

СУЧАСНІ РОЗПОДІЛЬНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ 0,4 - 10 кВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджується структура та особливості функціонування сучасних електромереж напругою 0,4 та 10 кВ. Детально проаналізовано ключові проблеми їх експлуатації, пов'язані зі старінням обладнання та зростаючими вимогами до надійності. Проведено огляд передових закордонних рішень у сфері систем розподілу, а також розглянуто специфіку вітчизняного досвіду реалізації та модернізації сучасних розподільних пристроїв з урахуванням концепції інтелектуальних мереж.

Ключові слова: розподільні пристрої, електромережі 0,4-10 кВ, комутаційне обладнання, автоматичні вимикачі, вакуумна комутація, модернізація мереж, трансформаторні підстанції.

Abstract

This paper investigates the structure and operational features of modern 0.4 and 10 kV power networks. The key problems of their operation, related to equipment aging and increasing reliability requirements, are analyzed in detail. An overview of advanced foreign solutions in distribution systems is provided, and the specifics of domestic experience in the implementation and modernization of modern switchgears, considering the smart grid concept, are examined.

Keywords: switchgears, 0.4-10 kV power networks, switching equipment, circuit breakers, vacuum switching, network modernization, transformer substations.

Вступ

Ефективне та безперебійне функціонування сучасних систем електропостачання міст, агропромислових комплексів та промислових підприємств критично залежить від стану розподільних мереж напругою 0,4 та 10 кВ. Структурно такі мережі формуються з кабельних та повітряних ліній електропередачі, головних розподільних щитів (ГРЩ), ввідно-розподільних пристроїв (ВРП) 0,4 кВ, а також трансформаторних підстанцій (ТП) і розподільних пунктів (РП) 10 кВ. Від технічного рівня, швидкодії та надійності комутаційного обладнання в цих вузлах залежать базові показники надійності електропостачання та загальна стійкість енергосистеми до локальних аварій.

Аналіз сучасного стану досліджень

Незважаючи на глобальні тенденції цифровізації енергетики, вітчизняні електромережі стикаються з низкою серйозних викликів. Насамперед це критичний рівень зносу комутаційного обладнання. На рівні 10 кВ значна частина комірок типу КСО та КРП досі оснащена маломасляними вимикачами та застарілою електромеханічною базою релейного захисту. Це зумовлює високі експлуатаційні витрати, пожежну небезпеку, великі понаднормативні втрати електроенергії та неможливість ефективного дистанційного керування режимами [1]. Крім того, низька чутливість старих електромеханічних реле до однофазних замикань на землю призводить до тривалого існування дугових перенапруг, що пришвидшує старіння ізоляції відхідних кабельних ліній.

Закордонні аналоги систем розподілу демонструють принципово інший підхід. На рівні 10 кВ домінують компактні комплектні розподільні пристрої з елегазовою (КРПЕ) та інноваційною твердою або екологічною газовою ізоляцією (наприклад, без використання SF₆). Вони потребують мінімального обслуговування, мають розширені можливості для постійного моніторингу технічного стану (Health Index) та глибоко інтегровані з інтелектуальними електронними пристроями для реалізації функцій Smart Grid [2]. Провідні виробники також масово впроваджують цифрові протоколи обміну даними, такі як IEC 61850, що дозволяє створювати цифрові підстанції з функціями самодіагностики та предиктивної аналітики відмов.

Окремою проблемою експлуатації існуючих розподільних пристроїв 10 кВ є забезпечення надійної роботи систем релейного захисту в умовах постійних змін топології мережі та режимів навантаження. Зростання потужності споживачів призводить до збільшення рівнів струмів короткого зами-

кання, що вимагає від комутаційного обладнання вищої електродинамічної та термічної стійкості. Традиційні електромеханічні реле, якими масово укомплектовані старі комірки, фізично не здатні забезпечити адаптивну селективність та швидкодію у складних аварійних режимах, що часто стає причиною хибних або неселективних відключень непошкоджених ліній [2].

Основні результати дослідження

Вітчизняна реалізація сучасних розподільних пристроїв 0,4 - 10 кВ базується на впровадженні інновацій з одночасною адаптацією до існуючих інфраструктурних габаритів діючих підстанцій. На рівні 0,4 кВ вітчизняні виробники електрощитового обладнання пропонують сучасні панелі з використанням висувних модулів з автоматичними вимикачами, що суттєво підвищує безпеку персоналу. Додатково в РП 0,4 кВ активно інтегруються автоматизовані установки компенсації реактивної потужності (УКРП) та розумні системи обліку, які дозволяють оптимізувати режими струморозподілу та знизити навантаження на трансформатори.

Модернізація мереж 10 кВ відбувається переважно шляхом масового переходу на вакуумну комутаційну апаратуру [3]. Українські заводи активно реалізують програми «ретрофіту» — швидкої заміни старих масляних викатних візків на сучасні вакуумні аналоги (наприклад, з надійними електромагнітними приводами на базі «магнітної защіпки») без необхідності дороговартісної заміни всього металевого корпусу комірки КРП. Такі приводи забезпечують високий комутаційний ресурс та надвисоку швидкість відключення струмів короткого замикання [3]. Разом із цим, впроваджуються мікропроцесорні пристрої релейного захисту та системи швидкодіючого дугового захисту на базі волоконно-оптичних датчиків. Це дозволяє миттєво локалізувати пошкодження всередині комірки, зберегти обладнання від руйнування та забезпечити інтеграцію підстанції в єдину систему диспетчерського керування (SCADA).

Для вирішення згаданих проблем у сучасних РП 10 кВ ключова роль відводиться глибокій інтеграції мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматики (МП РЗА). Їх застосування спільно з вакуумними вимикачами [3] дозволяє реалізувати складні алгоритми спрямованого захисту від замикань на землю, логічний захист шин (ЛЗШ) та системи автоматичного визначення місця пошкодження (FLISR). Крім того, функціонал сучасних терміналів дає змогу фіксувати високоточні осцилограми аварійних процесів, що критично важливо для подальшого аналізу причин виникнення струмів короткого замикання та оперативного відновлення нормального режиму мережі [1].

Висновки

Модернізація та оновлення розподільних пристроїв 0,4 - 10 кВ є безальтернативним кроком для забезпечення енергетичної безпеки. Перехід до використання інтелектуальних автоматичних вимикачів на стороні низької напруги та необслуговуваних вакуумних вимикачів на стороні середньої напруги дозволяє суттєво мінімізувати аварійність. Використання адаптованих рішень, таких як ретрофіт комірок, дає змогу проводити реконструкцію мереж економічно обґрунтовано, створюючи надійний фундамент для побудови сучасних енергосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулик В. В., Пислярова А.В., Писляров Д.С. Технологічні витрати електроенергії в розподільних мережах 10–0,38 кВ // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — №1. — С. 180–183. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/LANZ/Kulyk_2011_180.pdf
2. Zhou N. A multi-evidence fusion based integrated method for health assessment of medium voltage switchgears in power grid / N. Zhou, Y. Xu // IEEE Transactions on Power Delivery. — 2023. — Vol. 38, No. 2. — P. 1406–1415. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9921339/>
3. Лелюк М. А., Литвиненко В. В., Позняк А. А. Аналіз конструкцій електромагнітних привідних механізмів вакуумних вимикачів середніх напруг // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. — 2020. — №1. — С. 24–28. URL: <http://pema.khpi.edu.ua/article/download/2079-3944.2020.1.04/219188>

Маліновський Анатолій Андрійович – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Кулик Володимир Володимирович – докт. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kulyk.v.v@vntu.edu.ua

Malinovskiy Anatolii A. - student, Vinnitsa National Technical University, student of the department of electric power stations and systems; Vinnitsa, Ukraine.

Kulyk Volodymyr V. - Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: kulyk.v.v@vntu.edu.ua