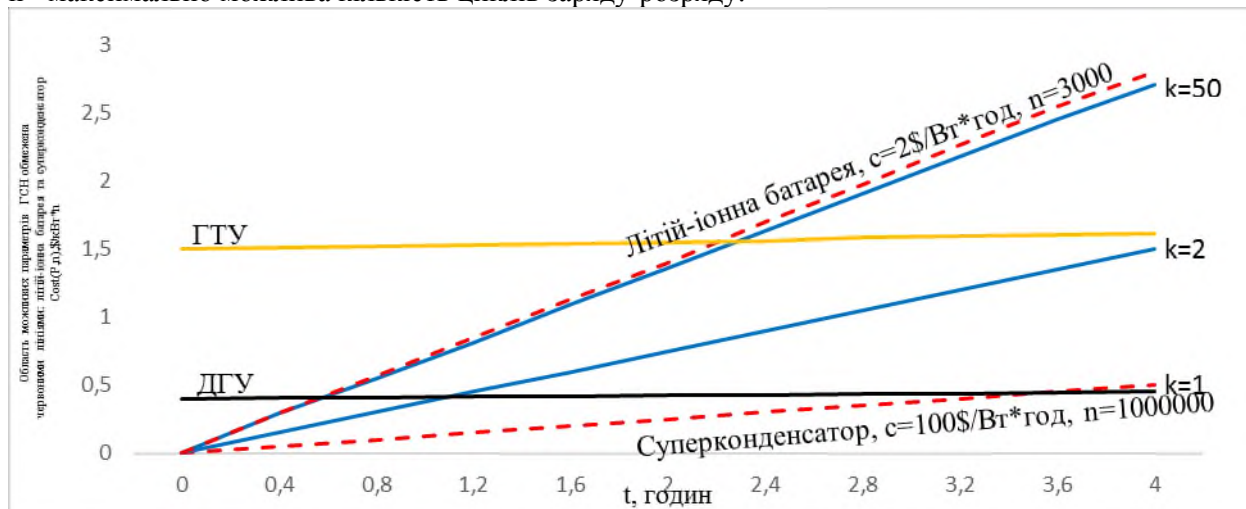


Рис. 1 – Питомі вартості накопичувачів - акумуляторних, суперконденсаторних і гібридних залежно від часу безперервної роботи (ємності)

Як видно з рис.1, застосування накопичувача на основі літій-іонних акумуляторів є економічно виправданим за розряду не більше 1 години в порівнянні з резервною газодизельною електростанцією, і не більше 2 годин порівняно з резервною газотурбінною електростанцією. Аналогічні показники для суперконденсаторного накопичувача виявились в кілька разів кращими. Останнє обумовлено значно більшим ресурсом суперконденсатора. Однак слід також врахувати, що питома енергія суперконденсатора в 20-100 разів нижча, ніж у акумулятора. Звідси випливає, що використання суперконденсаторного накопичувача великої енергоємності в більшості випадків виявляється економічно неприйнятним. Такий накопичувач є занадто великим і важким. На рисунку синіми лініями показані характеристики гібридних систем при різних ступенях гібридизації, які визначаються параметром k . Ступінь гібридизації дозволяє оптимізувати конструкцію накопичувача, варіюючи його вартість і масогабаритні характеристики в залежності від функціональних вимог до накопичувача. Можливість подібної оптимізації є важливою перевагою гібридної схеми.

Висновки

Проведене дослідження і аналіз літературних джерел показав, що при належних умовах застосування систем накопичення енергії, їх основні технічні характеристики - запасена енергія, потужність, що віддається, та час розряду, - не можуть бути реалізовані в ідентичних технічних пристроях. Для вирішення цієї проблеми застосовуються гібридні технології і диференціація систем накопичення енергії за умовами застосування. Зокрема, для забезпечення якості електропостачання практично всіх кінцевих споживачів промислового і приватного сектора запропоновано використовувати гібридні системи накопичення на основі акумуляторів і суперконденсаторів.

Забезпечення якості електропостачання споживачів електроенергії, схильних до аварійних відключень і суттєвих порушень нормативних вимог щодо якості електропостачання внаслідок некоректної роботи живильних електричних мереж та іншого високовольтного обладнання, можливе за рахунок використання ГСН електроенергії кіловольтного та мегаватного діапазонів на основі батарей суперконденсаторів і статичних компенсаторів реактивної потужності, які дозволяють підтримувати необхідний рівень і якість напруги, а також підвищувати пропускну спроможність ліній електропередач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Лежнюк П. Д., Кравчук С. В., Малогулко Ю. В., Прокопенко І. О. Математичне моделювання роботи системи накопичення енергії на ринку допоміжних послуг об'єднаної електроенергетичної системи України. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 2 (8). С. 21-29. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.04.

[2] Susan M. Schoenung and William Hassenzahl Long vs. Short-Term Energy Storage: Sensitivity Analysis. A Study for the DOE Energy Storage Systems Program. SAND REPORT.SAND2007-4253. Unlimited Release Printed July 2007.

[3] Benjamin L. Norris, Jeff Newmiller, Georgianne Peek. NAS® Battery Demonstration at American Electric Power. A Study for the DOE Energy Storage Program. SANDIA REPORT. SAND2006-6740. Unlimited Release. Printed March 2007.

[4] Dai, H. (2010). *A Study on Lead Acid Battery and Ultracapacitor Hybrid Energy Storage System for Hybrid City Bus* (Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), 2010 International Conference on. IEEE, Vol. 1, pp. 154–159).

[5] L., Choi, S. S., & Tseng, K. J. (2011). Design of short-term dispatch strategy to maximize income of a wind power-energy storage generating station. In *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT)* (pp. 1–8).

[6] Режим доступу: <https://dtek.com/ru/media-center/news/dtek-zapustil-pervuyu-v-ukraine-promyshlennuyu-sistemu-nakopleniya-energii/>.

[7] Feng, L., Zhang, J., Li, G. *et al.* Cost reduction of a hybrid energy storage system considering correlation between wind and PV power. *Prot Control Mod Power Syst* 1, 11 (2016). <https://doi.org/10.1186/s41601-016-0021-1>.

Малогулко Юлія Володимирівна — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net.

Шаргородський Денис Миколайович — студент групи 2ЕЕ-19б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: denis.shargorodskij@gmail.com.

Щербатий Данило Вікторович — студент групи 2ЕЕ-19б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: danyashcherbaty@gmail.com.

Науковий керівник: **Малогулко Юлія Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Malogylo Yuliia V. — PhD, Associate professor, department of power stations and systems, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net.

Sharhorodskiy Denys M. — student of 2EE-19b group, electric power and electromechanics faculty, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: denis.shargorodskij@gmail.com.

Shcherbatyi Danylo V. — student of 2EE-19b group, electric power and electromechanics faculty, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: danyashcherbaty@gmail.com.

Supervisor: **Malogylo Yuliia V.** — PhD, Associate professor, department of power stations and systems, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ ТОЧКИ ВІДБОРУ МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено огляд існуючих алгоритмів пошуку точки відбору максимальної потужності сонячним модулем. Було порівняно переваги та недоліки їх використання.

Ключові слова: сонячний модуль, алгоритм, точка відбору максимальної потужності.

Abstract

An overview of existing algorithms for the maximum power point tracking by a solar module is reviewed. The advantages and disadvantages of their use were compared.

Keywords: solar module, algorithm, maximum power point tracking.

Вступ

Останнім часом все більш актуальнішим стає питання використання відновлювальних джерел енергії, зокрема фотоелектричних систем. Одним із способів підвищення ефективності використання таких систем є використання спеціальних пристроїв, які здатні відслідковувати точку відбору максимальної потужності (*maximum power point tracking* - *MPPT*) сонячним модулем. Відслідковування точки відбору максимальної потужності – це спосіб, який використовується для отримання максимальної потужності на виході сонячного модуля. 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.

Результати дослідження

Підхід до обчислення *MPPT* різних виробників та конструкцій інверторів фотоелектростанцій відрізняється [1 – 3], відповідно, відрізняється і їх ефективність, що потребує додаткового дослідження. Існуючі алгоритми відслідковування точки відбору максимальної потужності можна розділити на три групи:

- прямого визначення;
- із використанням зворотних зв'язків;
- гібридні.

До першої групи можна віднести та алгоритми, робота яких полягає у використанні таких методів:

1) пошуку фіксованої робочої точки – полягає у знаходженні напруги чи струму при яких вольт-амперна характеристика сонячного модуля видає максимальну потужність при фіксованих значеннях температури навколишнього середовища та рівня іррадіації.

2) штучних нейронних мереж – як правило використовується 3 шарова нейронна мережа. Вхідними даними є параметри вольт-амперної характеристики сонячного модуля (напруга холостого ходу, струм короткого замикання), температура навколишнього середовища, рівень іррадіації. Вихідними даними нейронної мережі є: опорна напруга, яка потрібна для роботи інвертора напруги в точці (або близько до неї) відбору максимальної потужності. Алгоритм, який використовується для навчання нейронної мережі працює на основі метода зворотного поширення помилки. Навчання нейронної мережі є трудомістким процесом, що є недоліком використання цього методу.

3) нечіткої логіки – перевагою нечіткої логіки є те, що для її використання не потрібна чітка математична модель, хоча такий підхід може зайняти багато часу.

До групи із використанням зворотніх зв'язків можна віднести наступні алгоритми:

1) алгоритм випадкових збурень (*perturb and observe algorithm*)- на практиці зустрічається найчастіше, оскільки є простим в реалізації. Даний алгоритм працює наступним чином: припустимо, що робоча напруга сонячного модуля знаходиться в точці, яка не відповідає точці відбору максимальної потужності. В даному алгоритмі робоча напруга сонячного модуля збільшується або зменшується на невелике значення. Потім вимірюється зміна потужності, яка відбирається перетворювачем від сонячного модуля. Якщо зміна потужності додатня, тоді зміна напруги в тому ж напрямку буде зрушувати робочу точку ближче до точки відбору максимальної потужності. Як тільки зміна напруги призводить до зниження потужності, система починає змінювати її в протилежному напрямку. Таким чином, при досягненні точки максимальної потужності система приходиться в стан динамічної рівноваги. Недоліком використання цього алгоритму є те, що він не може точно визначити момент досягання точки відбору максимальної потужності.

2) алгоритм постійної напруги (струму) (*constant voltage (current) method*) – вимірюється напруга холостого ходу для тимчасово ізольованого сонячного модуля. Потім алгоритм вираховує положення точки максимальної потужності для поточного коефіцієнту пропорційності між робочою напругою точки відбору максимальної потужності і напругою холостого ходу сонячного модуля. Напруга робочої точки відбору максимальної потужності встановлюється до тих пір поки не буде досягнуте значення вирахованого співвідношення. Нелюдіком даного алгоритму є низька точність.

3) алгоритм інкрементної провідності (*incremental conductance method*) – контролер вимірює поступові зміни струму і напруги сонячного модуля для передбачення ефекту зміни напруги. Алгоритм використовує приріст провідності dI/dV сонячного модуля для обчислення знаку зміни потужності по відношенню до напруги. Алгоритм збільшення провідності обчислює точку максимальної потужності, порівнюючи приріст провідності dI/dV з провідністю сонячного модуля I/V . Коли вони однакові $I/V = dI/dV$ – вихідна напруга відповідає напрузі в точці відбору максимальної потужності. Контролер підтримує цю напругу до моменту зміни умов експлуатації, потім процес повторюється. Даний алгоритм має кращу точність порівняно із попереднім і дозволяє вирахувати напрямок в якому буде здійснюватись зміна робочої точки для досягнення точки відбору максимальної потужності сонячним модулем.

Гібридні алгоритми визначення точки відбору максимальної потужності сонячним модулем є найкращими, оскільки поєднують використання нейронних мереж чи фазі-логіки та класичних методів, що дозволяє досягнути високої точності розрахунку.

Висновки

Здійснено огляд існуючих алгоритмів визначення точки відбору максимальної потужності сонячним модулем, наведено їх переваги та недоліки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Kok Soon Tey, Saad Mekhilef. Modified incremental conductance MPPT algorithm to mitigate inaccurate responses under fast-changing solar irradiation level. *Solar Energy*. 2014 – P. 333–342. Ref.: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.003>

[2] S.Gomathy, S.Saravanan, S. Thangavel. Design and implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm for a standalone PV system. *Elixir Electrical Engineering*. – 2012 – P. 11110-11114. Ref.: <http://www.elixirpublishers.com>

[3] K. Kalyan Kumar, R. Bhaskar, Hemanth Koti. Implementation of MPPT algorithm for solar photovoltaic cell by comparing short-circuit method and incremental conductance method. *The 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Procedia Technology*. – 2014 – No. 12. – P 705-715.

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

Корутний Андрій Віталійович — студент групи ЕМ-206, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korutnuyandiy2@gmail.com

Бомбик Вадим – 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

Корутний Андрій – student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korutnuyandiy2@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЗАДАЧАХ БАЛАНСУВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено моделювання технічних можливостей фотоелектричної станції у компенсуванні реактивної потужності в електричній мережі та формуванні оптимального значення її активної і реактивної потужностей.

Ключові слова: фотоелектрична станція, перетоки активної і реактивної потужності.

Abstract

Modeling of technical possibilities of photovoltaic station in compensation of reactive power in an electric network and formation of optimum value of its active and reactive capacities is carried out.

Keywords: photovoltaic station, active and reactive power flows.

Вступ

Зниження втрат електроенергії в електричних мережах як частина загального завдання підвищення економічності й якості енергетичного виробництва є складною комплексною проблемою, що вимагає для свого вирішення системного підходу [11]– [14]. Однією зі складових цієї проблеми є розрахунок та аналіз впливу відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на енергоефективність функціонування розподільних електричних мереж (РЕМ). Особливо це гостро стоїть під час інтенсивної розбудови фотоелектричних станцій (ФЕС) в умовах недофінансування розподільних електричних мереж.

Використання ФЕС в електричних мережах потенційно може покращити їх техніко-економічні показники. Зокрема ФЕС як додаткові джерела енергії можуть сприяти підвищенню структурної і режимної надійності електропостачання.

Результати досліджень

Враховуючи особливості ФЕС доцільним є проведення аналізу можливості використання таких станцій для регулювання перетоків реактивної потужності в електричних мережах, до яких вони приєднані.

Оскільки одним з основних елементів фотоелектричної станції є інвертор, то враховуючи його конструкцію та принцип роботи, можна досягати різних кутів між струмом і напругою, що в електричній мережі буде спричиняти зміну перетоків реактивної потужності.

Для підтвердження цих висновків виконано математичне моделювання в середовищі Simulink Matlab R2018a. За основу взято модель представлену в базі прикладів Matlab – 'power_PVarray_grid_det'. Це модель фотоелектричної станції встановленою потужністю 100 кВт, яка під'єднана до електричної системи значно більшої потужності через електричну мережу 10 кВ. Оскільки ця модель відпрацьовувала лише один з можливих режимів, які реалізують сучасні інвертори, проведено вдосконалення моделі системи керування інвертором для можливості реалізації не лише режиму видачі активної потужності при коефіцієнті потужності рівному одиниці, а також підтримання заданого його значення відмінного від одиниці і підтримання заданого рівня реактивної потужності в точці приєднання ФЕС. Крім цього параметри моделі були змінені у відповідності з параметрами реальної ФЕС для перевірки адекватності моделі, дані по сонячній інсоляції і температурі сонячних панелей взяті для середньостатистичного дня без опадів, значної хмарності та вітру.

На рис. 1а показано результати моделювання режиму підтримання коефіцієнту потужності на

рівні 0,995. Крива 1 відповідає зміні генерованої активної потужності в точці приєднання станції (на стороні 10 кВ трансформатора). Крива 2 відповідає графіку заявленому на передодні у відповідність до закону про ринок електричної енергії. Криві 3 і 4 відповідно зміни діючих значень реактивної потужності і усереднених на годинних інтервалах. Оскільки джерела реактивної енергії в інверторі немає, то такий результат можна пояснити зміною потоків реактивної потужності в електричній мережі в наслідок зміни кута між струмом і напругою в точці приєднання фотоелектричної станції.

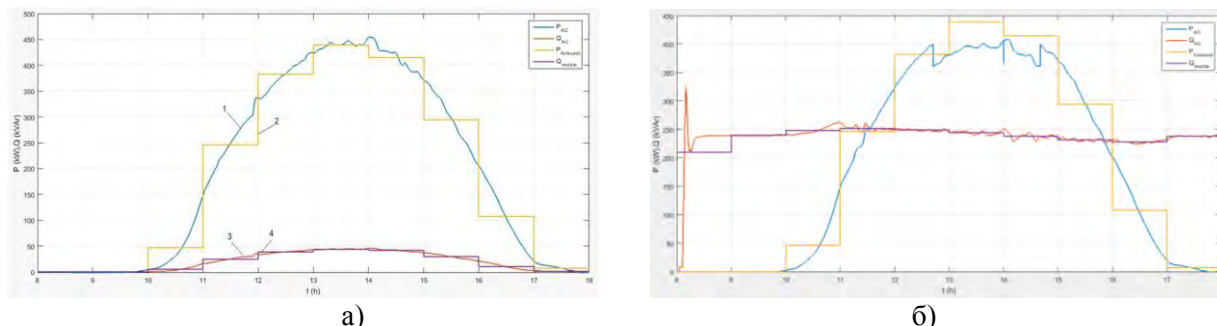


Рис. 1 – Результати моделювання режиму підтримання: а) коефіцієнту потужності на рівні 0,995; б) сталого значення генерованої реактивної потужності

На рис. 1б показано моделювання режиму підтримання сталого значення генерованої реактивної потужності. В результаті моделювання отримано режим, який спостерігається при максимальній генерованій активній і реактивній потужності, коли знижується генерована активна потужність через обмеження максимального струму, який перетікає через інвертор.

Результати моделювання підтверджуються натурними експериментами (режим підтримання коефіцієнта потужності на рівні 1 див. рис. 2а графік активної потужності та рис. 2б графік реактивної потужності)

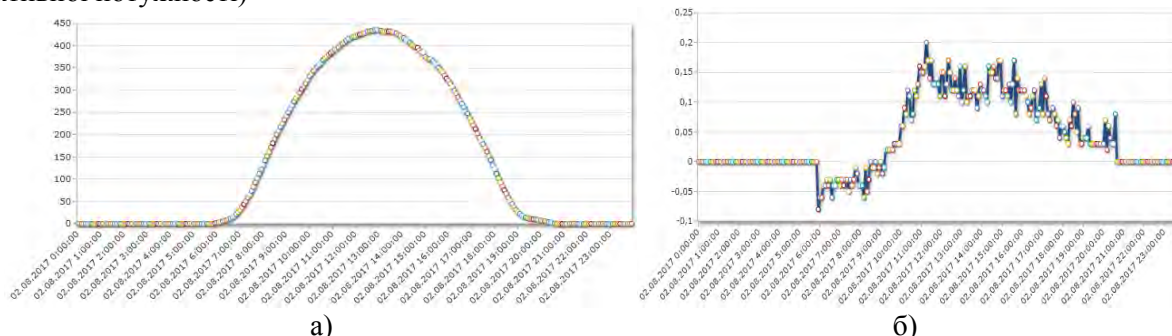


Рисунок 2.10 – Графік зміни: а) активної потужності та б) реактивної потужності

У відповідності до кодексу електричних мереж передбачено регулювання напругою і керування реактивною потужністю в електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії. Розроблена модель компенсації реактивної потужності в електричній мережі і запропонована вдосконалена систему керування інвертором ФЕС дозволяють встановити залежності для підтримання сталого значення генерованої реактивної потужності з заданим коефіцієнтом потужності.

Висновки

Отже, аналіз результатів моделювання підтверджує технічну можливість впливу на перетоки реактивної потужності в електричній мережі з фотоелектричними станціями. Це дозволяє зробити висновки про можливість використання станцій такого типу для підвищення якості електропостачання шляхом впливу на перетікання реактивної потужності. Однак необхідно не забувати про негарантованість цих джерел в об'ємах генерованої потужності в наслідок залежності від природних умов. Крім цього вимоги до станцій такого типу у підтриманні певних режимів по перетіканням реактивної потужності повинні ставитись обгрунтовано виходячи з заявленого графіка по активній потужності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ю.В. Щербина, Н.Д. Бойко, и А.Н. Бутенко, Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях. Киев, Україна: Техніка, 1981.
- [2] Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, и О. В. Савченко, Расчет и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях. Москва, Российская Федерация: ЭНАС, 2008.
- [3] Ю.С. Железко, Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. Москва, Российская Федерация: ЭНАС, 2009.
- [4] Методичні рекомендації визначення технологічних втрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Київ, Україна: Міненерговугілля України, 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.leonorm.com/p/NL_DOC/UA/201301/Nak399.htm

Комар Вячеслав Олександрович — докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: kvo76@ukr.net;

Собчук Наталія Валеріївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: natashasobchuk37@gmail.com;

Сікорська Олена Вікторівна – канд. техн. наук, ст.викладач кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: olenasikorska@ukr.net.

Комар Vyacheslav O. – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Power Plants and Systems Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvo76@ukr.net;

Sobchuk Natalia V. – PhD, Associate professor, Associate Professor of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia: natashasobchuk37@gmail.com;

Sikorska Olena V. - PhD, Senior Lecturer of the Department of Power Plants and Systems Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olenasikorska@ukr.net.

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

¹ АТ «Вінницяобленерго»; ² Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено дослідження з оцінювання впливу дахових СЕС на технологічні витрати електроенергії у розподільних електричних мережах 0,4 кВ. Виявлено, що використання типових значень коефіцієнтів форми графіків навантаження призводить до істотного недорахування втрат електроенергії в мережах 0,4 кВ з СЕС. Збільшення частки корисного відпуску, що покривається СЕС призводить до зростання втрат в мережах завдяки різним графіками генерування СЕС та навантаження. Збільшення частки до 40% гарантовано призводить до збільшення втрат.

Ключові слова: втрати електроенергії, відновлювальні джерела енергії, дахова сонячна електрична станція, коефіцієнт форми.

Abstract

A study was conducted to assess the impact of rooftop solar power plants on the technological losses of electricity in 0.4 kV electrical distribution networks. It is revealed that the use of typical values of shape factor of load schedule leads to a significant underconsumption of electricity losses in the 0.4 kV networks with rooftop solar power plants. The increase of the part of useful leave covered by rooftop solar power plants leads to an increase in network losses due to different schedules of rooftop solar power plants generation and load. Increasing the part of generation to 40% is guaranteed to increase losses.

Keywords: electricity losses, renewable energy sources, rooftop solar power plant, shape factor

Вступ

Зміна клімату є основною передумовою для впровадження сталих рішень з виробництва електроенергії на основі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Швидкий прогрес технологій робить рішення для виробництва та зберігання енергії доступнішими для споживачів та дає їм змогу стати відповідальними учасниками енергетичного процесу. Реальний успіх рішень у сфері енергетики з використанням невичерпних джерел залежить не стільки від технологічної готовності, яка вже значною мірою існує, скільки від усвідомлення споживачами доцільності використання саме ВДЕ. На сьогоднішній день у європейських країнах проводяться активні дослідження стосовно поведінки споживачів під час прийняття рішень щодо використання енергії з відновлюваних джерел шляхом порівняння економічних, екологічних та соціальних переваг. Вже сьогодні у низці європейських країн впроваджуються неекономічні стимули, що відіграють важливу роль [1]. Споживачі готові платити більше за позитивну соціальну норму з використання екологічних інновацій не зважаючи на меншу економічну ефективність рішень [2]. Однією з ключових стратегічних цілей та важливою складовою енергетичної безпеки України є інтеграція її об'єднаної енергосистеми до ENTSO-E. Тому, наведені вище дослідження стають актуальними і для нашої держави.

Збільшення частки ВДЕ у енергобалансі країни в умовах ринку електроенергії з урахуванням соціальних норм, що спрямовані на впровадження екологічних інновацій, актуалізує проблему забезпечення споживача енергією з відновлювальних джерел. Фізично реалізувати процес адресного постачання електроенергії за умов паралельної роботи різнотипних електростанції в системі не можливо. Однак для кожного споживача можливо обґрунтовано оцінити частку електроспоживання, яка забезпечується з відновлювальних джерел. Така задача є динамічною. Постійні зміни навантаження споживачів та генерування ВДЕ, зокрема від метеорологічних умов, призводять до змін у структурі балансу електроенергії в енергосистемі. Зміни структури дохідної частини балансу

електроенергії, а також режимів роботи електромереж операторів систем передачі (ОСП) та розподілу (ОСР) впливають на частку електроспоживання окремого споживача, яка покривається з ВДЕ з урахуванням місць їх приєднання до мереж, а також графіків генерування та споживання.

Дана робота присвячена розробленню методу розрахунку окремих складових перетікань електроенергії у вітках схеми електричної мережі, що зумовлені генеруванням та споживанням у вузлах та, як окремий випадок, оцінювання частки електроспоживання заданого споживача, що забезпечується з відновлювальних джерел енергії. Метод ґрунтується на методах та алгоритмах розрахунку усталених режимів електричних мереж.

Метод визначення частки перетікань потужності у вітках схеми від навантаження (генерування) окремого вузла

Залежності перетікань потужності у окремих вітках від генерування ВДЕ є нелінійними, що ускладнює задачу виокремлення їх із сукупного перетікання. Тут слід враховувати спади напруги у вітках схеми та, відповідно, втрати потужності, що викликані транспортуванням енергії. Для структурування втрат потужності в ЕМ від параметрів її режиму з врахуванням нелінійності, у [3] запропоновано використовувати матрицю коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вигляді (1):

$$\dot{T}_i = (\dot{U}_i M_{\Sigma i}) \hat{C}_i \dot{U}_d^{-1}, \quad (1)$$

де \dot{U}_i – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і базисний; $M_{\Sigma i}$ – i -ий вектор-стовпець матриці інцидентів; \hat{C}_i – i -й вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах \hat{J} по вітках схеми електричної мережі з ВДЕ; \dot{U}_d^{-1} – діагональна обернена матриця напруг у вузлах включаючи і базисний;

Вектор-рядок \dot{T}_i складається з коефіцієнтів, які показують, яку частку в сумарних втратах потужності i -ої вітки зумовлює протікання по ній потужності навантаження кожного вузла.

У виразі (1) перша матриця з'єднань M_{Σ} , складена для всіх вузлів схеми, враховуючи базисний, може бути подана у вигляді суми двох матриць:

$$M_{\Sigma} = M_{\Sigma}^+ + M_{\Sigma}^- \quad (2)$$

де M_{Σ}^+ – матриця, що містить фрагмент матриці з'єднань, елементами якої є нулі та одиниці з знаком “+”; M_{Σ}^- – та ж матриця, але її елементами є нулі та одиниці з знаком “-”.

Для визначення складових перетікань потужності в i -ій лінії за параметрами її кінця вираз (2) можна подати у вигляді:

$$M_{\Sigma}^k = 0 - M_{\Sigma}^- \quad (3)$$

Вираз (3) містить фрагмент матриці з'єднань, елементами якої є нулі та одиниці з додатнім знаком, що для кожної лінії ідентифікують вузол її кінця, або для кожного вузла дають змогу визначити лінії, що закінчуються цим вузлом.

Враховуючи сутність методу структурування втрат потужності (1) [3], після підстановки (3) у (1) замість M_{Σ} , вираз для визначення коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми електричної мережі, які викликаються генеруванням чи споживанням у вузлах набуде вигляду:

$$\dot{A}_i = (\dot{U}_i M_{\Sigma i}^k) \hat{C}_i \dot{U}_d^{-1}, \quad (4)$$

Аналогічно до [3] для визначення перетікань у вітках схеми можна записати:

$$\dot{S}_B = \dot{A} \cdot \dot{S}. \quad (5)$$

де \dot{S}_B – вектор перетікань потужності у вітках схеми; \dot{S} – вектор навантажень та генерування у вузлах схеми.

Помноживши матрицю коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми електричної мережі на діагональну матрицю навантажень та генерування у вузлах схеми отримаємо:

$$\dot{S}_{flow} = \dot{A} \cdot \text{diag}(\dot{S}). \quad (6)$$

Матриця \dot{S}_{flow} має розмірність за кількістю вузлів та віток схеми та вміщує частки перетікань у вітках схеми від навантаження(генерування) кожного вузла. Сума часткових перетікань завжди буде дорівнювати сумарному розрахунковому перетіканню враховуючи зв'язок між (5) та (6).

Виділивши у векторі \dot{S} перелік вузлів приєднання ВДЕ в окремий блок стає можливим для кожної лінії (чи сукупності ліній) визначити її наповнення енергією відновлювальних джерел та напрямок перетікання цієї енергії. Це дає підстави для оцінювання можливості та обсягів покриття навантаження заданого споживача з ВДЕ, що віддають енергію до електричної системи в заданий період часу.

Висновки

Розроблено метод визначення частки перетікань потужності у вітках схеми від навантаження(генерування) кожного окремого вузла. Для врахування нелінійності співвідношення втрат потужності та її перетікань по ЛЕП, метод передбачає використання результатів розрахунку усталених режимів, актуальних для заданого періоду часу. Визначення перетікань потужності у вітках електричної мережі від генерування вузлів, що відповідають вузлам приєднання відновлювальних джерел енергії, дає можливість оцінити обсяги покриття електроспоживання заданого споживача з ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] K. Kotilainen, J. Valta, S. J. Mäkinen and P. Järventausta, "Understanding consumers' renewable energy behaviour beyond "homo economicus": An exploratory survey in four European countries," 2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEM.2017.7981932.

[2] Scheller, Fabian & Graupner, Sören & Edwards, James & Weinand, Jann & Bruckner, Thomas. (2021). Active peer effects in residential photovoltaic adoption: evidence on impact drivers among potential and current adopters in Germany.

[3] Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.

Бурикін Олександр Борисович — канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: mr.burykin@gmail.com

Кулик Володимир Володимирович — докт. техн. наук, доц., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

Малогулко Юлія Володимирівна —кнд. тех. наук, доцент, кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: juliya_malogulko@ukr.net

Грник Владислав Анатолійович — Аспірант кафедри Електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vladgreen14@gmail.com

Burykin Oleksandr Borysovych - Candidate tech. Sciences, Associate Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, mr.burykin@gmail.com

Kulyk Volodymyr Volodymyrivych - Dr. tech. Sciences, Associate Professor, Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, volodymyrvkulyk@gmail.com

Malohulko Yuliia Volodymyrivna - Candidate tech. Sciences, Associate Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, juliya_malogulko@ukr.net

Hrynyk Vladyslav Anatoliiovych - Postgraduate Student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vladgreen14@gmail.com

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано математичну модель з використанням математичного апарату теорії нечітких множин, застосування якої дозволяє прогнозувати термін роботи ізоляції обмоток силового трансформатора в умовах короткочасних навантажень або перевантажень, які мають суттєвий вплив на термін роботоздатності ізоляції.

Ключові слова: математична модель, нечіткі множини, ізоляція обмоток, ресурс.

Abstract

The paper suggests a mathematical model with the use of the fuzzy set theory mathematical apparatus the application of which allows to prognosticate the insulation life of power transformer windings under conditions of short-term loads or overloads that have a significant impact on the insulation life.

Keywords: mathematical model, fuzzy sets, winding isolation, resource.

Вступ

В процесі роботи силові трансформатори енергосистем працюють з нерівномірним навантаженням. Очевидно, що при зростанні навантаження тепловий вплив на обмотки трансформатора збільшується. Перевищення допустимих норм нагрівання обмоток призводить до інтенсивного теплового старіння і, як наслідок, скорочення терміну експлуатації трансформатора.

Відомі підходи, які дозволяють оцінювати теплове старіння обмоток силового трансформатора в умовах сталого навантаження або незначного відхилення від нього [1, 2]. Такі підходи дозволяють досить точно прогнозувати термін вичерпання робочого ресурсу ізоляції трансформаторів.

Набагато складніше оцінювати теплове старіння ізоляції в умовах, коли зростання навантаження або перевантаження носять короткочасний характер. Тобто, процес накиду навантаження уже може закінчитись, а дія виділеного при цьому тепла ще має досить довготривалий характер. І, незважаючи на те, що зазначені накиди навантаження короткочасні, вплив на термін експлуатації ізоляції може бути досить суттєвим.

Існують різні підходи до оцінки такого теплового старіння ізоляції. Одним із найточніших міг би бути метод, оснований на законах теплопровідності, яким враховується передача тепла від його джерела (провідників обмотки, по яких протікає/протікав струм) до поверхні обмоток силового трансформатора з врахуванням впливу системи охолодження [3]. В цьому випадку по кривій нагрівання ізоляції можна опосередковано визначити точки найбільшого підвищення температури, а, отже, точки, за якими можливо прогнозувати вичерпання ресурсу ізоляції.

Вказаний підхід передбачає необхідність цілого ряду розрахунків і ускладнює його застосування із-за необхідності врахування багатьох факторів впливу на трансформатор та його конструктивних особливостей. Очевидно, що для кожного типу трансформатора необхідно здійснювати окремі розрахунки розташування його теплових полів.

Результати дослідження

В дані роботі пропонується підхід, який дозволяє, опираючись на теорію нечітких множин, реалізувати математичну модель, за якою можливо оцінювати теплове старіння обмоток в умовах короткочасних стрибків навантаження. Зазначена математична модель дозволяє враховувати ряд факторів,

таких як струм усталеного навантаження, струм перевантаження, тривалість перевантаження, періодичність перевантажень, температуру охолоджувального середовища, фактори зовнішнього впливу, зокрема, температуру навколишнього середовища, наявність впливу від прямих сонячних променів, вітру, вологості.

Розроблена математична модель дає чітку якісну оцінку залишкового ресурсу ізоляції, але для реального використання необхідно здійснити її налаштування, що і передбачається наступним етапом цієї роботи.

Висновки

В роботі запропоновано математичну модель з використанням математичного апарату теорії нечітких множин, застосування якої дозволяє прогнозувати термін роботи ізоляції обмоток силового трансформатора в умовах короткочасних навантажень або перевантажень, які мають суттєвий вплив на термін роботоздатності ізоляції. Розроблена модель дозволяє якісно оцінити процес старіння ізоляції обмоток силового трансформатора, але для її практичного застосування необхідно здійснити її налаштування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голоднов Ю. М. Контроль за состоянием трансформаторов. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 88 с., ил.
2. Грабко В.В., Березницький Д.О. Математична модель для побудови ресурсних характеристик силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження // Вісник ВПІ. – 2008. - №1. – С.55 - 58.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Изд. 4-е перераб. и дополненное. - М.: "Энергоиздат", 1981. - 415 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, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksanderp020895@gmail.com

Grabko Volodymyr V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

Palanyuk Oleksandr V. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATION OF INSULATION STATE OF POWER TRANSFORMER BASED ON FUZZY SET

СИМЕТРУВАННЯ НАПРУГ І СТРУМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄДНАНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В статті отримано умови симетрування напруг і струмів за допомогою об'єданого регулятора якості електроенергії з використанням комплексних потужностей зворотної послідовності та досліджено помилки симетрування за різних статичних характеристик навантажень за напругою у разі керування за збуренням.

Ключові слова: симетрування навантажень, умови керування за збуренням, статичні характеристики вузлів навантажень за напругою.

Вступ

Одним з найбільш ефективних пристроїв гнучких систем електропередавання є об'єднаний регулятор потоку потужності, що є поєднанням статичного синхронного компенсатора СТАТКОМ і статичного поздовжнього компенсатора, які зв'язані через спільну ланку постійного струму [1]. В останні роки об'єдані регулятори потоку потужності були адаптовані для застосування в розподільних мережах [2, 3]. Об'єднаний регулятор якості електроенергії може компенсувати різні показники погіршення якості електроенергії, такі як: провал, перенапругу, несиметрію, флікер, несинусоїдність. Об'єднаний регулятор якості електроенергії складається з паралельного і послідовного компенсаторів. Послідовний компенсатор повинен компенсувати напругу джерела спотворення, паралельний компенсатор послаблює небажані складові струму навантаження (реактивну складову струму, струми зворотної та нульової послідовностей, гармонічні складники струмів). Крім того, паралельний компенсатор повинен регулювати напругу на шині постійного струму з метою забезпечення компенсуючої здатності об'єданого регулятора якості електроенергії [1 – 4].

Мета роботи полягає в отриманні та дослідженні умов симетрування навантажень за допомогою об'єданого регулятора якості електроенергії та дослідженні помилок симетрування за різних статичних характеристик вузлів навантажень.

Результати дослідження

Умови симетрування струмів за зворотною послідовністю отримують з умов повної або часткової компенсації реактивної складової струму прямої послідовності \dot{I}_1 та обох складових струму зворотної послідовності \dot{I}_2 навантаження (за рівності нулю струму нульової послідовності). Для дійсної та уявної складових фазних струмів компенсатора дістанемо:

$$\begin{aligned}
 I'_a &= -\operatorname{Re} \dot{I}_2; \quad I''_a = -k \operatorname{Im} \dot{I}_1 - \operatorname{Im} \dot{I}_2; \\
 I'_b &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2; \quad I''_b = -k \operatorname{Im} \dot{I}_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2; \\
 I'_c &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2; \quad I''_c = -k \operatorname{Im} \dot{I}_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2.
 \end{aligned} \tag{1}$$

де k – ступінь компенсації реактивної потужності.

Умови симетрування напруг за зворотною послідовністю можна отримати з умов компенсації обох складових напруги зворотної послідовності \dot{U}_2 (за рівності нулю напруги нульової

послідовності). Для дійсної та уявної складових фазних напруг компенсатора дістанемо:

$$\begin{aligned} U'_a &= -\operatorname{Re}\dot{U}_2; \quad U''_a = -\operatorname{Im}\dot{U}_2; \\ U'_b &= \frac{1}{2} \operatorname{Re}\dot{U}_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im}\dot{U}_2; \quad U''_b = \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re}\dot{U}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im}\dot{U}_2; \\ U'_c &= \frac{1}{2} \operatorname{Re}\dot{U}_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im}\dot{U}_2; \quad U''_c = -\frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re}\dot{U}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im}\dot{U}_2. \end{aligned} \quad (2)$$

В якості інформативних параметрів можуть бути використані дійсна та уявна частини комплексних умовних потужностей зворотної послідовності [7 – 9]:

$$\underline{S}_{21} = \frac{1}{2} (\underline{S}_{2p} + \underline{S}_{2q}) = 3\dot{U}_1^* I_2 = \frac{1}{2} \left[\left(\dot{U}_\alpha^* I_\alpha - \dot{U}_\beta^* I_\beta \right) + j \left(\dot{U}_\alpha^* I_\beta + \dot{U}_\beta^* I_\alpha \right) \right]. \quad (3)$$

$$\underline{S}_{12} = \frac{1}{2} (\underline{S}_{2p} - \underline{S}_{2q}) = 3\dot{U}_2^* I_1 = \frac{1}{2} \left[\left(\dot{U}_\alpha^* I_\alpha - \dot{U}_\beta^* I_\beta \right) - j \left(\dot{U}_\alpha^* I_\beta + \dot{U}_\beta^* I_\alpha \right) \right], \quad (4)$$

$$\text{де } \underline{S}_{2p} = 3 \left(\dot{U}_1^* I_2 + \dot{U}_2^* I_1 \right) = \left(\dot{U}_\alpha^* I_\alpha - \dot{U}_\beta^* I_\beta \right); \quad \underline{S}_{2q} = 3 \left(\dot{U}_1^* I_2 - \dot{U}_2^* I_1 \right) = j \left(\dot{U}_\alpha^* I_\beta + \dot{U}_\beta^* I_\alpha \right) -$$

комплексні потужності зворотної послідовності; $\dot{U}_1, \dot{U}_2, I_1, I_2$ – комплексні напруги та комплексні спряжені струми відповідно прямої та зворотної послідовностей; $\dot{U}_\alpha, \dot{U}_\beta, I_\alpha, I_\beta$ – комплексні напруги та комплексні спряжені струми в системі $\alpha\beta$ -координат.

За використання комплексних умовних потужностей зворотної послідовності $\underline{S}_{21} = P_{21} + jQ_{21} = 3\dot{U}_1^* I_2$ та $\underline{S}_{12} = P_{12} + jQ_{12} = 3\dot{U}_2^* I_1$ як інформативних параметрів систем керування вирази складників відповідних миттєвих потужностей можна записати у вигляді:

$$p_{21} = \frac{1}{2} (p_{2p} + p_{2q}) = \frac{1}{2} (u_\alpha - u'_\beta) (i_\alpha + i'_\beta); \quad q_{21} = \frac{1}{2} (q_{2p} + q_{2q}) = \frac{1}{2} (u'_\alpha + u_\beta) (i_\alpha + i'_\beta), \quad (5)$$

$$p_{12} = \frac{1}{2} (p_{2p} - p_{2q}) = \frac{1}{2} (u_\alpha + u'_\beta) (i_\alpha - i'_\beta); \quad q_{12} = \frac{1}{2} (q_{2p} - q_{2q}) = \frac{1}{2} (u'_\alpha - u_\beta) (i_\alpha - i'_\beta), \quad (6)$$

де $u_\alpha, u_\beta, i_\alpha, i_\beta$ – миттєві напруги та струми в системі $\alpha\beta$ -координат; штрихом позначено фазовий зсув миттєвих величин на -90 ел. градусів.

У виразах (5), (6) використано миттєві умовні потужності зворотної послідовності [10–12]

$$p_{2p}(t) = u_\alpha i_\alpha - u'_\beta i'_\beta; \quad q_{2p}(t) = u'_\alpha i_\alpha + u_\beta i'_\beta; \quad (7)$$

$$p_{2q}(t) = u_\alpha i'_\beta - u'_\beta i_\alpha; \quad q_{2q}(t) = u'_\alpha i'_\beta + u_\beta i_\alpha. \quad (8)$$

Висновки

Отримано умови керування об'єднаним регулятором якості електроенергії з використанням комплексних струму та провідностей зворотної послідовності навантаження. Для керування об'єднаним регулятором якості електроенергії можна використати різні умови керування за збуренням. Вибір тієї чи іншої умови залежить від статичних характеристик вузлів навантажень. За будь-якої вибраної умови керування за збуренням повинно доповнюватися керуванням за відхиленням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hingorani, N. G. Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / Hingorani N. G., Gyugyi L. – IEEE Press book, 2000. – 432 p.
2. Fujita, H. The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series- and Shunt- Active Filters / Hideaki Fujita, Hirofumi Akagi // IEEE Transactions on Power Electronics, March 1998, Vol. 13, No. 2.

3. Aredes, M. An universal active power line conditioner / M. Aredes, K. Heumann, E. H. Watanabe // IEEE Trans. on Power Delivery, Apr 1998, Vol. 13, No. 2. – P. 545–551.
4. Unified Power Quality Conditioner for Compensating Voltage Interruption / B.-M. Han, B.-H. Cho, S.-K. Sul and J.-E. Kim // Journal of Electrical Engineering & Technology, 2006, Vol. 1, No. 4. – P. 503–512.
5. Маркушевич Н. С. Качество напряжения в городских электрических сетях [Текст] / Н. С. Маркушевич, Л. А. Солдаткина – М.: Энергия, 1975. – 128 с.
6. Бурбело М. Й. Квазірівноважені частотно-варіаційні вимірювальні системи [Текст] / М. Й. Бурбело. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 225 с.
7. Бурбело М. Й. Роздільне вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, Ю. В. Ільчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Науково-виробничий журнал Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2011. – № 1. – С. 44–46.
8. Бурбело М. Й. Вимірювальні канали для установок динамічної компенсації реактивної потужності та симетрування навантажень / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко, М. В. Никитенко // Вісник НУ “Львівська політехніка” Електроенергетичні та електромеханічні системи, 2010, № 666. – С. 14–18.
9. Бурбело М. Й. Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, М. В. Никитенко // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 2. – С. 54–56.
10. Бурбело М. Й. Визначення потужностей трифазної несиметричної системи з ізольованою нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук. // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 6. – С. 66–70.
11. Бурбело М. Й. Визначення потужностей за несиметричних режимів трифазних мереж із заземленою нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 71–75.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Бурбело Михайло Йосипович – д.т.н., професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Лебедь Денис Юрійович — аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту: 4e15b.lebyd@gmail.com;

Лобода Юрій Васильович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Бабенко Олексій Вікторович — к.т.н., доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;

Войтюк Юрій Петрович — к.т.н., доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: voytyuk@vntu.edu.ua.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. J. Burbelo
D.Y. Lebed
Yu. V. Loboda
O. V. Babenko
Yu. P. Voytyuk

CALMIZATION OF VOLTAGES AND CURRENTS OF DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORKS USING THE COMBINED ELECTRICITY QUALITY REGULATOR

Vinnytsia National Technical University

Abstract

The paper obtains the conditions for balancing voltages and currents using a combined power quality regulator using complex reverse sequence capacities and investigates balancing errors for different static characteristics of voltage loads in the case of perturbation control.

Keywords: load balancing, perturbation control conditions, static characteristics of voltage load nodes.

Burbelo Mykhailo Yo. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Lebed Denys Yu. — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com;

Loboda Yurii V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Babenko Oleksiy V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;

Voytyuk Yuriy P. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: voytyuk@vntu.edu.ua.

**М. И. Бурбело
Д. Ю. Лебедь
Ю. В. Лобода
А. В. Бабенко
Ю. П. Войтюк**

СИММЕТРИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОБЪЕДИНЕННОГО РЕГУЛЯТОРА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Винницкий национальный технический университет

Аннотация

В статье получены условия симметрирования напряжений и токов с помощью объединенного регулятора качества электроэнергии с использованием комплексных мощностей обратной последовательности и исследованы ошибки симметрирования при различных статических характеристиках нагрузок по напряжению при управлении по возмущению.

Ключевые слова: симметрирования нагрузок, условия управления по возмущению, статические характеристики узлов нагрузок по напряжению.

Бурбело Михаил Иосифович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Лебедь Денис Юрьевич — аспирант кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com;

Лобода Юрий Васильевич — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Бабенко Алексей Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;

Войтюк Юрий Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: voytyuk@vntu.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ВІБРОТРАНСПОРТЕРА З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ДЕБАЛАНСНИМ ПРИВОДОМ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано підхід щодо визначення закономірностей споживання електроенергії двигунами вібротранспортера в режимі його пуску, та оцінка впливу характеристик дебалансного механізму на роботу вібраційного електропривода транспортера сипучої продукції.

Ключові слова: вібротранспортер, дебаланс, вібрлоток, асинхронний двигун, частота.

Abstract

The paper proposes a method of tracking the load schedule of a livestock farm, which allows the management of biogas power plants depending on changes in the load without reservation of power for the time of possible displacement of technological operations. The use of the method increases the energy efficiency of the biogas plant and also increases the reliability of the autonomous electricity supply system.

Keywords: livestock farm, load schedule, generator, biogas, autonomous electricity supply.

Вступ

Одним з найбільш перспективних приводів вібраційних машин є асинхронні дебалансні електроприводи, які представляють собою асинхронний електродвигун з встановленими на його валу чи на окремому валу дебалансними вантажами. Недоліком вібраційних машин є різке збільшення амплітуд коливань при проходженні зони резонансу в процесі пуску, резонансні амплітуди можуть значно перевершувати амплітуди коливань при сталому режимі роботи, що є неприпустимим з точки зору нормальної експлуатації, а вихід на синхронний режим може взагалі не відбутись, якщо не виконуються визначені умови [2,3].

Отже метою роботи є визначення закономірностей розподілу споживання електроенергії двигунами вібротранспортера в режимі його пуску, та визначення діагностичного параметра, що характеризує узгодження обертання дебалансів.

Результати дослідження

Диференціальне рівняння руху вібраційного лотка транспортера при рівномірному обертанні вібробуджувачів буде мати вигляд [1]:

$$M \frac{d^2 s}{dt^2} + b \frac{ds}{dt} + k \cdot s = F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1)$$

де M - приведена маса вібрлотка; s - переміщення робочого органу; b - коефіцієнт пропорційний силам тертя та опору повітря; k - жорсткість пружної системи вібрлотка; F_0 - циклічна вимушуюча сила.

Циклічна відцентрова вимушуюча сила, що виникає при обертанні дебалансів буде рівною:

$$F = m_d \cdot e \cdot \omega^2, \quad (2)$$

де m - маса дебалансного вантажу вібробуджувачів; e - ексцентриситет дебалансного вантажу вібробуджувачів; ω - кутова швидкість обертання приводного вала.

Під час запуску двигунів важливо встановити початкове положення дисбалансів. Від їх положення в момент пуску змінюються умови роботи двигунів, через взаємовплив коливального руху дебалансів. В лабораторних умовах здійснено пуск коли дебаланси знаходяться в крайньому нижньому по-

ложенні, та коли вони мають протилежне розміщення, тобто їх центри ваги зміщені на 180° відносно осі валу. Співставивши графіки різниці миттєвих значень струму в режимах пуску при узгодженому та неузгодженому розміщенні дебалансів перед запуском (рис. 1) видно, що при неузгодженому розміщенні дебалансів перед пуском, коливання струму мають набагато більші значення (в 2,5 разів в усталеному режимі).

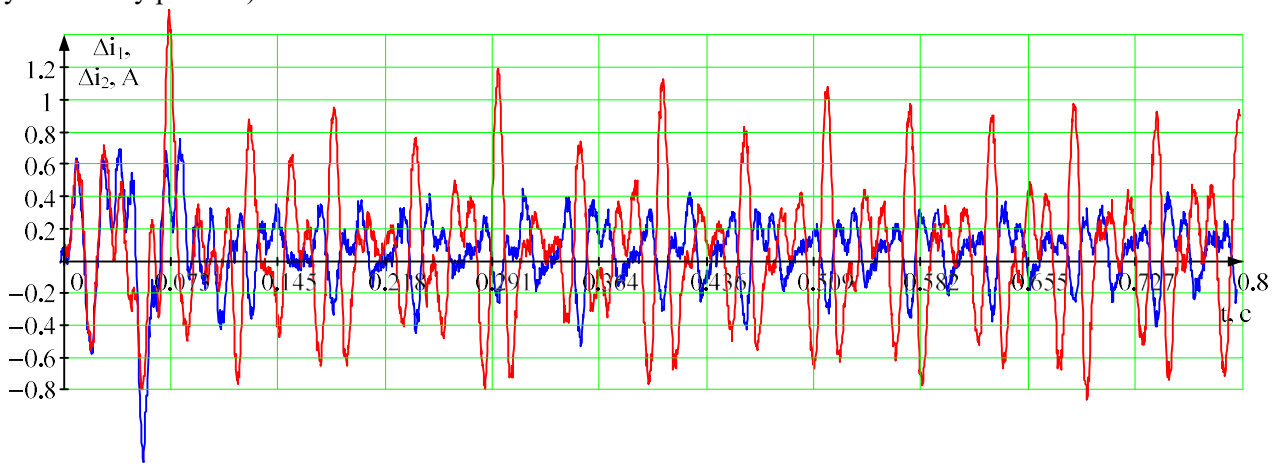


Рис. 1 - Графіки зміни різниці миттєвих значення струмів двигунів в режимах пуску при узгодженому та неузгодженому розміщенні дебалансів перед запуском

В результаті опрацювання даних з використанням дискретного перетворення Фур'є отримано вектор комплексних чисел, які відповідають різним частотам, елементи вектора представлені у вигляді [4]:

$$C_h = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=0}^{n-1} v_k e^{2\pi j(h/n)k}, \quad (4)$$

де, v_k – вектор вимірних значень; n – кількість елементів в v_k ; j – уявна одиниця.

В результаті перетворення Фур'є для кривої різниці миттєвих значень струмів двигунів отримано графік спектральної характеристики (рис. 2), з якого видно, що крім складової з частотою близько 50 Гц найбільш виражені частоти 33,4 Гц та 66,6 Гц, це означає, що на частоту основної гармоніки накладаються протифазні коливання з частотою близько 16,6 Гц зумовлені обертанням дебалансів (f/p , де p - кількість пар полюсів, $p = 3$).

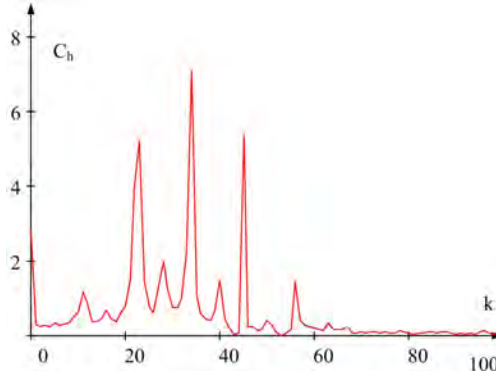


Рис. 2 - Графік спектральної характеристики кривої різниці миттєвих значень струмів двигунів при протилежному розміщенні дебалансів перед пуском

Тобто можна зробити висновок, що в кривих струмів двигунів при пуску дебалансного електропривода будуть присутні крім основної гармоніки ще й додаткові, які зумовлені нерівномірним навантаженням, що створюють дебаланси, та мають частоти кратні частоті їх обертання.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що при протилежному початковому положенні центрів мас дебалансів пікове значення різниць струмів двигунів майже вдвічі більше ніж при їх уз-

годженому положенні. На основі частотного аналізу кривих різниці діючих струмів двигунів встановлено, що найбільшу амплітуду мають складові з частотою 16,6 Гц тобто ті які змінюються із частотою швидкості обертання приводних валів. Також наявна постійна складова, що зумовлена відхиленням параметрів вібробуджувачів. Амплітудне значення частотних складових може виступати діагностичним критерієм синхронної роботи віброприводів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Сухарев Э. А. Основы динамики подъемно-транспортных и дорожно-строительных машин: учебное пособие. Ровно: НУВХП, 2012. 191с.
- [2] Дмитриев В.Н., Гаврилов Е.Н. Переходные процессы резонансных вибрационных машин // Электротехнические комплексы и системы управления. 2011. № 4. С. 52-55.
- [3] Егоров А.В., Комков А.Н., Малиновская Г.Н. К вопросу о взаимном влиянии электроприводов в составе электротехнической системы // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 2. С. 106–112.
- [4] Панферов А.И., Лопарев А.В., Пономарев В.К. Применение Mathcad в инженерных расчетах: учеб. пособие. СПбГУАП, 2004. 88 с.

Igor Igorovich Vasilenko — аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Igor Igorevich Vasylenko - graduate student of the Department of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

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 industry and transport department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Вінницький національний технічний університет

Відомо, що в процесі роботи силові трансформатори енергосистем працюють з нерівномірним навантаженням. Очевидно, що при зростанні навантаження тепловий вплив на обмотки трансформатора збільшується. Перевищення допустимих норм нагрівання обмоток призводить до інтенсивного теплового старіння і, як наслідок, скорочення терміну експлуатації трансформатора.

Існують підходи, які дозволяють оцінювати теплове старіння обмоток силового трансформатора в умовах сталого навантаження або незначного відхилення від нього [1, 2]. Такі підходи дозволяють досить точно прогнозувати термін вичерпання робочого ресурсу ізоляції трансформаторів.

Набагато складніше оцінювати теплове старіння ізоляції в умовах, коли зростання навантаження або перевантаження носять короткочасний характер. Тобто, процес накиду навантаження уже може закінчитись, а дія виділеного при цьому тепла ще має досить довготривалий характер. І, незважаючи на те, що зазначені накиди навантаження короткочасні, вплив на термін експлуатації ізоляції може бути досить суттєвим.

Відомі різні підходи до оцінки такого теплового старіння ізоляції. Одним із найточніших міг би бути метод, оснований на законах теплопровідності, яким враховується передача тепла від його джерела (провідників обмотки, по яких протікає/протікав струм) до поверхні обмоток силового трансформатора з врахуванням впливу системи охолодження [3]. В цьому випадку по кривій нагрівання ізоляції можна опосередковано визначити точки найбільшого підвищення температури, а, отже, точки, за якими можливо прогнозувати вичерпання ресурсу ізоляції.

Вказаний підхід передбачає необхідність цілого ряду розрахунків і ускладнює його застосування із-за необхідності врахування багатьох факторів впливу на трансформатор та його конструктивних особливостей. Очевидно, що для кожного типу трансформатора необхідно здійснювати окремий розрахунок розташування його теплових полів.

В дані роботі пропонується підхід, який дозволяє, опираючись на теорію нечітких множин, реалізувати математичну модель, за якою можливо оцінювати теплове старіння обмоток в умовах короткочасних стрибків навантаження. Зазначена математична модель дозволяє враховувати ряд факторів, таких як струм усталеного навантаження, струм перевантаження, тривалість перевантаження, періодичність перевантажень, температуру охолоджувального середовища, фактори зовнішнього впливу, зокрема, температуру навколишнього середовища, наявність впливу від прямих сонячних променів, вітру, вологості.

Розроблена математична модель дає чітку якісну оцінку залишкового ресурсу ізоляції, але для реального використання необхідно здійснити її налаштування, що і передбачається наступним етапом цієї роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голоднов Ю. М. Контроль за состоянием трансформаторов. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 88 с., ил.
2. Грабко В.В., Березницький Д.О. Математична модель для побудови ресурсних характеристик силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження // Вісник ВПІ. – 2008. - №1. – С.55 - 58.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Изд. 4-е перераб. и дополненное. - М.: "Энергоиздат", 1981. - 415 с.

ПУСКОВІ РЕЖИМИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ОПОРУ ЛІНІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Досліджено можливість застосування модифікованого двигуна з феромагнітними екранами елементів роторного контуру

Ключові слова: електричний привод, асинхронний двигун, момент, пуск

Abstract

The possibility of using a modified motor with ferromagnetic screens of rotor circuit elements is investigated

Keywords: electric drive, induction motor, torque, start

Вступ

Асинхронні електроприводи мають широке застосування в різноманітних галузях. Їх характерними особливостями є значна залежність електромагнітного моменту від величини напруги статора та відносно невелика величина пускового моменту при значній величині пускового струму. В умовах, наприклад, значної довжини лінії низької напруги, до якої підключений асинхронний двигун з короткозамкненим ротором значну роль починає відігравати опір лінії електропостачання, який призводить до додаткового зниження напруги на двигуні. Це падіння напруги буде залежати від величини струму в лінії електропостачання, впливаючи на характеристики електропривода.

Метою роботи є порівняння пускових характеристики електроприводів при використанні серійного та модифікованого з масивними феромагнітними торцевими екранами асинхронних двигунів з короткозамкненими роторами.

Результати дослідження

В роботі досліджені залежності пускових моменту та струму серійного асинхронного двигуна та модифікованої машини з масивними торцевими екранами елементів роторного контуру поза робочим повітряним зазором [1] від величини активного опору лінії електропостачання. Забезпечення пускового моменту, близького до максимального, на природній характеристиці модифікованого двигуна, дозволяє мати пусковий момент не менший, ніж у серійного двигуна на природній характеристиці навіть при введенні додаткового опору лінії, рівного активному опору статорної обмотки. Проте у серійного двигуна за тих же умов пусковий момент стає менше номінального.

В роботі досліджені величини часу пуску електропривода та втрати активної потужності при наявності на валу двигуна навантаження, що створює статичний момент, рівний номінальному моменту двигуна при врахуванні активного опору системи електропостачання, що дорівнював 0,1; 0,5; 1,0 та 1,5 відносно величини активного опору обмотки статора. При збільшенні величини опору лінії втрати енергії та час пуску серійного асинхронного двигуна зростали набагато більше, ніж у модифікованої машини, а при додаткових опорах 1,0 та 1,5 відносно величини активного опору обмотки статора пуск взагалі був неможливий через те, що пусковий момент двигуна був менший ніж статичний момент навантаження.

Висновки

Встановлено, що застосування модифікованого двигуна з феромагнітними екранами елементів роторного контуру забезпечує достатню величину пускового моменту та кращі енергетичні

характеристики при більших значеннях додаткових опорів лінії, ніж в електроприводі з серійним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Красношапка Н.Д. Вплив відхилення напруги на енергетичні показники електроприводів з асинхронними двигунами з масивними феромагнітними екранами / Н.Д. Красношапка, М.В. Пушкар // Електротехнічні комплекси та комп'ютерні системи. – № 22 (98). – 2016. С. 129–133.

Красношапка Наталія Дмитрівна - доцентка кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Пушкар Микола Васильович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Krasnoshapka Natalia D. - Associate Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

Pushkar Mykola V. - Associate Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ КРАНА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комп'ютерну модель підйомної лебідки крана в середовищі MATLAB. Запропонована модель дозволяє отримати коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни ККД механічної передачі при зміні навантажень та напрямку транспортування вантажу.

Ключові слова: підйомна лебідка, кран, моделювання.

Abstract

A computer model of a crane hoist in MATLAB environment has been developed. The proposed model allows to obtain correct results in the entire range of loads, taking into account changes in the efficiency of mechanical transmission when changing loads and the direction of cargo transportation.

Keywords: drawing machine, tap, modeling.

Вступ

Одним із важливих напрямків розвитку сучасного електричного привода (ЕП) є розвиток науково-дослідних робіт по створенню комп'ютерних засобів проектування ЕП. Це дозволить суттєво спростити процес проектування ЕП виробничих механізмів та дасть можливість проводити дослідження їх роботи без шкоди та зношення реального обладнання.

Результати дослідження

Найбільш енергоємним механізмом вантажопідйомних машин, наприклад кранів, є підйомна лебідка (рис. 1). Енергетичні показники ЕП підйомної лебідки визначають головним чином енергетичні показники машини в цілому, а тому питанню проектування ЕП підйомних лебідок слід приділяти належну увагу.

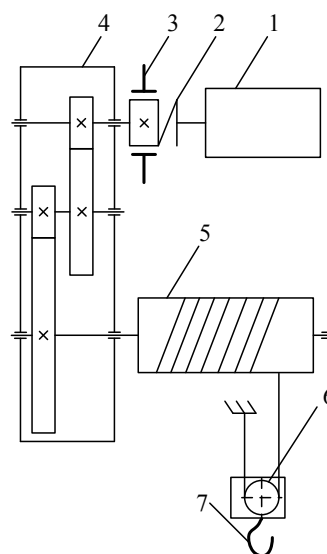


Рис. 1. Кінематична схема підйомної лебідки: 1 – двигун; 2 – муфта; 3 – гальмо; 4 – механічна передача (редуктор); 5 – барабан; 6 – блок поліспастів; 6 – вантажозахватний пристрій

Таким чином, на основі аналізу кінематичної схеми підйомної лебідки крана було розроблено відповідну математичну модель та структуру підйомної лебідки крана, які реалізовано у вигляді елемента бібліотеки Simulink Mathlab.

Використовуючи запропоновану модель виконано моделювання роботи електропривода підйомної лебідки електроталі вантажопідйомністю 2 т. при транспортуванні номінального вантажу. Налаштування моделі та результати моделювання, які збігаються з результатами виконаних аналітичних розрахунків, зображені на рис. 2.

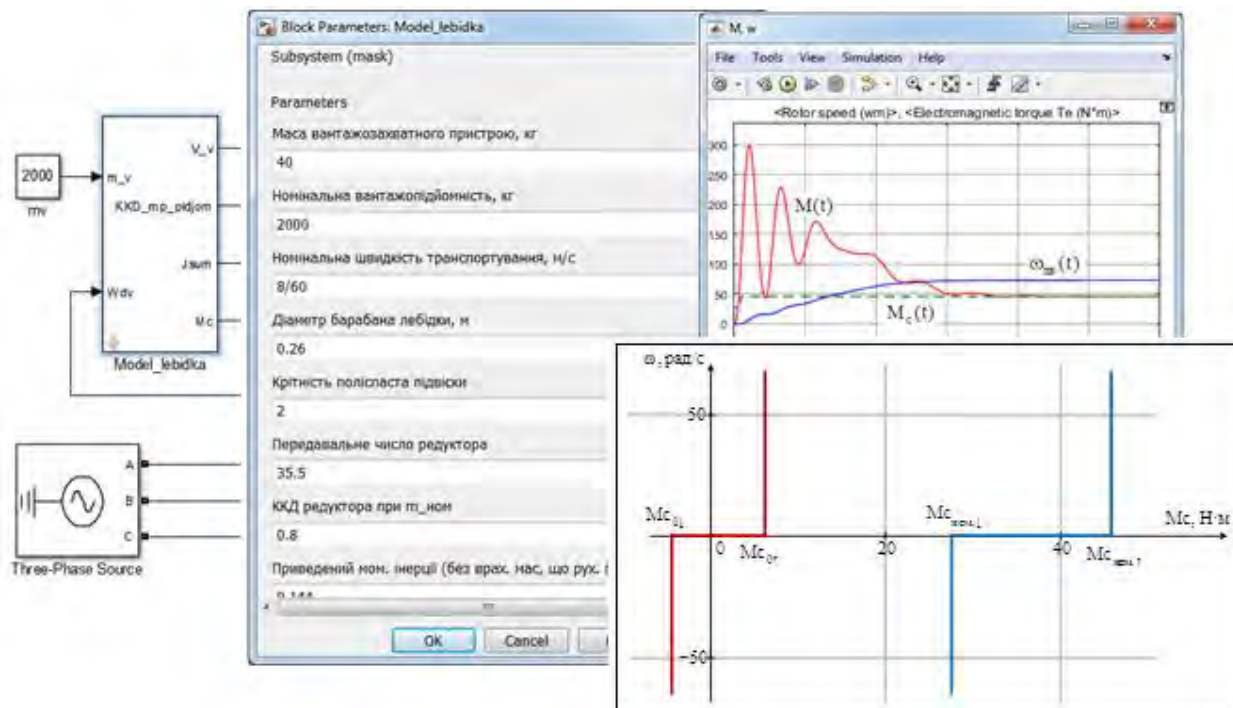


Рис. 2. Моделювання електропривода лебідки електроталі при транспортуванні номінального вантажу

Висновки

Розроблена комп'ютерна модель дозволяє отримати коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни ККД механічної передачі при зміні навантажень та напрямку транспортування вантажу. Використання запропонованої моделі дозволить суттєво спростити процес проектування силового електропривода підйомних лебідок кранів.

Бабій Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: babiy82sm@gmail.com

Павліна Максим Олександрович – студент групи ЕМ-21мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: maks.maks.vedmed@gmail.com

Babiy Sergey Nikolaevich – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Pavlina Maksym Oleksandrovyeh – student of the Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maks.maks.vedmed@gmail.com

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ ВІДПРАЦЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ ЗА ШВИДКІСТЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ШТУЧНІЙ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ КОМПЛЕКСІ МЕТАЛООБРОБКИ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Розглянуто поведінку конвеєру який працює в високо динамічному режимі в металообробному комплексі проведено дослідження зміни амплітуди похибки при різних налаштуваннях системи. Виконано аналіз характеру зміни динамічної похибки по швидкості електромеханічної системи стрічкового конвеєру з векторним керуванням при варіаціях статичного навантаження.

Ключові слова: комплекс, асинхронний двигун, конвеєр, автоматизована лінія, векторне керування; керування швидкістю, кутова швидкість.

Abstract

The analysis of the nature of the dynamic error involvement for the rapid use of the electromechanical system of the belt conveyor with vector control for the options of static loading is performed.

Keywords: complex, asynchronous motor, conveyor, automated line, vector control; speed control, angular velocity.

Вступ

В теперішній час в зарубіжній та вітчизняній практиці все більшу увагу приділяється проблемам створення автоматизованих ліній, в яких технологічні процеси не потребують участь людського фактору[1,2] в числі основних ланок цієї лінії є механізми для переміщення деталей в процесі їх обробки. Одними з найбільш перспективних засобів транспортування є стрічковий конвеєр при використанні векторно керованих асинхронних електродвигунів які мають високі показники точності відпрацювання заданої траєкторії руху і динамічних характеристик електромеханічних систем.

Особливість функціонування процесу руху конвеєра полягає в тому, що збурююча дія від надходження штучного вантажу на тяговий елемент призводять до динамічних похибок по швидкості. При цьому частота їх виникнення може призвести до зриву технологічного процесу. Таким чином для визначення доцільності використання запропонованої електромеханічної системи стрічкового конвеєра досить актуальною є задача проведення дослідження характеру відпрацювання похибки по швидкості при коливанні статичного навантаження.

Результати досліджень

Дослідження виконано на базі електромеханічної системи стрічкового конвеєру, функціональна схема якої надано на рис. 1.

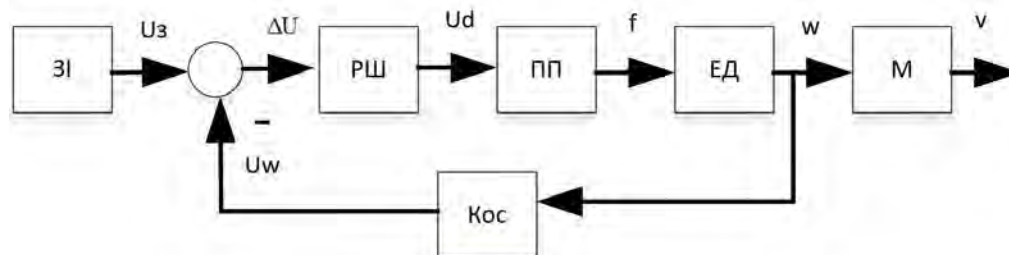


Рис. 1 – Функціональна схема системи керування

На рис.1 представлено: ЗІ-задатчик інтенсивності, РШ-регулятор швидкості, ПП-перетворюючий пристрій, ЕД –електродвигун, М-механізм, Кос-коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю.

З використанням методики [3,4] отримано математичний опис електромеханічної системи конвеєру та за допомогою пакету прикладних програм Matlab сформовано модель для дослідження динамічних режимів роботи конвеєру. Дослідження виконано на базі стрічкового конвеєру з параметрами: довжина 100 м ширина 0.8 м, лінійна швидкість стрічки 0.5 м/с, потужність асинхронного електродвигуна 4кВт. Дослідження виконано для варіанту руху тягового елемента при обробці на технологічній лінії однієї та шести деталей.

Результати досліджень показують що при коливанні статичного навантаження максимальна похибка за швидкістю коливається в межах 0.03% від номінальної швидкості. Час відпрацювання похибки до встановлення заданої швидкості 0.08 с.

Висновки

Результати досліджень показують, що при коливанні частоти надходження збурень від штучного навантаження конвеєру максимальна похибка та час їх відпрацювання дає можливість забезпечити стійкість проходження технологічного процесу при металообробці від однієї до шести деталей одночасно. Таким чином, при побудові лінії автоматизованої металообробки доцільно рекомендувати використання стрічкових конвеєрів з векторно керованими електродвигунами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Development of Moving Equipment for Fishermen's Catches using the Portable Conveyor System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/345412038_Development_of_Moving_Equipment_for_Fishermen%27s_Catches_using_the_Portable_Conveyor_System

[2] Пересада С.М, Ковбаса С.М. «Обобщенный алгоритм прямого векторного управления асинхронным двигателем» // Технічна електродинаміка. -№14. – С. 17-22.

Печеник Микола Валентинович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ", м. Київ.

Бур'ян Сергій Олександрович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ", м. Київ. email : sburyan18@gmail.com

Малиборський Станіслав Олександрович – науковий магістр кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу (АЕМС-ЕП), ФЕА НТУУ "КПІ", м. Київ.

Pechenyk Mykola V. – Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

Buryan Serhiy O. – Associate Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv. email: sburyan18@gmail.com

Maliborsky Stanislav O. – Master of Science of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

РОЗПОДІЛ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ ІЗ АКТИВНИМИ СПОЖИВАЧАМИ НА ДІЛЯНЦІ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено порівняльний аналіз режимів рекуперативного гальмування міського електричного транспорту та запропоновано критерії оцінки енергоефективності цих режимів на ділянках контактної мережі, що дає можливість в цілому підвищити ефективність використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.

Ключові слова: міський електричний транспорт, система електропостачання, рекуперація, контактна мережа, тяговий режим, електричне гальмування.

Abstract

The comparative analysis of the regimens of recuperative inhibition of urban electric transport has been carried out and the criteria for assessing the energy efficiency of these modes in the sites of the contact network, which enables to increase the efficiency of power of electrical brakes of urban electric transport.

Keywords: city electric transport, power supply system, recovery, contact network, traction mode, dynamic braking.

Одним із ключових напрямків зниження електроспоживання міського електричного транспорту є повернення електричної енергії в мережу або передача її в накопичувач енергії при електричному гальмуванні [1]. При такому гальмуванні трамвай (тролейбус) може віддавати в мережу до 40% спожитої ним енергії. Метою роботи є здійснення детального аналізу режимів електричного гальмування міського електричного транспорту (МЕТ) та розробка критеріїв порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань засобів рухомого складу (ЗРС) із врахуванням особливостей чергування режимів їх роботи. Визначено, що вагомим чинником здійснення рекуперативного гальмування із активними споживачами на ділянці контактної мережі є розподіл напруги уздовж контактної мережі. При відсутності рекуперації напруга на струмоприймачах ЗРС, що знаходяться в режимі тяги, завжди є нижчою напруги холостого ходу тягових підстанцій, а при рекуперації вона може бути вищою, як на навантаженнях, так і на шинах тягових підстанцій.

Таким чином, необхідно створити такі умови, при яких енергія рекуперативного гальмування завжди може бути прийнята приймачем із мінімальним часом його роботи. Основне завдання вибору при проектуванні приймача енергії для впровадження в систему тягового електропостачання та місця його розміщення (наприклад, тягова підстанція або ділянка контактної мережі) пов'язана із визначенням ймовірності збігів актів тяги та гальмування. Отримані значення ймовірностей визначають величину надлишкової енергії рекуперації, на основі якої проводяться розрахунки величин струмів, рівнів напруг, об'ємів і часу роботи активного споживача на ділянці контактної мережі. 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] В. И. Сопов, «Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава», *Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ* — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2-е. 126 - 136.

Паянок Олександр Анатолійович — к.т.н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: opayanok@gmail.com

Payanok Oleksandr A. - , Associate Professor, Associate Professor of Department electromechanical automation systems in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email opayanok@gmail.com

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ОБРОБКИ ДРОБУ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі запропоновано конструкцію електромеханічної установки для обробки дробу методом обкатки з продуктивністю 70 кг/год.

Ключові слова: дроб, сферичність, асинхронний двигун.

Abstract

The paper proposes the design of an electromechanical installation for processing for shot processing by running in with a capacity of 70 kg / h..

Keywords: shot, sphericity, induction motor.

Вступ

Свинцевий дріб представляє собою свинцеві відливки, що мають вигляд дрібнозернистих кульок. Вони використовуються, як снаряди для стрільби з гладкоствольної зброї. Свинцевий дріб характеризується чистою відполірованою поверхнею і правильною сферичною формою. Технічні умови виготовлення та сертифікати відповідності обумовлюють високу якість матеріалу.

Результати дослідження

Виробництво свинцевого дробу полягає в використанні методу лиття по ГОСТ 7837-76 із застосуванням первинного свинцю марки С1 і додаткових елементів - миш'яку і сурми. Діаметр дробу варіюється від 1,25 до 5 мм [1].

В процесі обробки дробу методом катання застосовують електромеханічні установки для формування сферичної поверхні, причому енергоефективність процесу у великій мірі залежить від особливостей технології, конфігурації механічних вузлів установки та швидкості обертання робочого органу. Тому актуальною є задача встановлення конструктивних особливостей електромеханічної установки для обробки дробу. На рис. 1 зображено вигляд запропонованої конструкції установки для обробки дробу, що працює із продуктивністю 70 кг/год.

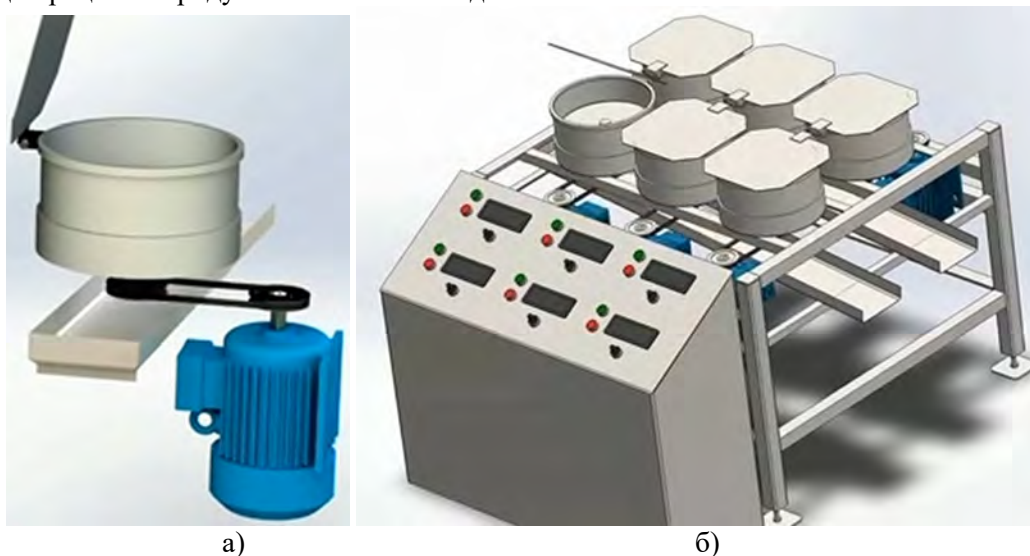


Рис. 1 – Зовнішній вигляд електропривода обкатувального барабана а) та загальний вигляд установки б)

Висновки

Ефективність запропонованої установки засвідчена її практичним використанням для обробки дробу густиною $11,0 \text{ г/см}^3$, при цьому середня сферичність поверхні становить 93,8%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] ГОСТ 7837-76. Дробь охотничья, спортивная и картечь. Технические условия, URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/337/33793.pdf>.

Igor Igorevich Vasilenko — аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Igor Igorevich Vasilenko - graduate student of the Department of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТУРБОМЕХАНІЗМІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КАСКАДНОЇ СХЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ НАСОСІВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Розглянуто поведінку каскадної схеми включення насосів для забезпечення водопостачання будинку з врахуванням гідросистеми при зміні графіку споживання в залежності від пори року з використанням системи стабілізації напору. Виконано аналіз похибки системи стабілізації напору при ступінчастій зміні рівня споживання. Також досліджено характер зміни втрат активної потужності при відпрацюванні добового графіка водоспоживання.

Ключові слова: насос, каскадна схема, насосна установка, система стабілізації, напір, графік споживання, водопостачання.

Abstract

The behavior of the cascade scheme of switching on the pumps to ensure the water supply of the house taking into account the hydraulic system when changing the consumption schedule depending on the season using the pressure stabilization system is considered. The analysis of the error of the pressure stabilization system at the step change of the consumption level is performed. The nature of the change in active power losses during the development of the daily schedule of water consumption was also studied.

Keywords: pump, cascade scheme, pump station, stabilization system, pressure, consumption schedule, water supply.

Вступ

Системи водопостачання широко використовуються як у різних галузях промисловості так і в побуті, вони повинні відповідати вимогам високої надійності та безпеки їх функціонування. Особлива увага приділяється питанням постачання води в житлові будинки. Оскільки споживання житлових будинків не однакове на протязі доби, а також сезону пори року, то виникає задача максимально ефективного перекриття графіку споживання за рахунок регулювання продуктивності насосних установок. В цих умовах актуальною є задача стабілізації напору і забезпечення надійного функціонування гідравлічної мережі (відсутність динамічних перевантажень, виходу з ладу запірної арматури та ін.) [1].

Іншою не менш важливою задачею є забезпечення високого рівня показників енергетичної ефективності роботи електромеханічних систем насосних агрегатів. Одним з перспективних методів вирішення цієї задачі є використання каскадної системи побудови насосної станції що складається з двох увімкнених паралельно насосів [2]. Разом з тим суттєвий вплив на результати досліджень електромеханічних систем насосів робить гідравлічна мережа, параметри якої вказуються з деяким наближенням до реальних. Запропонована модель мережі дає можливість врахувати характер зміни її параметрів та врахувати вплив на статичні та динамічні режими роботи систем водопостачання.

Тому для визначення доцільності використання каскадної схеми включення насосів з системою стабілізації напору та врахуванням параметрів гідросистеми будинку, досить актуальною є задача проведення дослідження динамічних та енергетичних режимів роботи електромеханічної системи насосного агрегату при стабілізації напору гідромережі.

Результати досліджень

Дослідження виконано на базі каскадної схеми включення двох насосів однакової продуктивності, функціональна схема якої наведено на рис. 1.

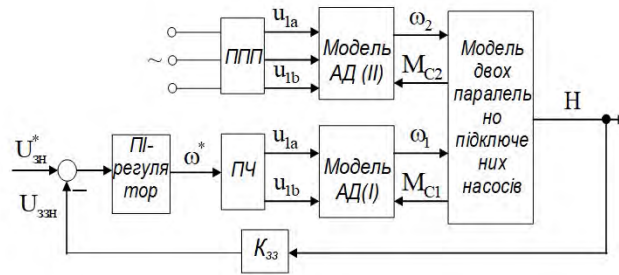


Рис. 1 – Функціональна схема каскадної насосної установки

На рис.1: ППП – пристрій плавного пуску, ПЧ – перетворювач частоти, K_{33} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю. $U_{зн}^*$ – сигнал завдання напору, $U_{зн}$ – сигнал зворотнього зв'язку по напору, ω^* – задана швидкість, ω_1, ω_2 – швидкості першого і другого насосів відповідно, M_{C1}, M_{C2} – статичний момент на валу першого і другого насосів, АД(I) – регульований електропривід, АД(II) – нерегульований електропривід, u_{1a}, u_{1b} – напруги статора по осям а і b двофазної моделі АД(I) та АД(II).

За допомогою бібліотеки SimHydraulics пакету прикладних програм Matlab, була розроблена модель для дослідження динамічних режимів насосної установки. Дослідження було виконано на базі двох насосів при з'єднанні їх паралельно, які забезпечують максимальну продуктивність 3.6 м³/год, і напір 45 метрів, електродвигуни потужністю 1.1кВт. В якості споживача води була використана дванадцятиповерхова будівля висотою 36 метрів. Дослідження було виконане для трьох різних типових ступінчастих графіків споживання води з врахуванням коефіцієнту нерівномірності споживання [3]. Результати досліджень показують, що при ступінчастій зміні споживання, максимальна похибка системи стабілізації тиску не перевищує 4% від заданого значення $H=40$ м. Час відпрацювання похибки для встановлення заданого значення напору не перевищує 0.7 с. Втрати активної потужності не перевищують 20-28% від номінального значення.

Висновки

Результати досліджень показують, що при заданому ступінчастому графіку споживання система стабілізації повністю справляється із поставленою задачею, максимальна похибка і час її відпрацювання дає можливість захистити гідромережу від гідроударів. Таким чином при проектуванні систем водопостачання доцільно використовувати модель каскадної схеми насосного агрегату з уточнювальною моделлю гідромережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] M. Pechenik, S. Burian, H. Zemlianukhina and M. Pushkar, "Investigation of the Hydraulic Pressure Stabilization Accuracy in the Conditions of Water Supply Cascade Pump System Operation," 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 97-100, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160340.
- [2] M. Pechenik, S. Burian, M. Pushkar and H. Zemlianukhina, "Analysis of the Energy Efficiency of Pressure Stabilization Cascade Pump System," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019, pp. 490-493.
- [3] Б.С. Лезнов, Экономия электроэнергии в насосных установках. Энергоатомиздат, 1991. - 18с.

Печеник Микола Валентинович – професор кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ,

Бур'ян Сергій Олександрович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ. email : sburyan18@gmail.com

Худя Ігор Васильович – студент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ.

Pechenyk Mykola V. - Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

Buryan Serhiy O. - Associate Professor of the Department of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv. email: sburyan18@gmail.com

Khudya Ihor V. - student of the department of automation of electromechanical systems and electric drive, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv.

МЕТОДОЛОГІЯ ІНТЕГРАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДВОХОСЬОВОГО ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ В ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ЙОГО СТІЙКОСТІ НА ПОВОРОТАХ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано методологію інтеграції математичних моделей двохосьового електромобіля із усіх трьох представлених типів математичних моделей процесу руху електромобіля для адекватного розв'язання задачі визначення умов неперевертання при проходженні ним поворотів.

Ключові слова: електромобіль, математична модель, інтеграція, рух по заокругленню дороги, умови неперевертання

Abstract

There have been offered the methodology of integration of mathematical models of a two-axle electric car from all three presented types of mathematical models of its motion process for the adequate solution of the problem of determination of non-overturning conditions on moving along a road curve.

Keywords: electric car, mathematical model, integration movement along a road curve, conditions of non-turning.

Вступ

Запропоновано методологію інтеграції математичних моделей процесів руху електромобіля на основі результатів трьох представлених робіт.

Результати досліджень

В роботі [1] – цитуємо: «Побудовано математичні моделі обмежень на лінійну та кутову швидкості двохосьового автомобіля, що забезпечують його рух по заокругленню дороги без заносів та перекидань». Для синтезу математичних моделей у цій роботі використано балансні рівняння для сил та моментів, створюваних цими силами, записані для статичного режиму в детермінованому варіанті.

Автори роботи [2] синтезували математичні моделі для режиму динаміки двохосьового автомобіля у вигляді системи трьох диференціальних рівнянь другого порядку відносно координат руху центра ваги двохосьового автомобіля в горизонтальній площині та кута повороту його повздовжньої осі. Ці моделі синтезовані теж в детермінованому варіанті і не зав'язані на задачу визначення умов неперевертання автомобіля під час проходження поворотів дороги.

Авторами роботи [3] – цитуємо: «Запропоновано математичну модель в просторі лінгвістичних змінних умов неперевертання електромобіля на повороті дороги, яка дає змогу визначити безпечну швидкість проходження електромобілем поворотів дороги». Ця модель враховує невизначеність стану покриття дороги та невизначеність характеристик протектора шин електромобіля, але в неї не заведені динамічні характеристики електромобіля.

Висновки

Отже усі вище згадані моделі характеризують процес руху електромобіля не комплексно, а з пріоритетом однієї із його характеристик та залишенням без уваги усіх інших.

В нашій доповіді запропоновано методологію інтеграції усіх трьох типів математичних моделей, згаданих вище, для адекватного розв'язання задачі визначення умов неперевертання електромобіля при проходженні ним поворотів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] О.Б. Мокін, Б.І. Мокін. «Математичні моделі обмежень на лінійну та кутову швидкості двохосьового автомобіля під час руху по заокругленню дороги» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, с.64-67, 2010.

[2] А.С. Ненайденко, В.И. Поддубный. «Математическое моделирование движения колесной машины в горизонтальной плоскости» *Вестник КрасГАУ*, №3, с.72-77, 2018.

[3] О.Б.Мокін, О.Д. Фолюшняк. «Математична модель в просторі лінгвістичних змінних умов неперевертання електромобіля на повороті дороги» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, с.85-88, 2012.

Науковий керівник: **Мокін Борис Іванович** – академік НАПН України, д-р техн. наук, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bogys.mokin@gmail.com;

Мокін Олександр Борисович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: abmokin@gmail.com;

Горенюк Вадим Вікторович – аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: gvv.ghost@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЩІТОК ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено аналіз сучасного стану та перспектив коригування енергетичного балансу підприємств гірничовидобувної галузі шляхом впровадження джерел розосередженого генерування до систем електропостачання підприємств цієї галузі.

Ключові слова: електродвигун, залишковий ресурс, електричні щітки

Abstract

The synthesis of the device structure was carried out in the paper, which allows to determine the residual brushes of the DC traction motor and to control

Keywords: electric motor, residual life, electric brushes

Надійність роботи тягового електродвигуна постійного струму в значній мірі залежить від функціонування щітково-колекторного вузла [1]. Із загальної кількості відмов тягового електродвигуна постійного струму на даний вузол припадає більше 25% від загальної кількості відмов [2]. Важливим для дослідження є як ресурс щітково-колекторного вузла в цілому, так і ресурс його елементів, в першу чергу електричних щіток.

В роботах [1-5] приведені розрахункові співвідношення, що дозволяють визначати для електричної щітки величину її зношення та швидкість зношення. В них враховані такі основні параметри: коефіцієнти фрикційної, струмової (електрокорозійної) та ерозійної (електроерозійної) складових зношення щітки; середнє значення натиску щітки на часовому проміжку; потужність, яка виділяється під щіткою; швидкість обертання колектора; параметри колектора; струм, що протікає через щітку; енергію іскріння під щітками,

Залишковий ресурс можна визначити як [1, 2]:

$$T_{щ} = \frac{l_{щ} - l_{щ,доп}}{\Delta V_{щ}}, \quad (1)$$

де $l_{щ}$ – довжина щітки; $l_{щ,доп}$ – мінімально допустима довжина щітки; $\Delta V_{щ}$ – швидкість зношення щітки.

Виходячи із зазначених параметрів, було синтезовано структуру пристрою, що дозволяє визначати залишковий щіток тягового електродвигуна постійного струму та контролювати величину й швидкість їх зношення, значення середнього квадратичного відхилення тривалості імпульсів іскріння по колектору, значення середнього квадратичного відхилення тривалості імпульсів іскріння по всім колекторним пластинам, що іскрять, в часі, биття колектора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Rozvodiuk M.P. Monitoring of technical condition of the dc electric motor / Wissenschaft für den modernen Menschen: innovative technik und technologie, informatik sicherheitssysteme, verkehrsentwicklung, architektur. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 4. Teil 4. 2021. – ScientificWorld-NetAkhatAV, Karlsruhe, Germany. – P. 29-38. – DOI: 10.30890/2709-2313.2021-04-04-071. ISBN 29 978-3-949059-12-4. Режим доступу: <https://www.sworld.com.ua/simpge4/sge4-04.pdf>

[2] Харламов В.В. Разработка методики предиктивного анализа ресурса щеток тяговых электродвигателей подвижного состава по условиям эксплуатации / В.В. Харламов, Д.И. Попов, М.Ф. Байсадыков, Д.В. Супоня // Известия Транссиба. – 2021. – №1 (45). – С. 2-11.

[3] Розводюк М. П. Діагностування щітково-колекторного вузла електричного двигуна постійного струму / М.П. Розводюк, К.М. Розводюк // International periodic scientific journal «Modern engineering and innovative technologies». – Issue №11. Part 3. March 2020. – С.32-39. – Sergeieva&Co, Karlsruhe, Germany. DOI: 10.30890/2567-5273.2020-11-01-043

[4] Розводюк М.П. Вимірювання зношення щіток та інтенсивності іскріння колекторних електродвигунів / М.П. Розводюк, К.М. Розводюк, С.В. Кушнір // Тези доповідей І Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 10-12 березня 2021 р. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2021/paper/view/11766>

[5] Байсадыков М.Ф. Разработка метода оценки интенсивности изнашивания и алгоритма прогнозирования остаточного ресурса щеток тяговых электродвигателей / М.Ф. Байсадыков. Автореф. дис. канд. техн. наук за спец. 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения», 2020. – 20 с.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент кафедри ЕМСАПТ, декан факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний університет, м. Вінниця, e-mail: rozvodiukmp@vntu.edu.ua

Розводюк Катерина Михайлівна – студентка Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: rozvodiukkm@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ З АВТОНОМНИМ ХОДОМ

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Анотація

У роботі обґрунтовано необхідність розробки та експлуатації тролейбусів з автономним ходом та запропоновано сучасний засіб діагностування електрообладнання – комплект обладнання розподіленої системи управління

Ключові слова: *технічна діагностики, технічний стан, автономний хід.*

Abstract

The paper substantiates the need for development and operation of autonomous trolleybuses and proposes a modern tool for diagnosing electrical equipment - a set of equipment for a distributed control system.

Keywords: *technical diagnostics, technical condition, autonomous operation.*

Безперервне зростання складності конструкції рухомого складу викликає посилювання норм, допусків і технічних вимог. Наслідком цього є збільшення числа необхідних регулювань і контрольно-профілактичних операцій. Зростання складності технічних пристроїв вимагає підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу і витрат часу на пошук несправностей та їх усунення.

Евристичні методи та індивідуальні професійні способи оцінки технічного стану вузла або агрегату малоефективні, часто не об'єктивні. Найбільш точну оцінку дає технічна діагностика за допомогою спеціальних пристроїв, стендів [1,2].

Актуальність дослідження полягає в необхідності впровадження та застосування сучасних засобів і методів технічної діагностики транспортних засобів, зокрема тролейбусів з автономним ходом. Переваги тролейбусів з автономним ходом перед звичайними – додаткова економія, підвищена маневреність і можливість пересування по маршрутах, що недоступні для інших тролейбусів.

Метою роботи є обґрунтування необхідності впровадження та застосування на підприємствах міського електричного транспорту засобів і методів контролю технічного стану електрообладнання тролейбусів з автономним ходом.

Використання засобів технічної діагностики вузлів і агрегатів транспортних засобів на підприємствах міського електричного транспорту дозволить звільнити людину від одноманітної і важкої фізичної праці, підвищити продуктивність, надійність функціонування технологічного обладнання і якість виконання технічного обслуговування.

У роботі обґрунтовано необхідність розробки та експлуатації тролейбусів з автономним ходом та запропоновано сучасний засіб діагностування електрообладнання – комплект обладнання розподіленої системи управління (система CAN – Controller Area Network).

У місцях монтажу електрообладнання встановлюються мікроконтролери (МК), які з'єднані між собою за допомогою цифрового каналу зв'язку (рис. 1). На кожен блок підключений до джерела живлення. Всі блоки інформують про стан обслуговуваних ними систем і команди іншим блокам з інформаційного каналу і, відповідно, кожен блок управляє своїм обладнанням, знаючи одночасно, що відбувається у всій системі [2].

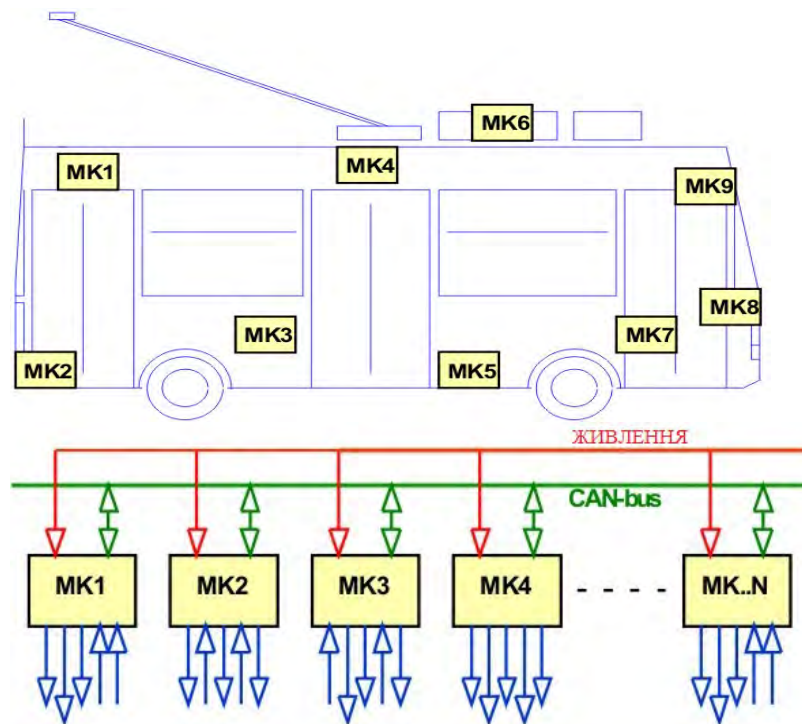


Рисунок 1 – Розподілена система управління в CAN-інтерфейсі

Доцільність практичного застосування того або іншого методу і відповідних засобів діагностики можна оцінити точністю вимірювання, технологічністю операцій діагностування і економічною ефективністю впровадження.

Точність і економічна ефективність визначаються показниками надійності, а технологічність – простотою і зручністю використання, методами та засобами діагностики, стабільністю їх дій і пристосованістю до конкретних умов технічної експлуатації [3].

Таким чином, проаналізовано основні функції і завдання технічної діагностики та доведено, що умови експлуатації і специфіка конструктивного виконання вузлів і агрегатів троллейбусів з автономним ходом позначаються при побудові системи діагностики і технічної реалізації комплексу автоматизованих засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Шавкун В. М. Діагностування тягових електричних машин електротранспорту / В. М. Шавкун // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Вып. 1/7(67). – 2014, С. 48 – 52.

[2] Електронний ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network

[3] Шавкун В. М. Исследование влияния эксплуатационных факторов на параметры нагружения силового электрооборудования троллейбусов / В. М. Шавкун, А. А. Певная, О. Б. Уваров // Научное периодическое издание «OMEGA SCIENCE». – Уфа: 2015. ISSN 2410 – 700X, № 11, в двух частях. Ч. 1, С. 64 – 67.

Микола Хворост – д.т.н., професор, зав кафедри електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків e-mail: met@kname.edu.ua

Вячеслав Шавкун - к.т.н., доцент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків e-mail: vm.shavkun@mail.com

ОГЛЯД МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто методи прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання. А саме: статистичні, детерміновані та комбіновані (ймовірнісно-детерміновані) методи прогнозування.

Ключові слова: прогнозування, електричне навантаження, система електроспоживання, промислове підприємство.

Abstract

There was improved a methods for forecasting electrical loads of power consumption systems. The most statistical, deterministic and combined (probabilistic-deterministic) forecasting methods.

Keywords: forecasting, electric load, power consumption system, industrial enterprise.

Вступ

Загальний стан сучасних методів прогнозування електричних навантажень визначається значною зміною парадигми енергоспоживання. Саме це є основою для можливості ефективного застосування загальних математичних процедур та алгоритмів при розв'язанні задач детермінованого і стохастичного аналізу електромеханічних систем, електропостачання потужних технологічних комплексів, до яких необхідно віднести обладнання промислових підприємств. Перші роботи, присвячені оперативному, короткостроковому, середньостроковому прогнозуванню електричних навантажень, з'явилися у середині минулого століття. Однак і сьогодні потік публікацій у цьому напрямку не зменшується, а методи прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання продовжують стрімко розвиватись. Вище викладене обумовлене, в першу чергу, складністю задач, які пов'язані з безперервним розвитком систем електроспоживання, недослідженістю випадкових процесів, що формують режими їх функціонування.

Результати дослідження

В загальному випадку розглядають наступні види прогнозів:

- годинний прогноз, що застосовується для прогнозування електричного навантаження з терміном до однієї години;
- оперативний прогноз, який використовується для прогнозування погодинного електричного навантаження в межах однієї доби;
- короткостроковий прогноз, використовується для прогнозування добового електроспоживання та погодинного визначення навантажень з тижневим упередженням;
- місячний прогноз, використовується для добового електроспоживання до кінця поточного місяця;
- середньостроковий прогноз, використовується для дослідження питань прогнозування місячного електроспоживання, тижневих та місячних екстремумів (максимумів та мінімумів) електричних навантажень з терміном 1-12 місяців;
- довгостроковий прогноз, використовується для прогнозування з терміном 1-5 років;
- перспективний прогноз, використовується для прогнозування з терміном понад 5 років.

Кожен вид прогнозу потребує власних вхідних даних та особливої методики прогнозування.

Прогнозування є однією з тих задач статистичного аналізу, які є дуже необхідними, але в той же час, дуже складними. Серед методів прогнозування, а таких налічується близько 150, виділяють три групи: статистичні (ймовірнісні); детерміновані (в тому числі алгебраїчні); комбіновані (ймовірнісно-детерміновані).

Статистичні моделі отримали найбільш широке застосування в завданнях прогнозування процесів електроспоживання. Популярність моделей даного типу пояснюється досить високим ступенем адекватності для розв'язання цілого ряду задач теорії і практики прогнозування процесів в енергетиці та інших галузях. Основу статистичних прогнозних математичних моделей

електричних навантажень систем електроспоживання складають різні моделі часових рядів: модель ковзного середнього і зваженого ковзного середнього, модель експоненційного згладжування Брауна, авторегресійна модель, поєднана модель авторегресії ковзного середнього, поєднана модель авторегресії інтегрованого ковзного середнього або Бокса-Дженкінса і інші.

Статистичні моделі, залежно від обліку в них вхідних параметрів зовнішніх чинників, ділять на: однофакторні (облік зовнішніх чинників не здійснюється, а будується замкнута динамічна модель самої вихідної величини) і багатофакторні (динамічна модель має один або декілька зовнішніх впливаючих чинників). Якщо модель часового ряду багатофакторна, то цей факт може позначатися буквою «X» в скороченні її назви (ARX -модель, ARMAX -модель).

Окрім моделей часових рядів при статистичному прогнозуванні використовуються моделі, які базуються на: фільтрах Калмана і Вінера (модель Заде-Рагазіні); спектральних ортогональних розкладаннях, у тому числі Карунена-Лоева; канонічному розкладанні випадкового процесу; багатовимірній регресії; теорії кластерного аналізу; теорії розпізнавання образів, фрактальному аналізу. Усі перелічені статистичні моделі можуть використовуватися під час моделювання окремо, але найчастіше у складі комбінованих ймовірно-детермінованих моделей.

В електроенергетиці є приклади, коли ймовірнісні моделі застосовуються без належного обґрунтування, тобто, коли відсутня можливість отримання представницьких вибірок для побудови математичних моделей і перевірки їх адекватності. У цих випадках ефективно використовувати алгебраїчний, детермінований, а не статистичний підхід до вирішення проблеми прогнозування. Відмінності алгебраїчного підходу від статистичного:

- при моделюванні знаходяться, уточнюються і використовуються не статистичні характеристики помилок вимірювань, а безпосередньо самі значення помилок у конкретному епізоді ідентифікації;

- уточнення параметрів моделі здійснюється безпосередньо по нев'язці сигналів на виході об'єкта і на виході поточної моделі.

Як алгебраїчний підхід можна розглядати побудову математичних моделей процесів електроспоживання на основі теорії нечітких множин, штучних нейронних мереж, які дозволяють формувати модель об'єкта або процесу в умовах малих і нестационарних вибірок, а також формалізувати експертні оцінки фахівців.

До основних детермінованих моделей, що використовуються при моделюванні та прогнозуванні електроспоживання можна віднести:

- поліноміальні моделі різних порядків;
- кінцеві гармонічні ряди Фур'є;
- спектральні розкладання по ортогональним функціям;
- нейромереві моделі;
- моделі на основі нечітких множин;
- моделі методу групового врахування аргументу;
- декомпозиційні методи моделювання;
- алгебраїчні регресійні залежності;
- метод сингулярного спектрального аналізу.

Зазвичай дані моделі використовуються в складі комбінованих ймовірно-детермінованих моделей. Саме ці моделі дозволяють забезпечити найкращу точність прогнозування, адаптивність до змінного процесу електроспоживання. Вони базуються на концепції декомпозиції, яка полягає в моделюванні фактичного навантаження $P(t, d)$ як сукупності стандартизованого графіка (базової складової, детермінованого тренда) $P_S(t, d)$ і залишкової складової $P_D(t, d)$.

Висновок

Прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання необхідне для вирішення наукових, науково-практичних, техніко-економічних задач управління і прийняття рішень. Огляд методів прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання звівся до необхідності коректного використання класичного математичного апарату часових рядів з адаптуванням його до можливості використання результатів нових інформаційних технологій. Поширення набувають математичні прогнозні моделі, які є комбінацією статистичних та детермінованих моделей, саме ці моделі дозволяють забезпечити найкращу точність прогнозування, адаптивність до змінного процесу електроспоживання. Ці комбіновані моделі необхідно вдосконалювати і використовувати для прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П. Д. Оперативне прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання з використанням їх фрактальних властивостей [Текст] : монографія / П. Д. Лежнюк, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 104 с.

Шулле Юлія Андріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

Войтюк Роман Юрійович – студент групи Е-20мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет.

Shulle Julia Andriyivna – Candidate of tech. Sciences, Associate Professor of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University.

Voytyuk Roman Yuriyovych – student group E-20mc, Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University.

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ОСВІТЛЕННЯ МІСТ

Харківський Національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Анотація

Запропоновано структуру САУ, критерії та параметри керування режимами, що базуються на основі концепції Smart-Light

Ключові слова: керування, режим, електропостачання

Abstract

The structure of ACS, criteria and parameters of control of the modes based on the Smart-Light concept are offered

Keywords: control, mode, power supply

Розподіленість процесів у часі, а параметрів у просторі робить керування режимами міських електричних мереж досить складним та багатозатратним. Наявність великої кількості різnorodних споживачів вимагає пошуку шляхів забезпечення надійного і якісного постачання електричною енергією одночасно всіх споживачів. Одночасно з цим, розташування великої кількості споживачів на значній території вимагає впровадження великої кількості контрольно-вимірювальних та керуючих приладів і пристроїв, чим обумовлюється високий рівень технічної складності та вартості систем керування. Більше того, тісний організаційно-технічний та функціональний зв'язок систем електропостачання та освітлення міст робить необхідним їх об'єднання в рамках Smart-Light системи, робота якої керується з урахуванням критеріїв технічної і соціально-економічної ефективності.

В рамках проблеми, що розглядається авторами пропонується структура САУ, критерії та параметри керування режимами, що базуються на основі концепції Smart-Light. В її основі розподілена багаторівнева система керування з розосередженими активними елементами, що побудовані на застосуванні фазоперемикаємих вольтододавальних трансформаторів. Функції вищої координації і організаційного керування в ній виконує ЕОМ, що входить до складу АСДУ енергосистем. Її робота характеризується наявністю ряду особливостей: безперервністю та повторюваністю функцій, істотною обумовленістю зворотніх зв'язків та використання детермінованих моделей. Наявність вказаних особливостей обумовили побудову системи керування за багатоконтурним ієрархічним принципом, що забезпечує широкий діапазон ухвалення рішень – від дуже коротких дій до планування процесів на тривалий термін.

У способі критеріїв керування режимами міських електричних мереж запропоновано комплексний критерій, який включає критерії соціальної, екологічної та економічної ефективності. У якості параметрів керування обрано значення напруги в мережах, рівень компенсації реактивної потужності та значення вищих гармонік. З метою приведення у відповідність одиниць виміру і порядку величин, що вимірюють значення критеріїв керування, в роботі і здійснено згортання векторного критерію шляхом адитивного обліку складових його критеріїв.

Говоров Пилип Парамонович – д-р. техн. наук, професор, професор кафедри світлотехніки і джерел світла, ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail philip.govorov@gmail.com

Говоров Владлен Пилипович – канд. техн. наук, доцент, ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail philip.govorov@gmail.com

Кіндінова Анастасія Костянтинівна – інженер кафедри світлотехніки і джерел світла, ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: kindinova.anstasiia@gmail.com

Govorov Philip P. - Doctor of Technical Sciences (Dr. Sc.), Professor, Professor of Lighting and Light Sources, Beketov Kharkiv National University of Municipal, Kharkiv, Ukraine, e-mail philip.govorov@gmail.com

Govorov Vladlen P. - Cand. tech. Sciences, Associate Professor, Beketov Kharkiv National University of Municipal, Kharkiv, Ukraine, e-mail philip.govorov@gmail.com

Kindinova Anastasia K. - Engineer of the Department of Lighting and Light Sources, Beketov Kharkiv National University of Municipal, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kindinova.anstasiia@gmail.com

АНАЛІЗ ПРОТОТИПІВ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Криворізький національний університет

Анотація

В роботі досліджено вирішення питань з компенсації реактивної потужності у енергозбереженні електропостачання промислових підприємств.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, енергозбереження.

Abstract:

In the paper researche solving issues of reactive power compensation in energy saving of power supply of industrial enterprises.

Keywords: reactive power compensation, energy saving.

В останнє десятиліття відзначається погіршення стану всього енергетичного встаткування на підприємствах України. Це є наслідком фінансової ситуації й відсутності в державі можливості надавати допомогу, як цілим галузям, так і окремим підприємствам. Одночасно фінансова криза відбилася й на самих підприємствах, які не в змозі проводити модернізацію виробництва власними силами. Особливо це торкнулося проблеми енергозбереження, зокрема в питаннях компенсації реактивної складової потужності, що ще більше погіршило ситуацію в енергетиці, пов'язану з фінансовим і матеріально-технічним станом енергогенеруючих підприємств. На більшості підприємств (споживачах) устаткування по компенсації реактивної потужності або відсутнє, або морально й фізично застаріле (випущене 25-30 років тому), що в даній ситуації робить це встаткування не підлягаючим відновленню.

В умовах дефіциту енергетичних ресурсів, динаміки випереджаючого зростання вартості електроенергії, актуальна проблема енергозберігаючих технологій транспортування, споживання електроенергії.

Відповідні «важелі», у тому числі й економічні, змушують підприємства впроваджувати заходи щодо забезпечення таких режимів, включених в ряд нормативних актів.

На це спрямовано й нову методіку формування тарифів за спожиту реактивну електроенергію, яка генерується: Міністерство енергетики України наказ від 30.11.2020 № 764 «Про затвердження Змін до Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії».

Компенсація реактивної потужності є важливим чинником, що дозволяє вирішити питання енергозбереження на підприємстві. По оцінках вітчизняних і провідних закордонних спеціалістів, частка енергоресурсів і, зокрема, електроенергії займає величину порядку 30-40% у вартості продукції. Це досить вагомий аргумент, щоб з усією серйозністю підійти до аналізу й аудита енергоспоживання й вироблення методіки компенсації реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності - це ключ до рішення питання енергозбереження.

По оцінках, наведених у різних джерелах, середньостатистичні втрати електроенергії в мережах споживача лежать в межах 8-16%. Однією з основних причин таких втрат, як і раніше, залишаються недоліки компенсуючих пристроїв.

Предметом моєї магістерської роботи є систематизація матеріалу по раціональній компенсації реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств, що включає в себе широкий комплекс питань, направлених на підвищення техніко-економічних показників роботи електрообладнання, методи вибору та розрахунку компенсуючих пристроїв і їх вигідного розташування виходячи із умов виконання технічних вимог енергосистеми, автоматичного регулювання та захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Півняк Г. Г., Кігель Г. А., Волотковська Н.С. Электричні мережі систем електропостачання.– Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003.–316 с.

[2] Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств.–Вінниця: Нова Книга, 2004.–656 с.

Широкоступ Олександр Юрійович - Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail:skariton@i.ua

Аналіз режимів роботи систем електропостачання з використанням ВІ-аналітики

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Анотація

В роботі представлено алгоритми для побудови моделей систем електропостачання змінного та постійного струму з можливістю спільного моделювання системи зовнішнього електропостачання і систем живлення нетягових споживачів.

Ключові слова: електропостачання, системи тягового електропостачання, споживачі електричної енергії.

Abstract

The paper presents algorithms for constructing models of AC and DC power supply systems with the possibility of general modeling of internal power supply systems and power systems for non-traction consumers.

Keywords: power supply, traction power supply systems, electricity consumers.

Задачі, які постають перед фахівцями, часто вимагають ретельного аналізу електроенергетичних процесів в системах електропостачання. У той же час, від повноти моделі, яку використовують для обчислення параметрів режимів мереж, залежить якість розрахунків, а також зростає кількість задач, для вирішення яких дану модель можливо застосувати. На сьогоднішній день існує ряд програмних комплексів для аналізу ustalених режимів в системах електропостачання загального призначення з можливістю розрахунку тягових систем живлення, а також програм, призначених для прогнозування і оцінки експлуатаційних показників залізничного транспорту.

Серед найбільш потужних програм для моделювання систем тягового електропостачання широко відома OpenPowerNet, яка розроблена інститутом залізничних технологій, дозволяє аналізувати навантаження мереж постійного і змінного струму, розраховувати тягові зусилля для OpenTrack (програма розрахунку логістичних потоків в залізничній мережі), струми короткого замикання, магнітне поля. Також відомі системи для інженерного проектування та управління PSS SINCAL (Siemens, Німеччина) і eTraX (ETAP, США).

Описані продукти знаходяться в комерційному використанні, що, відповідно, ускладнює їх застосування в інженерних і наукових роботах широкого кола фахівців. До того ж зарубіжні програми, як правило, не враховують місцеву специфіку: параметри експлуатованого рухомого складу і особливості систем електрифікації, наявність систем електропостачання сторонніх споживачів від мереж залізниці.

Тому створення свого програмного продукту для здійснення розрахунків може виявитися корисним для некомерційного використання фахівцями різного профілю. Авторами створено базову бібліотеку функцій, яка реалізує алгоритми для побудови моделей систем тягового електропостачання змінного та постійного струму з можливістю спільного моделювання системи зовнішнього електропостачання і систем живлення нетягових споживачів.

Незважаючи на відносну складність розробленої моделі та тривалість використання комп'ютерного часу, що визначається необхідної деталізацією розрахунків, зі зростанням обсягів отриманих даних ускладнюються їх подальший аналіз та інтерпретування. Тому пропонується застосування сучасних підходів обробки та аналізу великих даних, що забезпечує доступність використання складних методів розрахунку для звичайного користувача та дозволяє аналізувати процеси в системах електропостачання будь-якої складності.

Дмитро Босий — д.т.н., доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, e-mail: dbs@mm.st

Денис Земський — PhD, ст. викладач кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, e-mail: d.zemskiy@ukr.net

МОДЕЛІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Визначено оптимальні величини реактивних потоків ліній електричних мереж, що дозволяє проводити просторово-часову декомпозицію цих мереж при розрахунку компенсації реактивної потужності в них

Ключові слова: реактивна потужність, електрична мережа, просторово-часова декомпозиція, компенсація реактивної потужності

Abstract

The optimal values of reactive flows of lines of radial electric networks are determined, which allows to carry out spatial-temporal decomposition of these networks when calculating the compensation of reactive power in them.

Keywords: reactive power, electric network, space-time decomposition, reactive power compensation.

При розрахунку компенсації реактивної потужності (КРП) в електричних мережах необхідно враховувати, що: окремі частини електричної мережі можуть бути незалежними структурами господарювання; при оптимізації потоків реактивної потужності одночасно для всієї мережі виникають техніко-економічні складності.

Це спонукає до розділення електричної мережі при оптимізації потоків реактивної потужності на частини (просторової декомпозиції електричної мережі) і побудови відповідних математичних моделей.

Відповідно [1] оптимальні значення реактивних потоків ліній радіальної мережі:

$$Q_{ci}^0 = Q_3 \cdot \frac{R_e}{R_i}, \quad (1)$$

де Q_3 - задане значення вхідної реактивної потужності мережі; R_e , R_i - відповідно еквівалентний активний опір мережі та активний опір i -ї лінії.

З (1) видно, що оптимальний потік i -ї радіальної лінії не залежить від параметрів і реактивних навантажень інших ліній. Це дає можливість проводити просторову декомпозицію радіальної електричної мережі при розв'язанні задачі КРП.

Зниження втрат, яке ми одержимо від установаження КУ на всіх етапах їх установаження, починаючи з t -го, складається зі зниження на t -му етапі δP_t плюс умовне оптимальне зниження на всіх наступних етапах, починаючи з $(t + 1)$ -го - δP_{t+1} .

$$\delta P_{\Sigma t} = \delta P_t(S, U_t) + \delta P_{t+1}(S, U_t), \quad (2)$$

де δP_t - зниження втрат на t -му кроці; δP_{t+1} - умовне оптимальне зниження втрат на всіх наступних кроках, починаючи з $(t + 1)$ -го; S - стан мережі, який вона набула в результаті попередніх кроків; U_t - процедура впровадження КУ на t -му кроці [2].

Очевидно, яким би не був стан мережі в результаті попередніх кроків впровадження КУ, ми повинні вибирати впровадження на найближчому кроці так, щоб воно, в сукупності з впровадженням на всіх наступних кроках забезпечувало максимальне зниження втрат за період впровадження T :

$$\delta P_{\Sigma t}^{\max} = \max_{t=1}^{t=T} \{ \delta P_t(S, U_t) + \delta P_{t+1}(S, U_t) \}, \quad (3)$$

В цьому сенсі можна говорити про незалежність установлення КУ на кожному етапі і, відповідно, про часову декомпозицію процесу впровадження КУ. Таким чином величини потужностей КУ, які забезпечують максимальне зниження втрат на одному етапі впровадження, не залежать від реактивних навантажень і параметрів мереж інших етапів.

Висновки

Оптимальні величини реактивних потоків ліній радіальних електричних мереж визначаються їх параметрами на відповідному етапові впровадження КУ, що дозволяє проводити просторову-часову декомпозицію цих мереж при розрахунку компенсації реактивної потужності в них.

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.

[2] Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1988. – 208 с.

Демов Олександр Дмитрович — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Бабенко Олексій Вікторович — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця., e-mail:oleksij_babenko@ukr.net

Demov Alexander D. - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Babenko Oleksiy V. - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia., e-mail:oleksij_babenko@ukr.net

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ БАТАРЕЯМИ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ З ОГЛЯДУ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ В МІКРОПРОЦЕСОРНІЙ СИСТЕМІ

¹ Вінницький національний технічний університет

² Луцький національний технічний університет

Анотація

Розроблено математичну модель керування батареями статичних конденсаторів

Ключові слова: батарея статичних конденсаторів, математична модель

Abstract

A mathematical model of static capacitor control is developed

Keywords: static capacitor bank, mathematical model

Вступ

Для зменшення втрат активної потужності на передачу реактивної використовуються керовані батареї статичних конденсаторів (БСК), які мають багатофункціональні властивості. Найбільш поширеним конструктивним їх виконанням є БСК дискретного керування. Комутація ємнісного навантаження супроводжується перенапругами в електричних апаратах, наслідком чого є прискорене зношення контактної системи. Для розрахунку керуючих рішень використовують мікропроцесорні пристрої, що мають обмежені обчислювальні можливості. Враховуючи все це закони керування повинні забезпечити:

- можливість знаходження цілочислових керуючих рішень;
- рішення, що приймаються, повинні враховувати всі найбільш суттєві для відповідного моменту часу впливи, що будуть здійснюватись БСК;
- кількість математичних моделей, реалізованих в пристроях прийняття рішень, повинна бути мінімальною;
- алгоритм знаходження керуючих рішень повинен бути максимально спрощеним;
- серед множини альтернативних оптимальних розв'язків повинен розраховуватись і до реалізації обиратись такий, що забезпечує мінімальну кількість комутацій.

Відомі роботи не вирішують комплекс зазначених наукових задач.

Результати дослідження

Метою роботи є розробка цілочислової моделі та алгоритму її аналізу, що забезпечують весь зазначений комплекс вимог.

Найбільш поширеним випадком є потреба прийняття зваженого керуючого рішення з міркувань використання БСК для компенсації реактивної потужності та регулювання напруги. В таких випадках може бути використаною розроблена математична модель, в якій цільова функція описує реактивну потужність в живильній лінії, одне обмеження забезпечує вимогу цілочислових розв'язків, а інше – контролює значення реактивної потужності або забезпечує рівень напруги:

Розроблена математична модель поставлена таким чином, що за опорний план завжди можна прийняти рішення про відключення всіх секцій БСК, що виключає потребу його пошуку і, як наслідок, – програмування для мікропроцесорної системи прийняття рішення відповідної частини класичного симплекс-алгоритму. Для порівняння ефективності обчислювального процесу для деякого прикладу розв'язування задачі виконано симплекс-методом лінійного програмування, а також методом динамічного програмування. Висновки відносно ефективності обчислювального процесу зроблено за кількістю елементарних арифметичних операцій, що довелося виконати по ітераціях і

окремих етапах. Розв'язування задачі за алгоритмом динамічного програмування має значний обчислювальний ефект.

Задача розрахунку оптимального вектору керування БСК має альтернативні розв'язки. Кожний із розв'язків відрізняється за кількістю комутацій, що необхідно виконати для його реалізації. Оскільки симплекс-метод (або метод динамічного програмування) припускає до реалізації найбільш ефективні рішення, то насамперед проглядається можливість включення найбільш потужних секцій БСК. Це свідчить про те, що в базисі графіка реактивної потужності будуть знаходитись найбільш потужні секції БСК. Вони більшу частину часу будуть залишатися увімкненими, а отже, їх кількість буде мінімальною.

Висновки

Все це дозволяє зробити висновок про те, що математична модель побудована таким чином, що її аналіз класичними математичними методами забезпечує керуючі рішення, реалізація яких буде здійснюватись мінімальною кількістю комутацій і перш за все комутацій найбільш потужних секцій БСК. Усе це позитивно позначиться на роботі комутаційного обладнання.

Терешкевич Леонід Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. e-mail: lbter@meta.ua

Бандура Ірина Олександрівна – канд. техн. наук, доцент кафедри електричної інженерії, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк. e-mail: bandura1975@i.ua

Tereshkevych Leonid Borysovych - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: lbter@meta.ua

Bandura Iryna Oleksandrivna - Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Electrical Engineering, Lutsk National Technical University, Lutsk. e-mail: bandura1975@i.ua

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація

За результатами досліджень формалізовано задачу оптимального керування режимами роботи електроприводних насосних агрегатів магістрального нафтопроводу на основі системного підходу.

Ключові слова: електроприводний насосний агрегат, нафтоперекачувальна станція, режим роботи, цільова функція, критерій оптимізації.

Abstract

According to the research results, the problem of optimal control of the operating modes of electric pumping units of the main oil pipeline on the basing of the system approach is formalized.

Keywords: electric pumping unit, oil pumping station, operating mode, target function, optimization criteria.

Нафтоперекачувальна станція (НПС) – це складна система, що складається з електричної (лінії електропередавання, автоматичні вимикачі, електричні двигуни, тощо) та гідравлічної (трубопровідна мережа, запірні арматури, вентилі, відцентрові насоси, тощо) підсистем. Дані підсистеми характеризуються різною фізичною природою, що ускладнює керування режимами роботи НПС.

Електроприводні насосні агрегати (НА) - серцевина енергетичного обладнання НПС. Підвищення надійності та ефективності функціонування електроприводних НА пов'язане з реалізацією оптимального керування його режимами.

На даний час керування електричною підсистемою НПС, що здійснюють пристрої автоматичного введення резерву, релейного захисту, автоматичного регулювання збудження синхронних двигунів, має ряд недоліків. Зокрема, перелічені пристрої реалізують не адаптивні та неоптимальні за одним із критеріїв закони керування.

Складність задачі керування роботою гідравлічної підсистеми НПС обумовлена нерівномірністю її режимів. На режим роботи трубопровідної мережі впливають такі фактори: зміни в роботі обладнання НС, зміни умов роботи технологічної ділянки трубопроводу та зміни властивостей рідини, що перекачується.

Для здійснення оптимального керування режимами роботи НПС запропоновано застосувати системний підхід. З цією метою НПС представлено як складну двокомпонентну динамічну систему, що складається з взаємозв'язаних електричної та гідравлічної підсистем, кожна з яких характеризується дворівневою структурою. Верхній рівень охоплює електричну та гідравлічну мережі, обмін енергією між якими відбувається на нижньому рівні через вали НА [1].

Задачу оптимального керування режимами НПС на верхньому рівні формалізовано у вигляді цільової функції (1)

$$\psi = \int_0^t (Z - Z_{ном})^2 dt \Rightarrow \min ; \quad (1)$$

$$Z = \{U, P\}; \quad \psi = \{\psi_e^{BP}, \psi_z^{BP}\},$$

де ψ_e^{BP} , ψ_g^{BP} - цільова функція верхнього рівня електричної та гідравлічної підсистеми; U – напруга мережі; P – тиск в трубопроводі; t - тривалість процесу перекачування.

Задачу оптимального керування режимами НПС на нижньому рівні формалізовано у вигляді цільової функції (2)

$$M_i = \sum_{i=1}^m \lambda_i \psi_i^{HP} \Rightarrow \max . \quad (2)$$

де $\lambda_i \geq 0$ – вагові коефіцієнти, що дають у кількісній шкалі перевагу i -го критерію

оптимальності порівняно з іншим ($\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$), m – кількість цільових функцій; ψ_i^{HP} – цільові

функції критеріїв оптимізації нижнього рівня.

Таким чином, запропонований комплексний підхід дає можливість формалізувати оптимізаційну задачу керування режимами магістрального нафтопроводу. Розв’язок оптимізаційної задачі дозволить підвищити ефективність та надійність електричної та гідравлічної підсистем НПС і здійснювати оптимальне керування режимами роботи складної багаторівневої нафтотранспортної системи України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Kostyshyn, V.S., and Yaremak, I.I. (2017), “Mathematical model of reliability and efficiency of pumping unit of an oil pumping station”, *Scientific bulletin of National Mining University*, no. 5 (161), pp. 62–68.

НЕЧІТКИЙ ВАРІАНТ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ КРИТЕРІАЛЬНОГО АНТАГОНІЗМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі показано, як можна реалізувати нечіткий варіант багатокритеріальної оптимізації в умовах критеріального антагонізму, реалізуючи кожен із локальних критеріїв в нечітку базу знань.

Ключові слова: дуальна освіта, багатокритеріальна оптимізація, .

Abstract

*The paper shows how it is possible to implement a fuzzy variant of multicriteria optimization in the conditions of criterion antagonism, implementing each of the local criteria into a fuzzy knowledge base***Keywords:** diagnosis, technical state, power transformer, frequency-amplitude characteristics, deviation, FRA, windings, magnetic circuit, planning the day of diagnosis, forecasting.

Keywords: dual education, multicriteria optimization .

Будь-яка динамічна система, у тому числі і електроенергетична система та система вищої освіти, функціонує в умовах антагонізму локальних критеріїв, з використанням яких реалізується досягнення режимів її функціонування, оптимальних або за одним із цих критеріїв при накладенні обмежень на усі інші, або оптимальних на зваженій сумі усіх критеріїв – у першому випадку має місце однокритеріальна оптимізація, а у другому – багатокритеріальна. Приклади однокритеріальної оптимізації режиму функціонування системи вищої освіти наведені в роботах [1], [2], [3], [4], причому критерієм оптимізації в роботі [1] є вклад в науку колективу університету, в роботі [2] – якість підготовки фахівців в дистанційному режимі навчання, в роботі [3] – кошти, зароблені колективом університету за надання платних послуг, а в роботі [4] – якість практичної підготовки студентів зв ідеологією дуальної освіти. Цілком очевидно, що усі ці критерії є антагоністичними, оскільки оптимізація за одним із них виводить інші за межі їх оптимальних значень.

В нашій доповіді ми покажемо, як можна реалізувати нечіткий варіант багатокритеріальної оптимізації в умовах критеріального антагонізму, занурюючи кожен із локальних критеріїв в нечітку базу знань, побудовану на множині областей оптимальності кожного з них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Б. І. Мокін, Ю. В. Мокіна. Математичні моделі в системах управління діяльності професорсько-викладацького складу вищих навчальних закладів: монографія. ВНТУ. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 132 с.

[2] О. Б. Слободянюк, В. Б. Мокін, Б. І. Мокін. Формування вмінь студентів з інженерії і комп'ютерної графіки в умовах дистанційного навчання: монографія. ВНТУ. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 208 с.

[3] Н. С. Гончарук, Ю. В. Мокіна, Б. І. Мокін. Математичні моделі для прогнозування та управління процесами надходження грошових коштів від платних послуг вищих навчальних закладів: монографія. ВНТУ. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 180 с.

[4] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, О. М. Косарук. Ідеологія дуальності в вищій технічній освіті на основі інтеграції навчання з виробництвом: монографія. Вінниця, Україна, ВНТУ, 2019. – 224 с.

Науковий керівник: *Мокін Борис Іванович* – академік НАПН України, д-р техн. наук, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, професор кафедри системного

аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bogys.mokin@gmail.com;

Мокін Олександр Борисович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: abmokin@gmail.com;

Войцеховська Ольга Олександрівна – аспірантка кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: olga1085@gmail.com

МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО ФУНКЦІОНАЛУ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ З ДИСКРЕТНИМИ МОДЕЛЯМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано програми наближеного обчислення інтегралів Стільтьєса та Лебега на мові Python, яких нині немає в програмних пакетах SymPy та SciPy, в яких зосереджені програмні функції обчислення лише однократних та багатократних інтегралів Рімана. Для реалізації цих програм здійснено коригування класичних математичних виразів, якими визначаються інтеграли Стільтьєса та Лебега і синтезовано алгоритми, придатні для розроблення програм наближеного обчислення інтегралів на мові Python. Особливістю алгоритму, який синтезовано для наближеного обчислення інтегралу Лебега, є врахування того, що міра Лебега дискретної функції, заданої на нульвимірній множині точок, розміщених на відрізку визначення її аргументу, є монотонною неперервною функцією координати функціональної осі, зростаючою від нуля в точці мінімального значення цієї функції до величини, що дорівнює довжині відрізка функціональної осі в межах від мінімального значення цієї функції до її максимального значення. В цьому алгоритмі значення дискретної функції, що інтегрується по Лебегу, відсортовуються так, щоб скласти зростаючу послідовність, міра кожного значення якої задається відрізком функціональної осі в межах сусідніх значень цієї послідовності в бік її зростання. Розроблені програми інтегрування по Стільтьєсу та Лебегу на мові Python містять у своїй структурі стандартні, уже відомі програмні функції цієї мови. Показано, що запропоновані програми будуть корисними науковцям, які займаються задачами системного аналізу з дискретними моделями.

Ключові слова: інтеграл Стільтьєса, інтеграл Лебега, алгоритми адаптації інтегралів до мови програмування Python, програми обчислення інтегралів Стільтьєса та Лебега на мові Python.

Abstract

The article presents programs for the approximate calculation of Lebesgue-Stieltjes integrals in Python, which are not currently available in the SymPy and SciPy packages. Those packages include only functions for calculating single and multiple Riemann integrals. To implement these programs, there has been made the correction of classical mathematical expressions, which determine the Lebesgue–Stieltjes integrals, and synthesized algorithms suitable for the development of programs for the approximate calculation of these integrals in Python. The feature of the algorithm synthesized for the approximate calculation of the Lebesgue integral is that the Lebesgue measure of a discrete function given on a zero-dimensional set of points located on the segment of its argument is a monotonic continuous function of the coordinate of the functional axis. This axis value increases from zero at the point of the minimum value of this function to a value equals to the length of the segment of the functional axis in the range from the minimum value of this function to its maximum value. In this algorithm, the values of a discrete Lebesgue-integrated function are sorted to form an ascending sequence, the measure of each value of which is given by a segment of the functional axis within adjacent values of this sequence in the direction of its growth. The developed Python programs for Lebesgue–Stieltjes integration contain standard already known program functions of this programming language. The article shows that the proposed programs can be useful for scientists who work on problems of systems analysis with discrete models.

Keywords: Stieltjes integral, Lebesgue integral, algorithms for adapting integrals to the Python programming language, programs for calculating Lebesgue–Stieltjes integrals in Python.

Як відомо [1], при розв'язанні задач оптимізації неперервних динамічних систем, до яких відносяться і електроенергетичні системи, в якості критеріїв використовують функціонали, обчислення яких здійснюється за алгоритмами визначення інтегралів Рімана, для яких в програмному середовищі Anaconda [2] на мові Python запропоновані стандартні програми, що розміщені в програмних пакетах sympy та scipy. Але в разі використання дискретних моделей цих динамічних систем, які визначені на множині міри «нуль», обчислення критеріальних функціоналів з використанням алгоритмів визначення інтегралів Рімана неможливе, а тому потрібно в якості

критеріальних функціоналів у цьому випадку використовувати інтеграли Лебега [1], для яких програм обчислення на мові Python ще не створено.

Для ліквідації цієї прогалини в програмному середовищі Anaconda нами розроблено програму обчислення інтегралів Лебега, алгоритм і конструкція якої і складають суть цієї нашої доповіді.

Для реалізації цієї програми довелось здійснити коригування класичних математичних виразів, якими визначаються інтеграли Лебега і синтезувати алгоритми, придатні для розроблення програми наближеного обчислення цих інтегралів на мові Python.

Розроблена нами програма інтегрування по Лебегу на мові Python містить у своїй структурі стандартні, уже відомі програмні функції цієї мови, з якими можна ознайомитись, наприклад, в роботі [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Б.І.Мокін, В.Б.Мокін, О.Б.Мокін Функціональний аналіз, адаптований до прикладних задач в галузі інформаційних технологій: навчальний посібник./ Вінниця: ВНТУ, 2020 – 192 с.

[2] Python. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.python.org/downloads/> .

[3]. Доля П.Г. Введение в научный Python. /Харків: ХНУ ім. Каразіна, 2016. – 265 с

Науковий керівник: **Мокін Борис Іванович** – академік НАПН України, д-р техн. наук, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: borys.mokin@gmail.com;

Мокін Олександр Борисович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: abmokin@gmail.com;

Шалагай Дмитро Олександрович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,, e-mail: d.shalagai@gmail.com;

ЧИСЛОВІ ІНТЕГРАТОРИ В РОЗРАХУНКАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація

Розглянута проблема використання числових інтеграторів для швидкісного розв'язування задачі знаходження перехідних процесів в електричних колах у режимі реального часу **Ключові слова:** інтегратори, цифрова модель, електротехнічні системи.

Ключові слова: інтегратори, цифрові моделі, електротехнічна система.

Abstract

The paper considers the problem of using numerical integrators for the high-speed solution of the problem of finding transient processes in electrical circuits in real time..

Keywords: integrators, digital model, electrical systems.

Моделювання перехідних процесів у складних електротехнічних системах, деякі з яких (наприклад, розгалужені електроенергетичні системи) описують тисячами диференціальних рівнянь, є достатньо проблемною задачею навіть для сучасного рівня обчислювальної техніки і методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь [1]. Проблема полягає в тому, що у випадку застосування числових методів на поведінку досліджуваної системи накладається ще й поведінка використаного числового методу. Як показано в роботах [2, 3], внаслідок дискретизації числовими інтеграторами неперервної моделі технічної системи в отриманій цифровій моделі з'являються додаткові нулі та полюси результуючої дискретної передавальної функції, внаслідок чого зростає складність результуючої цифрової моделі електротехнічної системи порівняно з аналоговим прототипом.

Розглянута проблема використання числових інтеграторів для швидкісного розв'язування задачі знаходження перехідних процесів в електричних колах у режимі реального часу (*real-time calculation*). Дослідження проведені з використанням явних формул Адамса з першого до п'ятого порядку і простих моделей ланок (електричних кіл) першого і другого порядків. Зі застосуванням згаданих формул одержано дискретні передавальні функції цифрових моделей згаданих ланок, на підставі яких показано наявність додаткових нулів і полюсів в отриманих дискретних передавальних функціях порівняно з неперервною системою. Результати досліджень проілюстровані розрахунками та графіками перехідних процесів.

За результатами досліджень підтверджено нераціональність використання числових методів високого порядку для аналізу динаміки електротехнічних систем. Проведений аналіз показав, що використання числових інтеграторів вищих порядків вносить додаткові нулі/полюси, яких нема в аналоговому прототипі та які змінюють поведінку цифрової моделі відносно аналогового прототипу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] High Performance Computing in Power and Energy Systems / Siddhartha Kumar Khaitan and Anshul Gupta (Eds.) // Power Systems Series. – Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 384 p. [ISBN 978-3-642-32682-0]

[2] Volodymyr Moroz, Anastasia Vakarchuk. Numerical Integrators on Electrical Circuits' Transient Calculation // 22nd International Conference “Computational Problems of Electrical Engineering” (CPEE-2021), September 15-17th, Šumava, Czech Republic.

[3] Volodymyr Moroz, Anastasia Vakarchuk. Why High-Order Integrators Not Rational on Electrical Systems' Computer Calculation // IEEE 20th International Conference on Modern Electrical and Energy System September 21-24, 2021. Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine.

Вакарчук Анастасія — аспірант кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем м. Львів, e-mail: anastasiia.b.vakarchuk@lpnu.ua

Володимир Мороз — доктор технічних наук, професор, кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем м. Львів, e-mail: volodymyr.i.moroz@lpnu.ua

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Харківський національний університет міського господарства Імені О.М. Бекетова

Анотація

В роботі досліджується проблема зменшення втрат електроенергії в системі електропостачання міського електротранспорту

Ключові слова: *електротранспорт, контактна мережа, системи електропостачання*

Abstract

The problem of reduction of losses of the electric power in system of power supply of city electric transport is investigated in the paper.

Keywords: *electric transport, catenary, power supply systems*

Енергозбереження признано пріоритетним напрямком економічного розвитку нашої держави. Особливо це відноситься до транспортної галузі, що характеризується досить високою енергомісткістю [1].

На міському електротранспорті до 95 % спожитої електроенергії витрачається безпосередньо для забезпечення пасажирських перевезень. Однак досвід експлуатації свідчить, що до 14 % цієї електроенергії втрачається в системі електропостачання, тобто на елементах тягової підстанції (5 %), та контактній мережі (до 9 %).

Слід зазначити, що в чинних нормативах експлуатації систем електропостачання, зокрема Правилах експлуатації трамвая та тролейбуса, середні втрати напруги від шин тягової підстанції до струмоприймача рухомого складу на любій секції контактної мережі при плановій частоті руху обмежуються до 15 % номінальної напруги на шинах, а в вимушених режимах цей показник майже вдвічі більший (до 170 В) [2].

Тому питання зменшення втрат електроенергії в системі електропостачання міського електротранспорту є досить актуальним.

Значні резерви ресурсозбереження можуть бути використані за рахунок вдосконалення системи живлення і встановлення нових нормативів втрат в контактній мережі.

При заданій довжині секції контактної мережі втрати енергії на опір, як відомо, залежать від кількості рухомих одиниць, що одночасно перебувають на секції, імовірності одночасного вмикання тягових двигунів цих одиниць, середнього струму, споживаного під час розбігу кожної одиниці, та питомого опору контактної мережі Ом/км. У свою чергу, питомий опір визначається маркою проводу та величиною зносу, якому відповідає втрата площі перерізу.

Правилами встановлено, що контактний провід підлягає заміні при зменшенні площі поперечного перерізу проводу марки МФ-85 на 25 % для трамвайної мережі та на 15 % для тролейбусної. Для проводу марки МФ-100 ці дані мають відповідно значення 30 та 16 % [2]. Цими нормативами також передбачено мінімальні значення висоти перерізу контактних проводів, що забезпечує в експлуатації можливість спрощеного його контролю.

У розрахунках систем електропостачання міського електротранспорту знос проводів або не враховується зовсім, або приймається однаковим по всій довжині секції. Між тим, як свідчать результати експериментальних досліджень [3], розподіл зносу по довжині перегону є дуже нерівномірним: у зоні пуску (на зупинці, перед світлофором і т.п.) знос контактної мережі, що встановлювався вимірами залишкового перерізу, перевищує знос у середній частині перегону у 2 і більше разів. Отже, припущення щодо однаковості зносу по усій довжині секції не є правомірним і неврахування цієї обставини не дозволяє використати резерви зменшення втрат енергії у контактних

проводах. Як свідчать дослідження, скорочення планових та непланових зупинок, що сприяють збільшенню кількості ділянок зі зменшеним перерізом, тобто підвищеним опором та, відповідно, втратами електроенергії.

Тому доцільним є моделювання та прогнозування зносу контактного проводу при визначенні втрат електроенергії [4, 5].

Таким чином, перегляд розміщення пасажирських зупинок, створення пріоритетних умов для руху міського електротранспорту, наближення повітряних стрілок з середини перегону до пасажирських зупинок або світлофорів, раціональне розміщення секційних ізоляторів, як за розрахунками струморозподілу так і їх просторового розміщення та інші аналогічні заходи дають значне зменшення шкідливих втрат енергії у системі електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський А.К. - К.: УЕЗ, 1998. - 506 с.

[2] Правила експлуатації трамвая і тролейбуса з інформаційно-довідковими матеріалами / корп. «Укрелектротранс». – Харків: Золоті сторінки, 2020. – 256 с.

[3] Далека В. Х. Наукові основи ресурсозбереження при експлуатації міського електричного транспорту. Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.13.22 / НТУ. – К., 2005. – 36 с.

[4] Далека В.Х. Закономірності зношування контактного проводу при експлуатації на міському електротранспорті / В. Х. Далека, В. І. Скуріхін, Д. О. Личов // Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура. - 2019. - Вип. 1 (147). - С. 135-139. –

[5] Карпушин Е.І. Визначення експлуатаційних витрат енергії рухомих складом трамвая і тролейбуса з застосуванням нечітких множин при моделюванні руху // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2(23). Харків: ХарДАЗТ, 2000. – С. 48-50.

Василь Далека - д.т.н., професор, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства Імені О.М. Бекетова, м. Харків e-mail: dalekavf@ukr.net

Владислав Скуріхін - к.т.н., доцент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства Імені О.М. Бекетова, м. Харків e-mail: vladsku@gmail.com

СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

В роботі представлено доведення стійкості типових структур систем векторного керування асинхронними генераторами з лінійними ПІ-регуляторами струмів і напруги ланки постійного струму, які забезпечують локальну асимптотичну стійкість за умови розділення у часі процесів регулювання напруги і моментотворюючої компоненти струму. Показано, що необхідний рівень розділення процесів у часі забезпечується за умови, коли підсистема регулювання напруги щонайменше в 2-3 рази більша повільна відносно підсистеми регулювання струму, що досягається за рахунок налаштування регуляторів системи керування асинхронного генератора.

Ключові слова: векторне керування, асинхронний генератор, регулятор, стійкість.

Abstract

The paper presents the stability proof of typical structures of vector control systems with linear PI-controllers of currents and DC-link voltage which provide local asymptotic stability under the condition of time scale separation of voltage and q-current regulation processes. It is shown that the required level of time separation between the voltage control subsystem and the current control subsystem is at least 2-3 times, which is achieved by adjusting the controllers of the induction generator control system.

Keywords: vector control, induction generator, regulator, stability.

Вступ

Стандартна структура системи генерування на основі асинхронного генератора (АГ) аналогічна тій, яка використовується в системах векторного керування кутовою швидкістю асинхронних двигунів, в якій ПІ-регулятор швидкості замінено ПІ-регулятором напруги ланки постійного струму [1]. Динаміка кутової швидкості асинхронного двигуна є лінійною за умови ідеальної полеорієнтації та постійного потокозчеплення, в той час як динаміка напруги ланки постійного струму є нелінійною навіть для постійного потокозчеплення та постійної швидкості обертання валу генератора через наявність нелінійних компонентів, які пропорційні активним втратам [2]. В [3] авторами представлено процедуру синтезу системи керування напругою на основі спрощених рівнянь динаміки моментного струму. Розглянуто алгоритм керування напругою з лінійними ПІ-регуляторами струмів і напруги, модифікованими для врахування насичення магнітної системи АГ. Показано, що лінійний ПІ-регулятор напруги для постійної швидкості та потокозчеплення забезпечує асимптотичність регулювання напруги, якщо активні втрати розглядати як збурення.

Метою роботи є: а) доведення локальної асимптотичної стійкості системи векторного керування напругою АГ шляхом застосування теорії сингулярно-вироджених систем; б) встановлення умов, за яких можливо розглядати систему керування напругою АГ зниженого порядку.

Результати досліджень

Рівняння динаміки підсистеми напруги ланки постійного струму АГ, після завершення процесів полеорієнтування мають вигляд [1]:

$$\dot{V}_{dc} = C^{-1} \left(-(3/2) V_{dc}^{-1} (u_d i_d + u_q i_q) - i_L \right), \quad \dot{i}_q = -\gamma_m i_q - \omega_0 i_d + \alpha_m \beta_m \psi_q - \omega_p \beta_m \psi_d + \sigma_m^{-1} u_q, \quad (1)$$

де $\mathbf{u} = (u_d, u_q)^T$, $\mathbf{i} = (i_d, i_q)^T$, $\boldsymbol{\psi} = (\psi_d, \psi_q)^T$ – вектори керуючих напруг, струмів статора та потокозчеплень ротора в системі координат (d-q); ω – кутова швидкість обертання ротора, ω_0 – кутова швидкість обертання синхронної системи координат (d-q) відносно стаціонарної (a-b); p_n – число пар полюсів; V_{dc} , C – напруга та ємність ланки постійного струму; i_L – струм навантаження. Додатні параметри в визначено наступним чином: $\alpha_m = R_2/L_{2m}$, $\sigma_m = L_{1m} - L_m^2(i_m)/L_{2m}$, $\beta_m = L_m(i_m)/[L_{2m}\sigma_m]$, $\gamma_m = R_1\sigma_m^{-1} + \alpha_m\beta_m L_m(i_m)$, де R_1, R_2 – активні опори статора та ротора; L_m – індуктивність намагнічування при номінальному потокозчепленні.

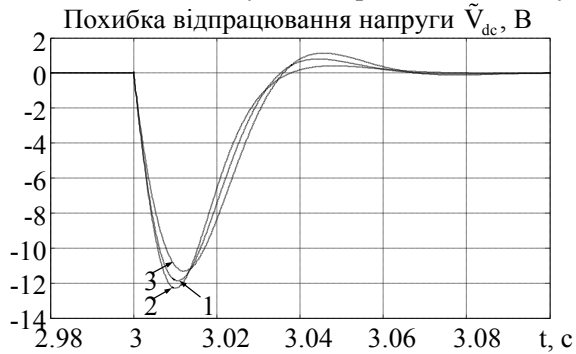


Рис. 1. Графіки перехідних процесів в системі повного і зниженого порядку

Використано регулятор струму по осі q [3]

$$u_q = \sigma_m (\omega_0 i_d - k_{i1} \tilde{i}_q + x_q), \quad \dot{x}_q = -k_{i2} \tilde{i}_q; \quad (2)$$
та регулятор напруги ланки постійного струму

$$i_q^* = -(-k_v \tilde{V}_{dc} + x_v), \quad \dot{x}_v = -k_{vi} \tilde{V}_{dc}, \quad (3)$$

де i_q^* – задана компонента струму статора по осі q; $\tilde{i}_q = i_q - i_q^*$ – похибка відпрацювання струму; $(k_{i1}, k_{i2}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів струму; $(k_v, k_{vi}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та

інтегральної складових регулятора напруги. Доведено стійкість системи генерування за умов дії алгоритму керування напруги (3). Дослідження виконано в декілька етапів: *на першому етапі* досліджено динаміку системи (рис. 1), коли підсистема потокозчеплення знаходиться у стані рівноваги, метою якого було підтвердження можливості застосування моделі зниженого порядку при синтезі, а також за умови $\tilde{i}_q = 0$; *на другому етапі* експериментально досліджено динамічну поведінку контуру регулювання напруги для різних налаштувань регуляторів напруги і струму, що дало можливість визначити умову часового розділення між внутрішнім контуром моментотворюючого струму та зовнішнім контуром напруги.

Висновки

Доведено локальну стійкість системи векторного керування асинхронними генераторами з лінійними ПІ-регуляторами струмів і напруги ланки постійного струму на основі теорії сингулярно-вироджених систем. Експериментально підтверджено, що часове розділення процесів регулювання напруги та моментотворюючої компоненти струму досягається, коли підсистема регулювання напруги щонайменше в 2-3 рази більш повільна відносно підсистеми регулювання струму. За цієї умови можливо розглядати систему регулювання напруги зниженого порядку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] S. Peresada, S. Kovbasa, Korol S., and N. Zhelinskiy, "Feedback linearizing field-oriented control of induction generator: theory and experiments," *Технічна електродинаміка*, № 2, с. 48-56, 2017.
- [2] R. Leidhold, G. Garcia, M. I Valla, "Field-oriented controlled induction generator with loss minimization," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 49, no. 1, pp. 147-156, 2002.
- [3] S. Peresada, M. Zhelinskiy, S. Kovbasa, and S. Korol, "Indirect field oriented control of the saturated induction generators with linear PI regulators," in *IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 138-143.

Пересада Сергій Михайлович – професор кафедри автоматизації електромеханічних систем, електроприводу та електромобільності НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Ковбаса Сергій Миколайович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Желінський Микола Миколайович – асистент кафедри автоматизації електромеханічних систем, електроприводу та електромобільності НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Ніконенко Євген Олексійович – аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Райчук Олексій Іванович – асистент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

СИМЕТРУВАННЯ НАПРУГ І СТРУМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБ'ЄДНАНОГО РЕГУЛЯТОРА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В статті отримано умови симетрування напруг і струмів за допомогою об'єднаного регулятора якості електроенергії з використанням комплексних потужностей зворотної послідовності та досліджено помилки симетрування за різних статичних характеристик навантажень за напругою у разі керування за збуренням.

Ключові слова: симетрування навантажень, умови керування за збуренням, статичні характеристики вузлів навантажень за напругою.

Abstract

The paper obtains the conditions for balancing voltages and currents using a combined power quality regulator using complex reverse sequence capacities and investigates balancing errors for different static characteristics of voltage loads in the case of perturbation control.

Keywords: load balancing, perturbation control conditions, static characteristics of voltage load nodes.

Вступ

Одним з найбільш ефективних пристроїв гнучких систем електропередавання є об'єднаний регулятор потоку потужності, що є поєднанням статичного синхронного компенсатора СТАТКОМ і статичного поздовжнього компенсатора, які зв'язані через спільну ланку постійного струму [1]. В останні роки об'єднані регулятори потоку потужності були адаптовані для застосування в розподільних мережах [2, 3]. Об'єднаний регулятор якості електроенергії може компенсувати різні показники погіршення якості електроенергії, такі як: провал, перенапругу, несиметрію, флікер, несинусоїдність. Об'єднаний регулятор якості електроенергії складається з паралельного і послідовного компенсаторів. Послідовний компенсатор повинен компенсувати напругу джерела спотворення, паралельний компенсатор послаблює небажані складові струму навантаження (реактивну складову струму, струми зворотної та нульової послідовностей, гармонічні складники струмів). Крім того, паралельний компенсатор повинен регулювати напругу на шині постійного струму з метою забезпечення компенсуючої здатності об'єднаного регулятора якості електроенергії [1 – 4].

Мета роботи полягає в отриманні та дослідженні умов симетрування навантажень за допомогою об'єднаного регулятора якості електроенергії та дослідженні помилок симетрування за різних статичних характеристик вузлів навантажень.

Результати дослідження

Умови симетрування струмів за зворотною послідовністю отримують з умов повної або часткової компенсації реактивної складової струму прямої послідовності \dot{I}_1 та обох складових струму зворотної послідовності \dot{I}_2 навантаження (за рівності нулю струму нульової послідовності). Для дійсної та уявної складових фазних струмів компенсатора дістанемо:

$$\begin{aligned} I'_a &= -\operatorname{Re} \dot{I}_2; \quad I''_a = -k \operatorname{Im} \dot{I}_1 - \operatorname{Im} \dot{I}_2; \\ I'_b &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2; \quad I''_b = -k \operatorname{Im} \dot{I}_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2; \end{aligned} \quad (1)$$

$$I'_c = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2; \quad I''_c = -k \operatorname{Im} \dot{I}_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re} \dot{I}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im} \dot{I}_2.$$

де k – ступінь компенсації реактивної потужності.

Умови симетрування напруг за зворотною послідовністю можна отримати з умов компенсації обох складових напруги зворотної послідовності \dot{U}_2 (за рівності нулю напруги нульової послідовності). Для дійсної та уявної складових фазних напруг компенсатора дістанемо:

$$\begin{aligned} U'_a &= -\operatorname{Re} \dot{U}_2; \quad U''_a = -\operatorname{Im} \dot{U}_2; \\ U'_b &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{U}_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im} \dot{U}_2; \quad U''_b = \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re} \dot{U}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im} \dot{U}_2; \\ U'_c &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \dot{U}_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Im} \dot{U}_2; \quad U''_c = -\frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{Re} \dot{U}_2 + \frac{1}{2} \operatorname{Im} \dot{U}_2. \end{aligned} \quad (2)$$

В якості інформативних параметрів можуть бути використані дійсна та уявна частини комплексних умовних потужностей зворотної послідовності [7–9]:

$$\underline{S}_{21} = \frac{1}{2} (\underline{S}_{2p} + \underline{S}_{2q}) = 3\dot{U}_1^* \dot{I}_2 = \frac{1}{2} \left[\left(\dot{U}_\alpha^* \dot{I}_\alpha - \dot{U}_\beta^* \dot{I}_\beta \right) + j \left(\dot{U}_\alpha^* \dot{I}_\beta + \dot{U}_\beta^* \dot{I}_\alpha \right) \right]. \quad (3)$$

$$\underline{S}_{12} = \frac{1}{2} (\underline{S}_{2p} - \underline{S}_{2q}) = 3\dot{U}_2^* \dot{I}_1 = \frac{1}{2} \left[\left(\dot{U}_\alpha^* \dot{I}_\alpha - \dot{U}_\beta^* \dot{I}_\beta \right) - j \left(\dot{U}_\alpha^* \dot{I}_\beta + \dot{U}_\beta^* \dot{I}_\alpha \right) \right], \quad (4)$$

$$\text{де } \underline{S}_{2p} = 3 \left(\dot{U}_1^* \dot{I}_2 + \dot{U}_2^* \dot{I}_1 \right) = \left(\dot{U}_\alpha^* \dot{I}_\alpha - \dot{U}_\beta^* \dot{I}_\beta \right); \quad \underline{S}_{2q} = 3 \left(\dot{U}_1^* \dot{I}_2 - \dot{U}_2^* \dot{I}_1 \right) = j \left(\dot{U}_\alpha^* \dot{I}_\beta + \dot{U}_\beta^* \dot{I}_\alpha \right) -$$

комплексні потужності зворотної послідовності; $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2$ – комплексні напруги та комплексні спряжені струми відповідно прямої та зворотної послідовностей; $\dot{U}_\alpha, \dot{U}_\beta, \dot{I}_\alpha, \dot{I}_\beta$ – комплексні напруги та комплексні спряжені струми в системі $\alpha\beta$ -координат.

За використання комплексних умовних потужностей зворотної послідовності $\underline{S}_{21} = P_{21} + jQ_{21} = 3\dot{U}_1^* \dot{I}_2$ та $\underline{S}_{12} = P_{12} + jQ_{12} = 3\dot{U}_2^* \dot{I}_1$ як інформативних параметрів систем керування вирази складників відповідних миттєвих потужностей можна записати у вигляді:

$$p_{21} = \frac{1}{2} (p_{2p} + p_{2q}) = \frac{1}{2} (u_\alpha - u'_\beta) (i_\alpha + i'_\beta); \quad q_{21} = \frac{1}{2} (q_{2p} + q_{2q}) = \frac{1}{2} (u'_\alpha + u_\beta) (i_\alpha + i'_\beta), \quad (5)$$

$$p_{12} = \frac{1}{2} (p_{2p} - p_{2q}) = \frac{1}{2} (u_\alpha + u'_\beta) (i_\alpha - i'_\beta); \quad q_{12} = \frac{1}{2} (q_{2p} - q_{2q}) = \frac{1}{2} (u'_\alpha - u_\beta) (i_\alpha - i'_\beta), \quad (6)$$

де $u_\alpha, u_\beta, i_\alpha, i_\beta$ – миттєві напруги та струми в системі $\alpha\beta$ -координат; штрихом позначено фазовий зсув миттєвих величин на -90 ел. градусів.

У виразах (5), (6) використано миттєві умовні потужності зворотної послідовності [10–12]

$$p_{2p}(t) = u_\alpha i_\alpha - u'_\beta i'_\beta; \quad q_{2p}(t) = u'_\alpha i_\alpha + u_\beta i'_\beta; \quad (7)$$

$$p_{2q}(t) = u_\alpha i'_\beta - u'_\beta i_\alpha; \quad q_{2q}(t) = u'_\alpha i'_\beta + u_\beta i_\alpha. \quad (8)$$

Висновки

Отримано умови керування об'єднаним регулятором якості електроенергії з використанням комплексних струму та провідностей зворотної послідовності навантаження. Для керування об'єднаним регулятором якості електроенергії можна використати різні умови керування за збуренням. Вибір тієї чи іншої умови залежить від статичних характеристик вузлів навантажень. За будь-якої вибраної умови керування за збуренням повинно доповнюватися керуванням за відхиленням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Hingorani, N. G. Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / Hingorani N. G., Gyugyi L. – IEEE Press book, 2000. – 432 p.
- [2] Fujita, H. The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series- and Shunt- Active Filters / Hideaki Fujita, Hirofumi Akagi // IEEE Transactions on Power Electronics, March 1998, Vol. 13, No. 2.
- [3] Aredes, M. An universal active power line conditioner / M. Aredes, K. Neumann, E. H. Watanabe // IEEE Trans. on Power Delivery, Apr 1998, Vol. 13, No. 2. – P. 545–551.
- [4] Unified Power Quality Conditioner for Compensating Voltage Interruption / B.-M. Han, B.-H. Cho, S.-K. Sul and J.-E. Kim // Journal of Electrical Engineering & Technology, 2006, Vol. 1, No. 4. – P. 503–512.
- [5] Маркушевич Н. С. Качество напряжения в городских электрических сетях [Текст] / Н. С. Маркушевич, Л. А. Солдаткина – М.: Энергия, 1975. – 128 с.
- [6] Бурбело М. Й. Квасізрівноважені частотно-варіаційні вимірювальні системи [Текст] / М. Й. Бурбело. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 225 с.
- [7] Бурбело М. Й. Роздільне вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, Ю. В. Ільчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Науково-виробничий журнал Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2011. – № 1. – С. 44–46.
- [8] Бурбело М. Й. Вимірювальні канали для установок динамічної компенсації реактивної потужності та симетрування навантажень / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко, М. В. Никитенко // Вісник НУ “Львівська політехніка” Електроенергетичні та електромеханічні системи, 2010, № 666. – С. 14–18.
- [9] Бурбело М. Й. Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, М. В. Никитенко // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 2. – С. 54–56.
- [10] Бурбело М. Й. Визначення потужностей трифазної несиметричної системи з ізольованою нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук. // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 6. – С. 66–70.
- [11] Бурбело М. Й. Визначення потужностей за несиметричних режимів трифазних мереж із заземленою нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 71–75.

Бурбело Михайло Йосипович – д.т.н., професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Лебедь Денис Юрійович — аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту: 4e15b.lebyd@gmail.com;

Лобода Юрій Васильович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Бабенко Олексій Вікторович — к.т.н., доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;

Войтюк Юрій Петрович — к.т.н, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: voytyuk@vntu.edu.ua.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Burbelo Mykhailo Yo. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Lebed Denys Yu. — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com;

Loboda Yurii V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Babenko Oleksiy V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;

Voytyuk Yuriy P. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: voytyuk@vntu.edu.ua.

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ КОРИГУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Криворізький національний університет

³Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Анотація

В роботі проведено Аналіз сучасного стану та перспектив коригування енергетичного балансу підприємств гірничовидобувної галузі шляхом впровадження джерел розосередженого генерування до систем електропостачання підприємств цієї галузі.

Ключові слова: електроенергетична система, енергетичний баланс, енергоспоживання.

Abstract

The analysis of the current state and prospects of adjusting the energy balance of mining enterprises by introducing sources of distributed generation to the power supply systems of enterprises in this industry is carried out.

Keywords: power system, energy balance, energy consumption

Енергетичний баланс підприємств залежить від технологічного процесу та технологій, що використовуються для його реалізації. Таким чином, відсоткове співвідношення різних видів первинної та вторинної енергії, що споживається на підприємстві, може змінюватися в залежності від сезону чи в залежності від модернізації [1].

На сьогоднішній день, підприємства гірничовидобувної галузі України розглядаються, як полігон для впровадження розосередженого генерування в системи їх електроенергопостачання. З поміж інших, одним з пріоритетних напрямків модернізації та реконфігурації систем електроенергопостачання розглянутих підприємств є впровадження відновлювальних джерел електроенергії [2].

Враховуючи пріоритетність завдань з розроблення Плану розвитку розподільних електричних мереж, з поміж інших є забезпечення розвитку альтернативної енергетики та забезпечення надійного та ефективного електропостачання споживачів електроенергії [3].

Зважаючи на сучасні тенденції щодо декарбонізації світової енергетики та впровадження сучасних інтелектуальних технологій у системи електроенергопостачання промислових підприємств, зокрема підприємств гірничовидобувної галузі, енергетичний баланс зазначених підприємств має перспективу до змін як у відсотковому співвідношенні спожитих видів паливно-енергетичних ресурсів, так і в кількісному значенні, враховуючи нарощування власної генерації [4].

Аналіз сучасного стану та перспектив коригування енергетичного балансу підприємств гірничовидобувної галузі шляхом впровадження джерел розосередженого генерування до систем електропостачання підприємств цієї галузі.

Дослідження питань формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженого генерування знайшли відображення в роботах багатьох вчених, зокрема, Д. де Рензо, Я.І.Шефтера, Є.Р.Абрамовського, О.В. Кириленка, С.О.Кудрі, Н.М.Мхітаряна, Г.І.Денисенка, П.Ф.Васька, В.М.Головка, П.П.Пекура, О.С.Яндульського, В.В.Павловського, С.П.Денисюка, С.В.Дубовського, В.А. Попова, П.Д.Лежнюка, О.М. Сінчука, В.В.Кирика, С.П. Денисюка та інших [1-4].

Разом з тим, стратегія розвитку енергетики України, як і стратегія її енергетичної безпеки в комплексі, передбачає перш за все зменшення енергоємності ВВП. В свою чергу «дорожня карта»

цього спрямування лежить через шлях рішень зменшення енергоємності продукції, котра виробляється підприємствами енергоємних галузей промисловості. Саме цими видами підприємств споживається більше 20% від загального обсягу споживання державою. Одним із локальних і достатньо ефективних спрямувань може стати впровадження потенціалу власних енергоресурсів даних видів підприємств. Вагомою складовою енергоємних підприємств є підприємства металургійної галузі та її сировинної складової гірничорудної [4].

Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є визначення пріоритетних напрямів зміни енергетичного балансу підприємств гірничовидобувної галузі та факторів, що на них впливають.

Між тим, стратегія розвитку енергетики України, як і стратегія її енергетичної безпеки в комплексі, передбачає перш за все зменшення енергоємності ВВП. В свою чергу «дорожня карта» цього спрямування лежить через шлях рішень зменшення енергоємності продукції, котра виробляється підприємствами енергоємних галузей промисловості. Саме цими видами підприємств споживається більше 20% від загального обсягу споживання державою. Одним із локальних і достатньо ефективних спрямувань може стати впровадження потенціалу власних енергоресурсів даних видів підприємств. Вагомою складовою енергоємних підприємств є підприємства металургійної галузі та її сировинної складової гірничорудної.

Гірничорудна промисловість, буде базовою на сьогоднішній день в формуванні рівня надходжень валютних запасів держави яка володіє значним притаманним саме її енергетичним потенціалом. Сучасні гірничорудні підприємства в сфері енергоспоживання характеризуються тим, що майже 90 % це електроенергетика. Більш того, як свідчать дослідження, логічний вихід з такої ситуації, шляхом зменшення обсягів споживання електричної енергії не є достатньо ефективним, оскільки технологія видобутку корисних копалин взагалі, а залізорудної сировини в тому числі передбачає постійне збільшення глибини видобутку, що логічно тягне за собою проблему збільшення рівнів споживання електроенергії. Тривіальні технічно-технологічні заходи щодо локації цього процесу мають вкрай обмежену ефективність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] O. M. Sinchuk, S. M. Boiko, F. I. Karamanyts, I. A. Kozakevych, M. L. Baranovska, and A. M. Yalova, *Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply systems*. Warsaw, Poland: IsIENCT, 2018.

[2] Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. Дата звернення: 19.08.2021.

[3] Денисюк С.П., Дерев'яно Д.Г., Колесник П.С. «Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією» *Збір. праць Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип.* с. 30–37, 2011.

[4] Кулик М.Н., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України:(аналітичні матеріали). Instytut zahal'noi enerhetyky NAN Ukrainy; 2017.

Сінчук Олег Миколайович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті. Криворізький національний технічний університет, Кривий ріг.

Бойко Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті; Криворізький національний технічний університет, Кривий ріг.

Жуков Олексій Анатолійович – канд. техн. наук, доцент електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті; Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Сьомочкін Альберт Борисович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті; Криворізький національний технічний університет, Кривий ріг.

Риков Геннадій Юрійович – старший викладач кафедри електричних машин та апаратів; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук.

СИНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕФЕКТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВЕНТИЛЯТОРІВ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТ

Криворізький національний університет

Анотація

Запроновано систему оптимізації роботи головних водовідливних установок шахт та кар'єрів

Ключові слова: шахта, водовідливні установки, водовідведення.

Abstract

A system for optimizing the operation of the main drainage systems of mines and quarries has been developed

Keywords: mine, drainage systems, drainage

Головні водовідливні установки (ГВУ) шахт (кар'єрів) є базовими складовими загального комплексу водовідведення підземних вод в водозбірники на денних поверхнях.

ГВУ відноситься до класу енергоємних споживачів електричної енергії (ЕЕ) залізрудних шахт, споживаючи в середньому% від загального споживчого обсягу даних видів шахт. Враховуючи такий вагомий рівень споживання, та оцінюючи потенціал, котрий реально існує в напрямку зменшення енергоємності ГВУ, ця проблема є актуальною, а точніше вона продовжує бути такою. Це підтверджується тим фактом, що відомі дослідження в цьому спрямуванні в тому чи іншому форматі, відносяться ще до перших аспектів застосування саме до електромеханічних комплексів для відкачування вод з шахт. Починаючи з 20-х років двадцятого сторіччя напрям досліджень сфокусувався на розробці АСК режимами функціонування НВУ. Водночас зазначимо, що в останні роки вектор досліджень в структуруванні АСК змістився в площину керування по принципу споживач-регулятор ЕЕ. Створенні для такого варіанту керування, АСК дали певний економіко енергетичний ефект. Проте, такий підхід для формалізації алгоритму керування ГВУ в сучасному баченні не повністю реалізує потенціал даних електроенергетичних комплексів.

Водночас, такий потенціал має місце. І лежить він в форматі зміни режимів функціонування ГВУ з структури «споживач-регулятор» в структуру «споживач-регулятор-генератор електричної енергії». Суть такої реструктуризації полягає в тому, що згідно гідроенергетичного потенціалу водовідливних комплексів ГВУ ці системи можуть працювати в зворотному від споживчого варіанту режимі – виробництва ЕЕ. Для цього насосні комплекси ГВУ повинні мати технічні можливості для цього, що по факту проблемою як такою і не є. Системоутворюючою проблемою тут є економічна доцільність розбудови такої системи на основі комплексів ГВУ. Як свідчить ряд пілотних проектів в цьому варіанті структур ГВУ така доцільність є і вона реальна. Проте, досягнення цієї реальності, можлива лише при умові достатнього рівня оцінювання впливу ряду технологічних та технічних факторів підземних виробництв на варіанти функціонування ГВУ.

Більше того, саме оцінювання рівнів впливу цих факторів дозволить розбудувати як саму структуру всього комплексу так і алгоритм її функціонування. На реалізацію досягнення такої наукової проблеми і спрямовано даний етап досліджень авторів.

Олег Сінчук – к.т.н., доцент, Криворізький національний університет, м. Кривий ріг, E-mail: olegovich.s@knu.edu.ua

Будніков К.В. – аспірант, Криворізький національний університет, м. Кривий ріг, E-mail: speet@ukr.net

Краснопольський Р.І. - аспірант, Криворізький національний університет, м. Кривий ріг, E-mail: speet@ukr.net

Sinchuk Oleh – Associate Prof. of Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, E-mail: olegovich.s@knu.edu.ua

Krasnopskiy R.- postgraduate student of Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih. E-mail: speet@ukr.net

Budnikov K. - .- postgraduate student of Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih. E-mail: speet@ukr.net

СТІЙКІСТЬ ДВОКОНТУРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

Анотація

Доведено стійкість двоконтурних систем керування напругою підвищувального DC-DC перетворювача на основі теорії сингулярно-вироджених систем. Показано умови, за яких можливо розглядати динаміку системи зниженого порядку. Представлено результати тестування системи керування напругою DC-DC перетворювача при розділенні процесів регулювання напруги і струму в часі.

Ключові слова: підвищувальний DC-DC перетворювач, регулятор напруги, похибка регулювання, доведення стійкості, теорія сингулярно-вироджених систем.

Abstract

The stability of voltage control systems of DC-DC boost converters is proven based on the singular perturbation systems theory. The conditions which provide the reduced-order solution of initial nonlinear system dynamics are shown. Results of voltage control system of DC-DC boost converter are presented taking into account the time-scale separation between DC-link voltage and input current dynamics.

Keywords: DC-DC boost converter, voltage controller, regulation error, stability proof, singular perturbation systems theory.

Вступ

Підвищувальні DC-DC перетворювачі широко застосовуються для підвищення постійної напруги, наприклад, в електричних транспортних засобах для керування потоками потужності комбінованих джерел живлення [1].

Математична модель підвищувального DC-DC перетворювача (бустера) представляє собою модель другого порядку, в той же час вона є суттєво нелінійною і немініально-фазовою [2].

Типова двоконтурна структура з регуляторами струму і напруги відома [3], однак, внаслідок нелінійності моделі, в літературі відсутній доказ стійкості системи керування на основі моделі повного порядку DC-DC перетворювача, а також відсутні рекомендації щодо налаштування системи керування. В даній роботі наведено аналіз стійкості двоконтурних систем регулювання напруги підвищувальних DC-DC перетворювачів з пропорційним регулятором (П-регулятором) струму та пропорційним і пропорційно-інтегральним регулятором (ПІ-регулятором) напруги згідно теорії сингулярно-вироджених систем.

Метою роботи є доказ локальної стійкості системи керування напругою підвищувального DC-DC перетворювача, а також встановлення умов, за яких можна розглядати модель системи зниженого порядку і формулювання рекомендацій щодо налаштування регуляторів.

Результати досліджень

Математична модель підвищувального DC-DC перетворювача має вигляд [2]:

$$\dot{V} = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{V} u i - i_L \right), \quad \dot{i} = \frac{1}{L} (-R i + E - u), \quad (1)$$

де V , i – вихідна напруга і струм індуктивності; C , L , R – вихідна ємність, індуктивність та опір вхідного кола; i_L – струм навантаження; E – вхідна напруга; u – керуючий вплив.

Нехай виконуються наступні припущення: параметри моделі (1) відомі та сталі; струм навантаження $i_L = \text{const}$, вхідна напруга $E = \text{const}$; задане значення вихідної напруги $V^* = \text{const}$, $V^* > 0$.

За умови цих припущень необхідно синтезувати алгоритм стабілізації напруги, який забезпечує локальну асимптотичну стійкість системи, так що похибка регулювання напруги $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{V} = 0$, де $\tilde{V} = V - V^*$.

Визначимо похибку регулювання струму як $\tilde{i} = i - i^*$, де i^* – заданий струм, тоді П-регулятора струму

$$u = E - Lk_i \tilde{i}, \quad (2)$$

де $k_i > 0$ – коефіцієнт регулятора струму.

ПІ-регулятор напруги сформуємо у вигляді:

$$\dot{i}^* = \left(\frac{E}{CV} \right)^{-1} (-k_v \tilde{V} + x_v), \quad \dot{x}_v = -k_{vi} \tilde{V}, \quad (3)$$

де $(k_v, k_{vi}) > 0$ – пропорційний і інтегральний коефіцієнти регулятора напруги.

На основі математичного моделювання розглянутих систем повного та зниженого порядку показано, що за умови використання ПІ-регулятора напруги (3) та П-регулятора струму (2), рішення зниженого порядку системи керування може бути досягнуто за умови розділення процесів регулювання напруги і струму в часі. На Рис. 1 представлено результати з достатнім розділенням процесів регулювання струму і напруги.

Висновки

Доведено локальну стійкість двоконтурних систем керування напругою підвищувального DC-DC перетворювача з П-регулятором струму і П(ПІ)-регулятором напруги на основі теорії сингулярно-вироджених систем. Встановлено, що за умови розділення процесів керування струмом і напругою у часі, можливо розглядати систему зниженого порядку. Показано, що врахування опору індуктивності слабо впливає на стійкість системи і на умови розглядання системи зниженого порядку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] A. Yazdani, R. Irvani, *Voltage-sourced converters in power systems*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [2] V. A. Caliskan, O. C. Verghese and A. M. Stankovic, "Multifrequency averaging of DC/DC converters", in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 14, no. 1, pp. 124-133, Jan. 1999, doi: 10.1109/63.737600.
- [3] M. Forouzesh, Y. Pp. Siwakoti, S. A. Gorji, F. Blaabjerg and B. Lehman, "Step-up DC-DC converters: A comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications", in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 12, pp. 9143-9178, dec. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2017.2652318.

Ніконенко Євген Олексійович – аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Пересада Сергій Михайлович – професор кафедри автоматизації електромеханічних систем, електроприводу та електромобільності НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Желінський Микола Миколайович – асистент кафедри автоматизації електромеханічних систем, електроприводу та електромобільності НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

Стаценко Алексей Владимирович – доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем, електроприводу та електромобільності НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", м. Київ.

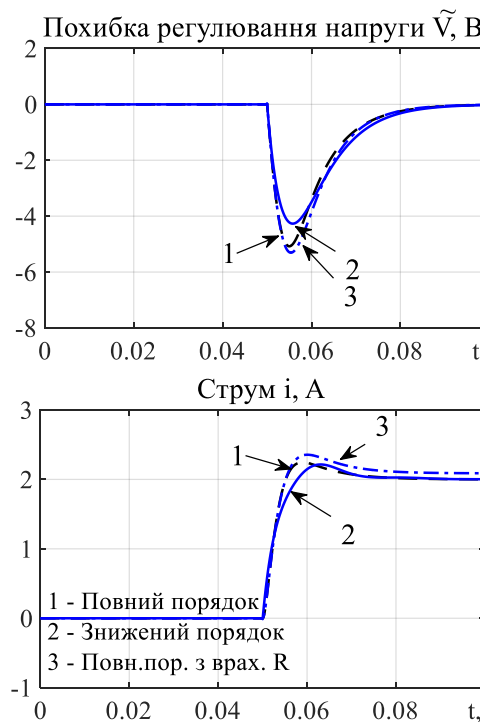


Рис. 1 – Графіки перехідних процесів похибки регулювання напруги і вхідного струму ($k_v/k_i = 0.2$)

МЕТОД КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ БЛОКУ «ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР»

ВП «Хмельницька атомна електростанція»

Анотація

Запропоновано метод контролю ізоляції електрообладнання в колі блоку «генератор-трансформатор», що ґрунтується на комбінованому накладанні постійного струму та змінного струму з частотою меншою за промислову, контролі струму розряду попередньо зарядженого конденсатора та контролі розтікання змінного струму за допомогою котушок Роговського. Запропонований метод дозволить виявляти як стрибкоподібну так і поступову зміну технічного стану ізоляції електрообладнання блоку «генератор-трансформатор»

Ключові слова: синхронний генератор, трансформатор напруги, струмопровід, пошкодження ізоляції, інформаційно-вимірювальна система.

Abstract

The method for controlling the insulation of electrical equipment in the circuit of the «generator-transformer» unit, which based on the combined application of direct current and alternating current with less than industrial frequency, control of discharge current of precharged capacitor and control of alternating current flow by Rogovsky coils is proposed. The proposed method will detect both abrupt and gradual changes in the technical condition of the insulation of electrical equipment unit «generator-transformer».

Keywords: synchronous generator, voltage transformer, current conductor, insulation damage, information-measuring system.

Вступ

Зважаючи на значний ступінь зношення основного електротехнічного обладнання (синхронні генератори, блочні трансформатори) теплових та атомних електричних станцій, впровадження політики продовження строків експлуатації існуючих енергоблоків електростанцій, а також поступове впровадження стратегії ремонту обладнання за технічним станом, не втрачає актуальності питання розробки нових та вдосконалення існуючих систем контролю технічного стану ізоляційних характеристик електрообладнання. Крім того, слід зазначити, що інформаційно-вимірюючі системи, що експлуатують в даний час не мають можливості відстежувати зміну таких електричних параметрів ізоляції електрообладнання блоку «генератор-трансформатор» як опір ізоляції та ємність, що унеможливує виявлення пошкодження на ранній стадії його розвитку.[1-2]

Тому існує актуальна науково-практична задача розробки методу контролю ізоляції, який при мінімальних внесеннях змін до конструкції електрообладнання блоку «генератор-трансформатор» забезпечить виявлення поступової та стрибкоподібної зміни стану ізоляції статора синхронного генератора, струмопроводу, вмонтованих у струмопровід вимірювальних трансформаторів напруги.

Результати досліджень

Для розв'язання задачі пропонується використати комбінований метод накладання постійного струму, використання енергії попередньо зарядженого конденсатора, накладання змінного струму з частотою, що нижча за промислову, та контролю протікання змінного струму з частотою, що нижча за промислову, в обладнанні блоку «генератор-трансформатор» за допомогою датчиків типу котушок Роговського. Реалізація накладання постійного струму та використання енергії попередньо зарядженого конденсатора необхідна для виявлення стрибкоподібної зміни стану ізоляції та визначення перехідного опору в місці виникнення пошкодження типу однофазного замикання на землю. Накладання змінного струму з частотою, що нижча за промислову, та контроль протікання даного струму на виводах електрообладнання забезпечить визначення та контроль зміни активного опору та ємності ізоляції електрообладнання при поступовій зміні стану ізоляції. [3]

Контроль протікання змінного струму з частотою, що нижча за номінальну, можна реалізувати з улаштуванням датчиків типу котушок Роговського наступним чином:

- для синхронного генератора - на лінійних та нульових виводах;
- для трансформаторів напруги що підключені до мережі генераторної напруги – на виводах обмотки високої напруги;
- для струмопроводу – на екранах струмопроводу поблизу місця заземлення струмопроводу перед алюмінієвими перемичками, що з'єднують екрани між собою.

Зазначене розташування датчиків дозволить реалізувати пофазний контроль стану ізоляції основного електрообладнання блоку генератор-трансформатор. Датчики типу котушок Роговського не мають магнітопроводу, що полегшує їх виготовлення та улаштування на широкому спектрі устаткування без виконання великого обсягу монтажних робіт чи значних змін в конструкцію встановленого устаткування. Для захисту від впливу на результати вимірювань завад необхідним буде використання фільтрів верхніх частот на виводах трансформаторів напруги та датчиках типу котушок Роговського. Розрахунок параметрів ізоляції електрообладнання пропонується здійснювати використовуючи Г-подібну схему заміщення обмотки фази електрообладнання.

Висновки

1. Реалізація контролю електричних параметрів ізоляції електрообладнання блоку «генератор-трансформатор» дозволить підвищити ефективність експлуатації енергоблоків завдяки забезпеченню оперативного та ремонтного персоналу достовірною інформацією про технічний стан обладнання та забезпечить можливість прогнозування зміни технічного стану та реалізації ремонту та обслуговування електрообладнання за технічним станом.

2. Крім того, у випадку виникнення пошкодження на обладнанні блоку «генератор-трансформатор», можливим буде оперативно виявити пошкоджений елемент, що зменшить тривалість відновлювальних робіт та недовідпуск електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Reimert D. Protective Relaying for Power Generation Systems. Boca Raton, Florida, USA, Taylor & Francis Group CRC Press, 2005, 592 p.
- [2] Голоднова, О.С. Основные причины отказов турбогенераторов и пути их предупреждения [Текст] / О.С. Голоднова. – М.: ИПК-госсулжбы, 2005. – 93 с. – ISBN 5-8081-0197-2.
- [3] Кутін В. М. Вдосконалення методу контролю ізоляції блока «генератор-трансформатор»./ Кутін В. М., Шпачук О. О. - Вісник Вінницького політехнічного інституту -2020. - №1, с. 39-45.

Шпачук Олександр – кандидат технічних наук, інженер з налагодження та випробувань, ВП «Хмельницька атомна електростанція», м. Нетішин e-mail: shpachuk2@gmail.com.

Shpachuk Oleksandr - Candidate of Technical Sciences, Debugging and Testing Engineer, Khmelnytsky Nuclear Power Plant, Netishyn, e-mail: shpachuk2@gmail.com

ВРАХУВАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ХАРАКТЕРУ ПРУЖНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ РОЗРОБЦІ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДВОДВИГУННОГО ПРИВОДУ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано спосіб врахування нелінійного характеру пружного зв'язку дводвигунного електроприводу похилого дифузійного апарата, що дозволив підвищити адекватність імітаційного моделювання для визначення його динамічних властивостей.

Ключові слова: похилий дифузійний апарат, електричний привод, нелінійний пружний зв'язок.

Abstract

Proposed a method for taking into account the nonlinear character of the elastic connections of the inclined diffusion device's two-motor electric drive, which allowed to increase the adequacy of simulation simulation to determine its dynamic properties.

Keywords: inclined diffusion device, electric drive, nonlinear elastic connection .

Вступ

Дослідження динаміки дводвигунного електроприводу похилого дифузійного апарата (ПДА) вимагає розробки математичних та імітаційних моделей, які б враховували наявний пружно-дисипативний зв'язок між двигунами та основні експлуатаційні характеристики об'єкта. У працях [1] та [2] були розроблені такі моделі та отримані лінеаризовані структурні схеми, однак аналіз динамічних властивостей приводу ПДА в парадигмі лінійної теорії автоматичного керування не забезпечує необхідної адекватності математичного моделювання. Це пов'язано з тим, що пружна деформація таких складних тіл, якими є шнеки ПДА в пружному й в'язкому середовищі, не може описуватись лінійними співвідношеннями за умови значних деформацій.

Метою пропонованої роботи є розробка способу врахування нелінійного характеру пружного зв'язку в імітаційних моделях.

Результати дослідження

Детальні дослідження природи нелінійного характеру деформації шнеків ПДА є досить складною науково-технічною задачею і виходить за межі даного дослідження. За аналогією до математичних моделей двомасової системи, викладених, зокрема, у [3] момент пружної деформації шнеків можна описати з достатньою адекватністю наступним нелінійним співвідношенням:

$$\Delta M = \zeta_{12L} \cdot \Delta \theta + \zeta_{12NL} \Delta \theta^3, \quad (1)$$

де ζ_{12L} , ζ_{12NL} – коефіцієнти, що характеризують лінійну та нелінійну деформацію, $\Delta \theta$ – миттєве значення відносного кута повороту валів верхнього та нижнього двигуна.

Або після нескладних перетворень:

$$\Delta M = \zeta_{12L} \cdot \Delta \theta + \zeta_{12NL} \Delta \theta^3 = (\zeta_{12L} + \zeta_{12NL} \Delta \theta^2) \Delta \theta = \zeta_{12} \Delta \theta,$$

де
$$\zeta_{12} = \zeta_{12L} + \zeta_{12NL} \Delta \theta^2 \quad (2)$$

Таким чином жорсткість пружного зв'язку буде складатись з двох складових і є функцією відносного кута повороту валів верхнього та нижнього двигунів.

Розроблена у [2] та подана на рис. 1 структурна схема є лінеаризованою математичною моделлю механічної частини системи приводу ПДА і може бути використана для режимів з незначною зміною параметрів системи.

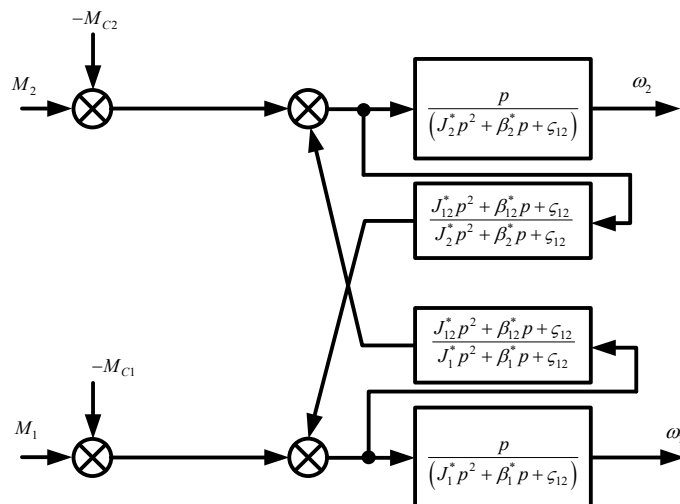


Рис. 1 – Структурна схема механічної частини приводу ПДА

Врахування нелінійного характеру системи можливе за допомогою числових методів і засобів імітаційного моделювання MATLAB. При дослідженні динамічних режимів в таких моделях значення жорсткості є змінною величиною, яка залежить від параметрів режиму, та визначається на кожному ітераційному кроці за виразом (2) та підставляється у модель на наступному. За умови, якщо часовий проміжок між кроками моделі є значно меншим за період електромеханічних коливань, зміна відносного кута повороту валів двигунів буде незначною і нею можна знехтувати.

Оскільки нелінійний параметр ζ_{12} знаходиться в середині передатної функції, то при побудові імітаційних моделей необхідно скористатись прийнятими в теорії автоматичного керування методами перетворень передатних функцій, які дозволяють розробити відповідні підсистеми. Ця операція дає змогу підставляти до моделі значення ζ_{12} на кожному кроці моделювання.

Висновки

В роботі було розроблено математичні та імітаційні моделі дводвигунного електроприводу, які дозволяють враховувати нелінійний характер пружно-дисипативного зв'язку між двигунами, що разом з врахуванням технологічних особливостей роботи об'єкту забезпечило необхідну адекватність математичного моделювання. Отримані результати можуть бути використані при аналізі динамічних властивостей системи приводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, та А. М. Коваль, “Математична і електричні моделі механічної частини шнекових дифузійних апаратів”, *Вісник інженерної академії України*, №1, с. 155 – 160, 2010.
- [2] В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, та А. М. Коваль, “Динамічні властивості системи привода похилого дифузійного апарата”, *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*, №2, с. 86 – 93, 2013.
- [3] Akuro Big-Alabo, and Chinwuba Victor Ossia, “Analysis of the Coupled Nonlinear Vibration of a Two-Mass System”, *Journal of Applied and Computational Mechanics*, vol. 5, no. 5, pp. 935-950, 2019.

Андрій Миколайович Коваль — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, kovand1983@gmail.com

Koval Andrii M. — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electrical measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

СПОСТЕРІГАЧ МЕХАНІЧНИХ КООРДИНАТ В СИСТЕМІ КООРДИНАТ СТАТОРА ДЛЯ НЕЯВНОПОЛЮСНИХ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Запропоновано спостерігач кутової швидкості та положення для неявнополюсного синхронного двигуна з постійними магнітами. Відповідно до аналізу стійкості з використанням другого методу Ляпунова було доведено, що запропонований спостерігач є локально експоненційно стійким і гарантує експоненційну оцінку невідомих змінних. Наведено результати математичного моделювання при роботі спостерігача в розімкненому та замкненому режимах з системою лінеаризуючого зворотнього зв'язку за швидкістю, які демонструють якість роботи запропонованого спостерігача.

Ключові слова: бездавачеве керування, керування швидкістю, синхронний двигун, постійні магніти

Abstract

Angular speed and position observer for surface mounted permanent magnet synchronous motor is proposed. In accordance with the stability analysis using the second Lyapunov method, it was proved that the proposed observer is locally exponentially stable and guarantees an exponential estimate of the unknown variables. The paper presents simulation results of the observer operation in open-loop and closed-loop mode with feedback linearizing speed control algorithm. Results demonstrate effectiveness of the observer.

Keywords: sensorless control, speed control, synchronous motor, permanent magnets

Вступ

Необхідність встановлення давача швидкості/положення для точної роботи синхронних двигунів з постійними магнітами (СДПМ) є одним з найважливіших недоліків, що не дозволяє використовувати їх у більш широкому спектрі застосувань. Вартість давачів механічних координат порівнянна з вартістю двигунів малої потужності. Також ці давачі чутливі до умов навколишнього середовища, вібрацій, що знижує надійність електроприводів на основі СДПМ. Як наслідок, сьогодні існує велика кількість наукових публікацій по темі бездавачевого керування синхронними двигунами. Базовим принципом реалізації такого типу керування є проектування спостерігача швидкості та положення і використання оцінених значень механічних координат для реалізації алгоритму керування. Стійкість розроблених спостерігачів в статтях не завжди доводиться, що не дозволяє використовувати запропоновані рішення в промислових приводах. Ще один фактор - погана ефективність запропонованих спостерігачів. Тому проблема бездавачевого керування СДПМ залишається не повністю вирішеною.

Більшість існуючих спостерігачів швидкості та положення можна розділити на три групи залежно від підходу, який використовується для їх проектування: спостерігачі стану [1], спостерігачі на основі інжекцій додаткових сигналів [2] та спостерігачі що працюють в ковзному режимі [3]. Авторами в [4] був запропонований спостерігач стану, в якому потокозчеплення оцінювались на основі їх похідних в рівняннях динаміки струмів. Для цього додатково були введені фільтри та оцінювались початкові умови. Таким чином спостерігач складався з семи диференціальних рівнянь, що робить запропоноване в [4] рішення складним з точки зору кількості обчислень.

Метою роботи є синтез спостерігача швидкості та положення для неявнополюсного СДПМ в системі координат статора, що потребує меншу кількість обчислювальних ресурсів в порівнянні з рішенням, запропонованим раніше.

Результати досліджень

Запропоновано спостерігач кутової швидкості та кутового положення для неявнополюсного синхронного двигуна з постійними магнітами. В якості базової моделі використано модель в системі координат статора, а саме рівняння динаміки струмів та потокозчеплень. На основі рівнянь спроектовано спостерігач повного порядку. Для аналізу стійкості та проектування оцінювача швидкості був здійснений перехід до динаміки похибок та введено нові змінні стану. Відповідно до аналізу стійкості з використанням другого методу Ляпунова доведено, що запропонований спостерігач є локально асимптотично стійким і гарантує експоненційну оцінку невідомих змінних, а саме кутової швидкості та положення. Під час синтезу спостерігача було введено припущення, що швидкість є постійною, або такою, що повільно змінюється, але спостерігач може бути налаштований таким чином, щоб вплив непостійності швидкості на її оцінку був мінімальний. Положення визначається на основі оцінених значень потокозчеплень. Рівняння спостерігача наведено нижче.

$$\begin{aligned}\dot{\hat{i}}_{\alpha} &= (-Ri_{\alpha} + u_{\alpha} + p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\beta}) / L + k_i \tilde{i}_{\alpha}, \quad \dot{\hat{i}}_{\beta} = (-Ri_{\beta} + u_{\beta} - p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\alpha}) / L + k_i \tilde{i}_{\beta}, \\ \dot{\hat{\psi}}_{\alpha} &= -p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\beta} - L(k_i \tilde{i}_{\alpha} + \gamma_1 p_n \hat{\omega} \tilde{i}_{\beta}), \quad \dot{\hat{\psi}}_{\beta} = p_n \hat{\omega} \hat{\psi}_{\alpha} - L(k_i \tilde{i}_{\beta} - \gamma_1 p_n \hat{\omega} \tilde{i}_{\alpha}), \\ \dot{\hat{\omega}} &= -\gamma_2 (-p_n \hat{\psi}_{\beta} \tilde{i}_{\alpha} + p_n \hat{\psi}_{\alpha} \tilde{i}_{\beta}) / L, \quad \hat{\theta} = p_n^{-1} \arctan(\hat{\psi}_{\beta} / \hat{\psi}_{\alpha})\end{aligned}\quad (1)$$

де $\hat{\theta}$, $\hat{\omega}$ - оцінки положення та швидкості відповідно, $(\hat{i}_{\alpha} \ \hat{i}_{\beta})^T$ - вектор оцінок струмів i_{α} , i_{β} , $(\hat{\psi}_{\alpha} \ \hat{\psi}_{\beta})^T$ - вектор оцінок потокозчеплень, $(u_{\alpha} \ u_{\beta})^T$ - вектор напруг, $\tilde{i}_{\alpha} = i_{\alpha} - \hat{i}_{\alpha}$, $\tilde{i}_{\beta} = i_{\beta} - \hat{i}_{\beta}$ - похибки оцінювання струмів вздовж осей α , β відповідно, R - активний опір, L - індуктивність, $(k_i, \gamma_1, \gamma_2) > 0$ - коефіцієнти налаштування.

Досліджено роботу спостерігача в розімкненому та замкненому режимах. В розімкненому режимі спостерігач не впливає на роботу алгоритму керування. В замкненому режимі роботи спостерігач застосовується для оцінювання механічних координат, які потім використовуються замість вимірних для роботи системи векторного керування та перетворення координат. Перехідні процеси показали, що якість показників керування при бездавачевому керуванні швидкості наближається до випадку коли механічні координати вимірюються.

Висновки

В роботі представлено новий спостерігач швидкості та положення для неявнополюсних СДПМ. Спостерігач гарантує локальну асимптотичну стійкість. Наведено результати моделювання при роботі спостерігача в розімкненому та замкненому режимах роботи. Спостерігач показує високу якість оцінювання невідомих змінних. Тому він може бути використаний для здешевлення електроприводів на базі неявнополюсних синхронних двигунів з постійними магнітами для середньо- або низькодинамічних застосувань, що не потребують роботи на низьких швидкостях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] R. Ortega, L. Praly, A. Astolfi, J. Lee and K. Nam, "Estimation of Rotor Position and Speed of Permanent Magnet Synchronous Motors With Guaranteed Stability," in IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 19, no. 3, pp. 601-614, May 2011
- [2] M. Linke, R. Kennel and J. Holtz, "Sensorless position control of permanent magnet synchronous machines without limitation at zero speed," IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society. IECON 02, 2002, pp. 674-679 vol.1,
- [3] H. Kim, J. Son and J. Lee, "A High-Speed Sliding-Mode Observer for the Sensorless Speed Control of a PMSM," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 9, pp. 4069-4077, Sept. 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2098357.
- [4] Peresada S., Rodkin D. and V. Pyzhov, "Sensorless Speed Control of the Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motors", 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), pp. 379-384, August 2021.

Родькін Дмитро Ілліч — аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: rodkin.dmytro1@gmail.com

Пересада Сергій Михайлович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.

Пижов Володимир Михайлович — к-т техн. наук, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.

Райчук Олексій Іванович — асистент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ.

**ПРИНЦИП ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ
РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З ПОВІТРЯНИМИ ЛІНІЯМИ
ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРУГОЮ 6- 35 КВ**

Кутін В.М.; Кутіна М.В.; Ковальов А. І.

Вінницький національний технічний університет

Найбільш ненадійною частиною розподільної мережі є мережа повітряної лінії електропередач (ПЛЕП), де в якості ізоляції використовується скляні, фарфорові і в останній час полімерні ізолятори. Ізолятори ПЛЕП перебувають під безпосереднім впливом агресивного навколишнього середовища, який проявляється у вигляді забруднення поверхні ізоляторів пилом, брудом, соляними сполуками, що при зволоженні викликає появу на поверхні ізолятора провідного середовища і відповідно струм стікання на землю.

Визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі в умовах експлуатації ускладнюється тим, що не існує достатньо точних кількісних методів оцінювання впливу факторів, що погіршують стан ізоляції. До таких факторів належать процес старіння ізоляції, вологість, забруднення, механічні впливи, перенапруга, корозія і т.п. Тому для контролю ТС ізоляції на практиці використовують опосередковані електричні показники: напругу зміщення нейтралі, тангенс кута діелектричних втрат, загальний активний опір мережі відносно землі, струм і напругу нульової послідовності, провідність фаз відносно землі.

Для вирішення задачі визначення роботоздатності ізоляції РМ пропонується обрати чіткі і зрозумілі критерії для визначення роботоздатності ізоляції РМ і, таким чином, розмежувати роботоздатний і нероботоздатний стани ізоляції РМ. В якості таких критеріїв необхідно використовувати умови безпеки експлуатації ізоляційного обладнання РМ і мінімум втрат електроенергії в ізоляції РМ від струмів стікання на землю, що виникають через дефекти і пошкоджень ізоляції.

ЧИСЛОВІ ІНТЕГРАТОРИ В РОЗРАХУНКАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

¹ Національний університет «Львівська політехніка»

Моделювання перехідних процесів у складних електротехнічних системах, деякі з яких (наприклад, розгалужені електроенергетичні системи) описують тисячами диференціальних рівнянь, є достатньо проблемною задачею навіть для сучасного рівня обчислювальної техніки і методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь [1]. Проблема полягає в тому, що у випадку застосування числових методів на поведінку досліджуваної системи накладається ще й поведінка використаного числового методу. Як показано в роботах [2, 3], внаслідок дискретизації числовими інтеграторами неперервної моделі технічної системи в отриманій цифровій моделі з'являються додаткові нулі та полюси результуючої дискретної передавальної функції, внаслідок чого зростає складність результуючої цифрової моделі електротехнічної системи порівняно з аналоговим прототипом. Проблема загострюється у випадку швидкісного знаходження перехідних процесів в електричних колах у режимі реального часу (real-time calculation) чи й швидше для оперативного керування мережами [1]. Те ж саме стосується сучасних цифрових систем керування, які ґрунтуються на моделях об'єкта чи використовують спостерігачі контрольованих параметрів.

Ключові слова: електричне коло, числові інтегратори, числові методи, дискретизація, нулі/полюси

Вступ

Для дослідження появи похибок від використання числових методів застосуємо відмінний від прикладної математики спосіб – метод передавальних функцій з теорії автоматичного керування.

Звернемо увагу, що у випадку опису динаміки лінійної (лінеаризованої в околі точки) електричної системи засобами передавальних функцій, поведінка такої системи однозначно залежить від розміщення нулів і полюсів цієї передавальної функції (відповідно, коренів поліномів чисельника і знаменника) на комплексній площині [5]. Таким чином, у випадку використання числових методів для розв'язування задач розрахунку динаміки, результуюча дискретна передавальна функція цифрової моделі мала б точно відтворити таку ж саму кількість нулів і полюсів, як і в неперервній моделі. Відзначимо, що для тестового кола другого порядку наявні лише два (дійсні або комплексно-спряжені) корені, які й відповідають за поведінку такої системи.

Мета та задачі

Метою задачі є дослідження природи впливу числових методів під час використання їх як числових інтеграторів в електромеханічних системах.

Таким чином, вирішується **задача** визначення найбільш ефективних числових методів для подальшого використання числових методів у задачах електромеханіки.

Результати досліджень

Увесь процес одержання дискретної передавальної функції цифрової моделі проілюструємо на прикладі явного числового інтегратора четвертого порядку Адамса і кроку h (також відома як формула Адамса-Бешфорта – *Adams-Bashforth* [6]). Дискретна передавальна функція цифрового інтегратора четвертого порядку і процес її одержання показано в [7]:

$$W_4^{AB}(z) = \frac{h}{24} \frac{(55z^3 - 59z^2 + 37z - 9)}{z^4 - z^3} \quad (1)$$

Для одержання цифрової моделі у формі структурної моделі системи другого порядку використане подання у канонічній формі спостережності [5], як показано на рис. 1. Позначення на рисунку:

- a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти характеристичного полінома передавальної функції другого порядку;
- $X(s)$ – відображення за Лапласом вхідного сигналу;
- $Y(s)$ – відображення за Лапласом вихідного сигналу.

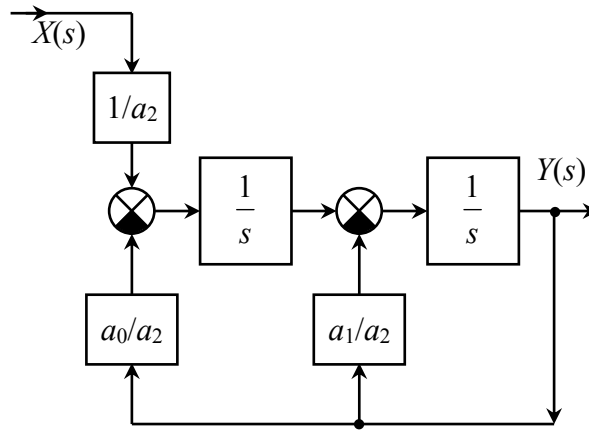


Рис. 1. Структурна схема для канонічної форми передавальної функції другого порядку

Наступним кроком є заміна неперервного інтегратора з передавальною функцією $1/s$ на дискретний інтегратор з відповідною передавальною функцією $W_i(z)$. Це відповідає дискретизації неперервної системи і одержання дискретної передавальної функції цифрової моделі в z -площині.

А тепер справдимо, чи одержана дискретна передавальна функція цифрової моделі має так само два полюси, як і неперервний прототип з передавальною функцією $W_2(s) = \frac{1}{a_2s^2 + a_1s + a_0}$ використовуючи канонічну форму спотережності (рис. 1, [5]). Замінивши неперервний інтегратор (див. рис. 1) цифровим інтегратором з дискретною передавальною функцією $W_i(z)$ після елементарних алгебричних перетворень одержимо дискретну передавальну функцію цифрової моделі ланки другого порядку:

$$W_2(z) = \frac{W_i^2(z)}{a_0W_i^2(z) + a_1W_i(z) + a_2} \quad (2).$$

Зверніть увагу, що нулі та полюси цифрового інтегратора будуть додані до дискретної передавальної функції цифрового аналога неперервної системи. Замінивши $W_i(z)$ на $W_4^{AB}(z)$ у цьому рівнянні, отримаємо дискретну передавальну функцію цифрової моделі з використанням явного числового інтегратора Адамса четвертого порядку:

$$W_2(z) = \frac{(81z^6 + 342z^5 + 271z^4 - 172z^3 + 63z^2 - 10z + 1)h^2}{d_6z^6 + d_5z^5 + d_4z^4 + d_3z^3 + d_2z^2 + d_1z + d_0} \quad (3),$$

де коефіцієнти полінома дискретної передавальної функції четвертого порядку будуть такими:

- $d_0 = a_0h^2;$
- $d_1 = -10a_0h^2;$
- $d_2 = 63a_0h^2 - 24a_1h;$
- $d_3 = -172a_0h^2 + 144a_1h;$
- $d_4 = 271a_0h^2 - 576a_1h + 576a_2;$
- $d_5 = 342a_0h^2 + 240a_1h - 1152a_2;$

$$d_6 = 81a_0h^2 + 216a_1h + 576a_2.$$

В одержаній дискретній передавальній функції з'явилося 6 незалежних від величини кроку h дискретних нулів і 6 дискретних полюсів. Зауважимо, що коефіцієнти полінома знаменника залежать від величини кроку h , що викликає, відповідно, переміщення дискретних полюсів комплексною площиною залежно від значення кроку h . Для деякої величини кроку ці полюси можуть вийти за межі області стабільності.

Але відзначимо найголовніше – поведінка системи з 6 нулями і 6 полюсами відрізняється від поведінки системи з лише 2 полюсами. Більше того, ситуація лише погіршується зі зростанням порядку числового методу внаслідок зростання кількості додаткових нулів і полюсів.

Візьмемо до розгляду тестове електричне коло другого порядку (рис. 2) [2], яким доволі часто можна описати елементи електричних та електроенергетичних систем і для якої просто знаходяться операторним методом Хевісайда [4] аналітичні вирази для вихідних координат з метою перевірки. Простота даного прикладу, тим не менше, дає змогу легко провести необхідний повний аналіз, не вдаючись до складних перетворень.

Комп'ютерні дослідження проводилися на вказаному колі для визначення невідомої напруги на конденсаторі $U_C(t)$. Перехідний процес знаходився для випадку нульових початкових умов і підімкнення джерела напруги E . Одержані результати порівнювалися з аналітичним розв'язком операторним методом Хевісайда (перетворення Лапласа).

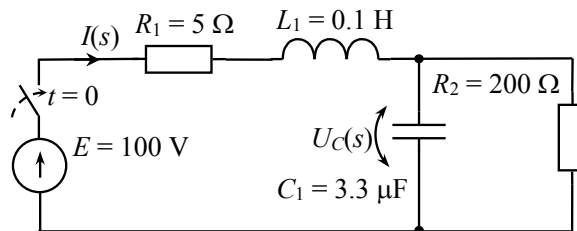


Рис. 2. Тестове коло [2]

Напруга на конденсаторі $U_C(s)$ у цьому випадку матиме таке відображення за Лапласом:

$$U_C(s) = I(s) \cdot \frac{R_2 C_1 s}{R_2 + C_1 s} \quad (3),$$

де $I(s) = \frac{E/s}{Z(s)}$ і $Z(s) = R_1 + L_1 s + \frac{R_2 C_1 s}{R_2 + C_1 s}$.

Після елементарних алгебричних перетворень одержимо відображення за Лапласом напруги на конденсаторі, яке знаходять оберненим перетворенням Лапласа:

$$U_C(s) = \frac{R_2 \cdot E/s}{L_1 C_1 R_2 s^2 + (R_1 R_2 C_1 + L_1)s + R_1 + R_2} \quad (4).$$

Звернемо увагу, що поведінка системи визначається 2 полюсами.

Комп'ютерні розрахунки проведені в середовищі математичного застосунку MATLAB [8] з бібліотекою Control Systems Toolbox [9] і показані на рис. 3 для мапи розподілу нулів/полюсів і кроку $h = 10^{-4}$ с.

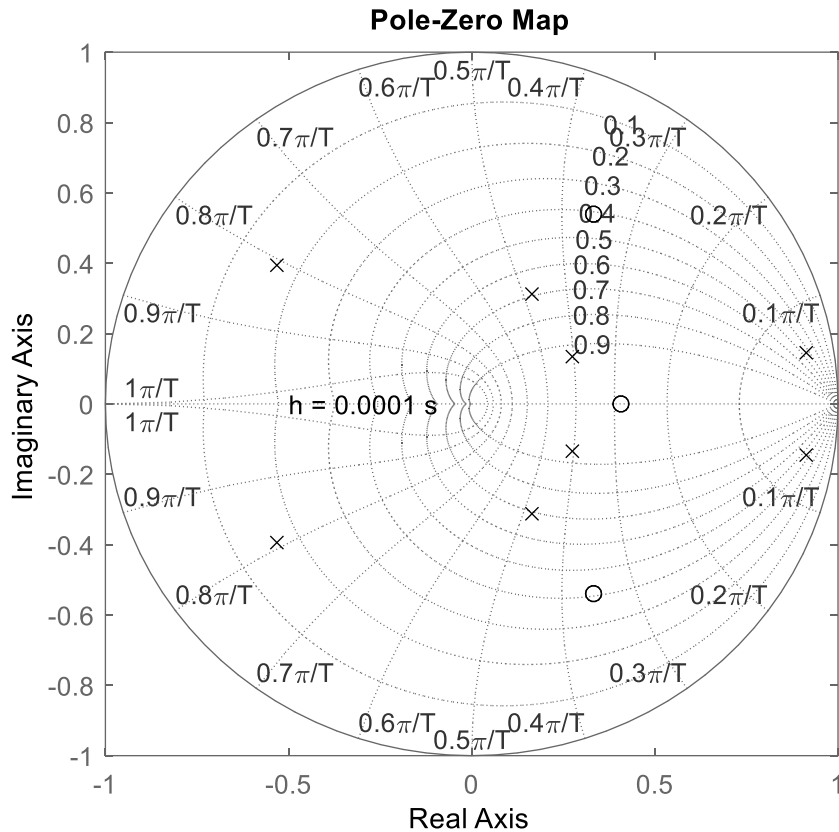


Рис. 3. Розподіл нулів/поліусів для кроку розв'язування $h = 0.0001$ с

Аналогічні результати одержано й для інших числових методів і кроків розв'язування, що підтвердило висунуті положення.

Висновки

Аналіз передавальних функцій цифрових моделей, які одержані дискретизацією неперервного прототипу з використанням числових методів високого порядку, призводить до ускладнення результуючої комп'ютерної моделі. Таке ускладнення викликане внесенням в дискретні передавальні функції цифрових моделей додаткових нулів і поліусів порівняно з вихідною неперервною системою, що, відповідно, змінює її поведінку. Таким чином, внаслідок наведених вище міркувань впливає доволі несподіваний висновок: числові методи розв'язування диференціальних рівнянь високого порядку є неефективними для моделювання електротехнічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] High Performance Computing in Power and Energy Systems / Siddhartha Kumar Khaitan and Anshul Gupta (Eds.) // Power Systems Series. – Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 384 p. [ISBN 978-3-642-32682-0]
- [2] Volodymyr Moroz, Anastasia Vakarchuk. Numerical Integrators on Electrical Circuits' Transient Calculation // 22nd International Conference “Computational Problems of Electrical Engineering” (CPEE-2021), September 15-17th, Šumava, Czech Republic.
- [3] Volodymyr Moroz, Anastasia Vakarchuk. Why High-Order Integrators Not Rational on Electrical Systems' Computer Calculation // IEEE 20th International Conference on Modern Electrical and Energy System September 21-24, 2021. Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine.
- [4] Gustafson G. Heaviside's Method / Grant B. Gustafson // Mathematics Department University of Utah, Salt Lake City. – 2018. – [Access mode]: <http://www.math.utah.edu/~gustafso/HeavisideCoverup.pdf>
- [5] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop. Modern Control Systems. 12th Edition. – USA: Pearson, 2010. – [ISBN-13: 978-0136024583]. – 1104 p.
- [6] E. Hairer, S. Nørsett, G. Wanner. Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems. 2nd Edition. Springer, 2008. [ISBN 978-3-540-56670-0].

- [7] V. Moroz, A. Vakarchuk. Influence of the numerical method sampling on the digital PID-controller behavior // Electrical Power and Electromechanical Systems (SEPES), 2020, Vol. 2, No. 1s, pp. 35-45. <https://doi.org/10.23939/sepes2020.01s.035>
- [8] MATLAB: The Language of Technical Computing. – [Access mode] <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [9] Control System Toolbox: Design and analyze control systems. – [Access mode] <https://www.mathworks.com/products/control.html>

Стаття надійшла до редакції ____2021

Мороз Володимир Іванович — д.т.н., професор, професор кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем.

e-mail: volodymyr.i.moroz@lpnu.ua

Вакарчук Анастасія Борисівна — аспірантка кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем.

e-mail: anastasiia.b.vakarchuk@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка», Львів;

NUMERICAL INTEGRATORS IN CALCULATIONS OF ELECTRICAL CIRCUITS

¹Lviv polytechnic national university

Modeling of transients in complex electrical systems, some of which (for example, branched power systems) describe by thousands of differential equations, is quite a problem even for the current level of computer technology and methods for solving ordinary differential equations [1]. The problem is that in the case of applying numerical methods at the behavior of the studied system is also superimposed on the behavior of the numerical method used. As shown in [2, 3], due to the discretization of the continuous model of the technical system by numerical integrators, additional zeros and poles of the resulting discrete transfer function appear in the obtained digital model. As a result, a complication of the resulting digital model of the electrotechnical system is increasing comparatively with an analog prototype. The problem is exacerbated in the case of high-speed founded in electrical circuits in real-time (real-time calculation) or even faster for the operational management of networks [1]. The same applies to modern digital control systems, which are based on object's models or using observers of controlled parameters.

Keywords: electric circuit, numerical integrators, numerical methods, discretization, zeros/poles.

Moroz Volodymyr I. - Ph.D., Professor, Professor of the Institute of Power Engineering and Control Systems;

e-mail: volodymyr.i.moroz@lpnu.ua

Vakarchuk Anasyasiia B. – PhD student of the Institute of Power Engineering and Control Systems;

e-mail: anastasiia.b.vakarchuk@lpnu.ua

Lviv polytechnic national university, Lviv

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ДЛЯ SMART GRID

Криворізький національний університет

Анотація

Швидкий ріст технологій і щоденно зростаючий попит на електроенергію надає значну роль розумним мережам. Швидкий ріст технологій і щоденно зростаючий попит на електроенергію надає значну роль розумним мережам.

Ключові слова: розумна мережа, перетворювач, електропривод.

Abstract

The rapid growth of technology and the ever-increasing demand for electricity play a significant role in smart grids. The rapid growth of technology and the ever-increasing demand for electricity play a significant role in smart grids.

Keywords: smart grid, converter, electric drive.

Електроенергетичні системи перетворюються зі старих мереж на розумні мережі по всьому світу. Основна мета цього переходу - задоволення поточних потреб, таких як зниження викидів вуглецю, пошук альтернатив викопного палива, викорінення втрат у наявній системі та впровадження новітніх інформаційних та комунікаційних технологій. Розвиток розумних мереж різко прогресує разом із постійним зростанням технологій відновлюваної енергії, особливо вітрової та сонячної енергії, зростанням кількості електромобілів та величезним попитом на електроенергію.

Концепція розумних мереж була створена досить давно, але досі існує мала кількість таких мереж розташованих переважно в академічних установах та у віддалених місцях. До появи Інтернету речей термінологія розумних мереж була нішевою технологією. Нинішній розвиток комунікаційних технологій змінив генерацію та розподіл електричної енергії. Розумні мережі з розповсюдженням відновлюваних джерел готові стати невід'ємним аспектом сучасної енергосистеми. Новий розвиток технології допоможе споживачам та постачальникам послуг взяти абсолютний контроль над витратами; надійність та енергостійкість також забезпечує активну участь усіх зацікавлених сторін.

Розумна мережа - це комбінація апаратного та програмного забезпечення для управління та звітності, побудованого на основі інтелектуальної комунікаційної інфраструктури. У світі розумної мережі у споживачів та комунальних підприємств є інструменти для управління, моніторингу та реагування на енергетичні проблеми. Потік електроенергії від комунального підприємства до споживача стає двосторонньою розмовою, економлячи споживачу гроші та енергію, забезпечуючи більшу прозорість щодо використання кінцевим споживачем та зменшення викидів вуглецю. Загальну концепцію розумної мережі можна розкласти на чотири основні розділи:

- 1) розподілене виробництво енергії за допомогою поновлюваних джерел енергії на місцях;
- 2) ефективне та економічно ефективно управління енергією;
- 3) управління переривчастим характером відновлювальних джерел за допомогою систем зберігання;

4) керування інтелектуальною системою управління та зв'язку для прийняття та виконання рішень.

Ці чотири елементи здатні внести зміну парадигми до енергетичної системи сучасності.

За сучасним світовим сценарієм жорсткий контроль за викидами вуглецю є обов'язковим після впровадження угоди COP21 по всьому світу. Для досягнення надзвичайного економічного зростання в цих умовах важливим чинником є еволюція енергетичної галузі. Розумна мережа з розвинутою технологією та покращеною мережею зв'язку дозволить забезпечити локально керовану та високонадійну енергію.

Зростання попиту на енергію та недавній розвиток технологій сприяють розумнішому способу управління енергетичною екосистемою в цій новій ері розумнішого світу. Зміна парадигми в технології електроенергетичної системи значною мірою змінила виробництво та споживання енергії. Системи управління енергією, вдосконалена технологія управління, зберігання енергії та інтелектуальні

інформаційно-комунікаційні платформи дозволяють забезпечити зелене, надійне та економічне енергопостачання. Ця нова розробка максимізує фінансові вигоди та зменшення забруднення навколишнього середовища, заохочуючи збільшення стійких енергоресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Department of EEE, Sri Krishna College of Technology, Coimbatore, Tamil Nadu, India.
- [2] School of Electrical Engineering, VIT University, Vellore, Tamil Nadu, India.

Супрун О. С. – Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, e-mail: losha.suprun@gmail.com

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНУСНОЇ ДРОБАРКИ ККД-1500/180

Криворізький національний університет

Анотація

Дроблення і подрібнення – це енергоємні операції, на які витрачається більше половини енергії, споживаної фабрикою тому можна зробити висновок, що тут використовуються потужні електроприводи, які знаходяться саме у дробарках

Ключові слова: конусна дробарка, пуск і двигуни.

Abstract

Crushing and grinding are energy-intensive operations that consume more than half of the energy consumed by the factory, so we can conclude that it uses powerful electric drives, which are located in the crushers

Key words: cone crusher, start-up and engines.

Вступ

Конусна дробарка типу ККД має свою особливість – це крупне дроблення. Завдяки своїм розмірам, масі, потужності двигуна та іншим параметрам, які дозволяють саме цій конусній дробарці виконувати крупне дроблення в діаметрі виходу руди від 1500мм – до 180мм. Ще однією особливістю є те що конусні дробарки можуть працювати «під завалом», тобто її спуск може відбуватися при заповненому рудою дробильному просторі.

Результати досліджень

Я обрав двигун типу: АКЗ-13-52-12. Також були приведені до вашої уваги дві статичні характеристики двигуна. На рис. 1 а), на механічній характеристиці, показано з якого моменту відбувається пуск двигуна, критичне пікове значення моменту На рис. 1 б), на електромеханічній або ж швидкісній характеристиці видно значення початкового струму і його зменшення.

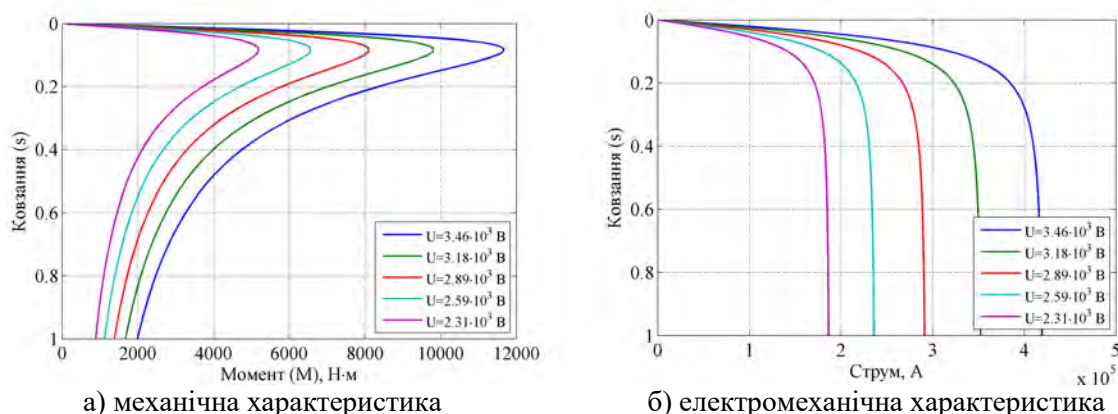


Рис. 1 – Статичні характеристики двигуна

Видно, як накладається момент на три ступені та приведена таблиця. У цій таблиці показані відповіді моїх розрахунків реостатного пуску в яких можна перекопатися, що при такому пуску відбуваються менші втрати потужності за рік, з 320 до 263 кВт на рік.

Далі переходимо до статичних характеристик системи ТРН-АД та можемо побачити суттєві зміни. На механічній характеристиці зі зменшенням значення струму відбувається зменшення і моменту так само як і на електромеханічній, але тільки при зменшенні напруги відбувається зменшення струму.

Зміни торкнулися і розрахунків, відповіді яких наведено знизу мого слайду. Результат суттєво відрізняється від реостатного і прямого пусків. Перша характеристика більш-менш коректна адже просадка при пуску відбувається на 15-й секунді при подачі навантаження. На другій характеристиці видно, що момент скакнув аж до 40-ка тисяч, що є недопустимим значенням. Два останні графіки цього слайду показують великі значення струму статора і ротора. Мабуть особливо ротора.

Агрегати, що використовують гіраційний метод руйнування матеріалів, добре працюють на всіх стадіях переробки сировини. Улаштування конусної дробарки схоже на млинове. Тільки замість плоских жерновів, її основні робочі органи — два конуси, вставлені один в одний. Конусні дробарки поділяють за призначенням: для великого, середнього та мілкового дроблення. Цим обумовлені їх конструктивні відмінності. Конусна дробарка для крупного дроблення більша за розмірами. Але більш істотні дві відмінності — взаємне розташування основних робочих органів та кут сходження внутрішнього конуса. Занадто міцні шматки матеріалу, потрапивши у камеру, можуть заклинити та зупинити роботу дробарки. Щоб цьому запобігти, чашу до рами кріплять не твердо, а на пружинній або гідравлічній підвісці. Іноді робочий конус оснащують дебалансами. Це дає додаткові коливання і покращує якість дроблення.

Також агрегати розрізняють за способом установки: на стаціонарні та пересувні конусні дробарки. Мобільні пристрої компактні, менші за вагою, але і менш продуктивні. Проте їх можна доставити та розмістити ближче до місця переробки корисних копалин, за необхідності — швидко наростити виробничі потужності. Для функціонування дробарки важливо, як підвішена чаша нерухомого конуса. Простіше влаштовані пружинні кріплення. Вони дешевші, витриваліші, їх легше ремонтувати й обслуговувати. Ними оснащують переважно конусні дробарки дрібного дроблення. Гідравлічні та пневматичні кріплення дозволяють краще, точніше регулювати розмір розвантажувальної щілини, дають можливість управляти роботою дистанційно.

Наприклад, зовнішня чаша машин середнього та дрібного дроблення серії Nordberg HP від Metso Minerals закріплена на установчому кільці за допомогою гвинтової нарізки.

При потрапінні недробимого шматка, вона повертається і одночасно піднімається вгору. Після того, як шматок вийшов із зони дроблення, гідравліка швидко повертає верхній конус у задане положення і відновлює ширину розвантажувальної щілини. Відразу після запуску двигуна крутний момент за частки секунди може досягати 150-200%, а струм - 600-800% від номінального. Через це в місцевій електромережі виникає падіння напруги, яке може створювати проблеми. Якщо падіння занадто велике, є ризик, що не запуститься і сам двигун. Головне завдання УПП - забезпечення безступенчатого, плавного розгону і зупинки електродвигуна за рахунок регулювання величини напруги. Плавний пуск позитивно впливає на функціонування системи і запобігає різноманітні негативні прояви: зіткнення шестерень всередині редукторів, прослизання клиновидних ременів, гідравлічні удари в трубопроводах, коливання в конвеєрних системах і т. д. Пристрої плавного пуску виготовляються в строгій відповідності з вимогами стандарту EN60 947-4-2 / IEC. Пристрій призначено для плавного (безударного) пуску і зупину навантажених електродвигунів у приводах: насосів, вентиляторів, конвеєрів, транспортерів, центрифуг, компресорів, дробарок, млинів і т. ін., із застосуванням зовнішніх пристроїв захисту електродвигунів. Використання пристрою дозволяє захистити двигун від мережевих перевантажень, обриву фаз, стрибків напруги, що, у свою чергу, перешкоджає перегріву двигуна, блокуванню ротора і небажаним коротким замиканням.

Висновки

Я обрав плавний пуск адже він є більш доцільнішим і забезпечує найбільшу якість параметрів системи електроприводу при її розгоні. Тобто модернізація електроприводу відбулася встановленням пристрою плавного пуску, що дозволяє удосконалити процес пуску, знизити енергетичні та експлуатаційні витрати на дроблення. Також завдяки плавному пуску ми можемо виключити кидки струму і динамічні удари. Формування плавних перехідних процесів при пуску і гальмуванні забезпечує виключення більших динамічних навантажень, що збільшує термін служби електродвигунів і елементів механічного електроустаткування. Розроблена система плавного пуску може бути використана при модернізації електропривода дробарки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств / [Е.В. Шестере-

нко]: – В.: Видавництво «Нова книга», 2004. – 654 с.

[2] Основи електроенергетики та електропостачання / [А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін]: – Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 348 с.

[3] Правила улаштування електроустановок / – К.: Міністерство палива та енергетики України, 2006. – 736 с.

Кушніренко Д. С. – Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, e-mail: ckariton@i.ua

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація

Розроблено імітаційну модель пасажирського ліфта в MATLAB/Simulink на базі асинхронного електроприводу із просторово-векторним керуванням та із зворотнім зв'язком за швидкістю обертання валу двигуна. Проведено моделювання режимів роботи ліфтової установки в оболонці MATLAB/Simulink за оптимальною діаграмою руху кабіни ліфта. Одержані результати моделювання у вигляді часових залежностей струму статора двигуна, швидкості ротора та електромагнітного моменту можуть бути використані для точнішого налаштування перетворювачів частоти на діючих ліфтових установках.

Ключові слова: ліфтова установка, моделювання, режими роботи, MATLAB/Simulink.

Abstract

A simulation model of a passenger elevator in MATLAB / Simulink based on an asynchronous electric drive with spatial-vector control and feedback on the speed of rotation of the motor shaft has been developed. The modes of operation of the elevator installation in the MATLAB / Simulink shell according to the optimal diagram of the movement of the bodice cabin are carried out. The obtained simulation results in the form of time dependences of motor stator current, rotor speed and electromagnetic torque can be used for more precise tuning of frequency converters on existing elevator installations.

Keywords: elevator installation, modeling, operating modes, MATLAB / Simulink.

Вступ

В сучасних умовах для більшості людей нормальна робота пасажирського ліфта є синонімом нормального життя. Пасажирські ліфти, на відміну від вантажних, мають більшу частоту циклів, більшу швидкість руху, керуються як з кабіни, так і з посадочних майданчиків. В деяких системах також є можливість викликати ліфти на одному поверсі для одночасно підйому та спуску кабіни. Однак, умови роботи пасажирських ліфтів в житлових будинках, готелях та адміністративних будівлях з різною кількістю поверхів настільки різноманітні, що неможливо встановити для них тільки одну уніфіковану систему керування.

Система керування пасажирським ліфтом повинна вирішувати завдання безпечного та комфортного пересування пасажирів. Пересування повинно здійснюватися з допустимим прискоренням, необхідної швидкістю і відсутністю відчутних ривків. Для виконання наведених вимог необхідно отримувати інформацію про становище і швидкості руху кабіни за допомогою різних датчиків [1].

В даній роботі проводилося моделювання режимів електроприводу пасажирського ліфта з метою подальшого використання результатів для точнішого налаштування перетворювачів частоти на діючих ліфтових установках.

Результати досліджень

Під час вирішення завдань розробки систем управління електроприводом ліфтової установки необхідно розглядати його імітаційну модель з позицій об'єкта оптимального управління. Основними вимогами до електроприводу пасажирського ліфта є можливість реверсу, точна зупинка кабіни на заданому рівні, забезпечення мінімального часу перехідних процесів при строго обмежених максимальних значеннях прискорення і ривка. Неточна зупинка тягне за собою збільшення часу входу і виходу пасажирів, що знижує продуктивність і комфортабельність ліфта, що вкрай несприятливо. Ефективним шляхом підвищення точності зупинки є перехід на знижену швидкість, з якою кабіна підходить до датчика точної зупинки.

Моделювання режимів роботи електроприводу пасажирського ліфта проводилося середовищі MATLAB/Simulink. Імітаційна модель електроприводу ліфтової установки розроблена на основі моделі асинхронного електроприводу Space Vector PWM VSI Induction Motor Drive [2] складається з контролера швидкості, випрямляча, перетворювачів, інвертор напруг на базі IGBT – транзисторах і вимірювачів, контролерів струму і самого асинхронного двигуна (рис.1).

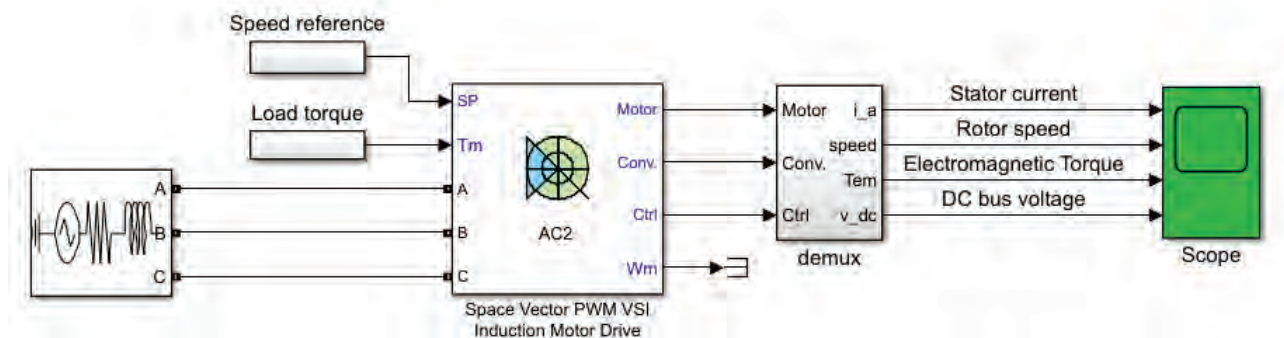


Рис. 1 – Модель електроприводу пасажирського ліфта.

В представленій моделі рух кабіни пасажирського ліфта відбувався за оптимальною діаграмою руху кабіни [3], яка має однакові за тривалістю інтервали пуску і зупинки, протягом яких прискорення і ривок швидкості не перевищують максимально допустимих значень, і інтервал рівномірного руху, протягом якого швидкість руху кабіни не перевищує максимального значення.

Контролер швидкості базується на PI-регуляторі, який керує ковзанням двигуна. Значення ковзання, обчислене PI-регулятором, додається до швидкості обертання двигуна з метою отримання необхідної частоти інвертора. Остання частота також використовується для генерації необхідної напруги інвертора для підтримки постійного співвідношення двигуна U/f .

Висновки

Виконано розрахунок режимів роботи ліфтової установки. Важливим питанням, яке вирішувалося при розрахунку електроприводу ліфта, є точна зупинка кабіни на заданому рівні, із заданою точністю зупинки. Проведено моделювання режимів роботи електроприводу пасажирського ліфта в оболонці MATLAB/Simulink на базі асинхронного електроприводу із просторово-векторним керуванням та із зворотнім зв'язком за швидкістю обертання валу двигуна. Одержані результати моделювання у вигляді часових залежностей струму статора двигуна, швидкості ротора та електромагнітного моменту можуть бути використані для точнішого налаштування перетворювачів частоти на діючих ліфтових установках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Григоров О.В. Ліфти: навч. посібник / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, С.О. Губський, та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2016. – 172 с.
- [2] Simulink is for Model-Based Design. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>
- [3] Стецюк В. І. Підвищення ефективності роботи ліфтових перетворювачів частоти шляхом введення сигналу зворотного зв'язку / В. І. Стецюк, В. А. Нікітов. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – С. 169–177.

Курляк Петро Омелянович — кандидат технічних наук, доцент, кафедра ЕЕМ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, e-mail: petro.kurliak@nung.edu.ua

Бацала Ярослав Васильович — кандидат технічних наук, доцент, кафедра ЕЕМ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, e-mail: yaroslav.batsala@nung.edu.ua

Електронне мережне наукове видання

Інноваційні технології в процесі підготовки фахівців

Матеріали V Міжнародної науково-практичної
інтернет-конференції

19-21 жовтня 2021 року

Збірник наукових праць

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 01.12.2021 р.
Гарнітура Times New Roman. Обсяг 13 Мб.
Зам. № P2021-044

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.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.