

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У тезах розглянуто актуальні проблеми забезпечення надійності силових кабельних ліній у розподільних електричних мережах. Проаналізовано основні чинники, що впливають на стан ізоляції кабелів, та зосереджено увагу на основних типах ушкоджень, які виникають у процесі експлуатації. Окрему увагу приділено необхідності впровадження систем технічної діагностики та методів неруйнівного контролю, які дозволяють своєчасно виявити дефекти, оцінити залишковий ресурс та забезпечити безперервний моніторинг стану ізоляції. Також наголошено на перевагах новітніх підходів до контролю, що не впливають на робочий режим мережі. У висновках обґрунтовано актуальність подальших досліджень у напрямі вдосконалення методів діагностики та прогнозування надійності кабельних ліній електропередавання.

Ключові слова: кабельна лінія, ізоляція, розподільча мережа, технічна діагностика, неруйнівний контроль, надійність, пошкодження.

Abstract. The abstracts consider the current problems of ensuring the reliability of power cable lines in distribution electrical networks. The main factors affecting the condition of cable insulation are analyzed, and attention is focused on the main types of damage that occur during operation. Special attention is paid to the need to implement technical diagnostics systems and non-destructive testing methods that allow for timely detection of defects, assessment of the residual resource and continuous monitoring of the condition of the insulation. The advantages of new approaches to testing that do not affect the network operating mode are also emphasized. The conclusions substantiate the relevance of further research in the direction of improving the methods of diagnostics and prediction of the reliability of cable lines.

Keywords: cable line, insulation, distribution network, technical diagnostics, non-destructive testing, reliability, damage.

Вступ

Силові кабельні лінії електропередавання (КЛЕП) є одним з основних елементів електричних мереж систем електропостачання міст, промислових підприємств та багато в чому визначають їх перспективний розвиток. КЛЕП становлять значну частину систем електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства: на великих підприємствах і у великих містах вони стали практично єдиним способом передавання та розподілення електроенергії. КЛЕП відносяться до дорогих, відповідальних і довгострокових елементів систем електропостачання. При збереженні споживачів другої категорії та зменшенні третьої з'явилися об'єкти, що вимагають три незалежних введення (джерела живлення) при двох і більше резервних генеруючих потужностях. Це підвищує кабельні потоки. Тому підвищення надійності силових КЛЕП - одне з найважливіших завдань забезпечення надійного електропостачання споживачів. Електроустаткування складних розподільних систем характеризується значним перевищенням нормативних термінів його експлуатації, що означає велике зношування електрообладнання [1-3].

Результати дослідження

Вихід з ладу розподільних мереж становить близько 70% всіх порушень електропостачання промислових та побутових споживачів, що викликає необхідність періодичного їх діагностування та пошуку пошкоджень. Основною причиною пошкодження всіх класів силових кабельних ліній є старіння силового кабелю. Аналіз статистичних даних старіння електричних мереж показує, що рівень зношення КЛЕП становить понад 40% [4,5].

У процесі експлуатації ізоляція зазнає теплових, електричних, хімічних, механічних, атмосферних та інших видів впливів, в результаті чого відбувається зміна її електричних властивостей і, як наслідок, деякі зміни зазнають і технічні характеристики ізоляційних конструкцій. Наприклад,

збільшення температури навколишнього середовища призводить до зменшення електричного опору діелектриків, в результаті чого спостерігається пропорційне наростання потужності при заданому значенні напруги. Перегрівання діелектрика в таких умовах підвищує ймовірність зниження електричної міцності ізоляції, що надалі може сприяти її пробою. Тому головним завданням експлуатаційного персоналу є контроль та підтримання електроізоляційних властивостей ізоляції на рівні, що виключає її аварійний вихід з ладу [6]. Успішне вирішення цієї проблеми неможливе без уявлення про фізичні процеси та фактори, що викликають виникнення та розвиток часткових розрядів в ізоляційних матеріалах.

Ізоляція високовольтного обладнання та кабелів, згідно з чинними правилами та керівними документами, повинна періодично піддаватися випробуванням. Випробування підвищеним напруженням призводить до посилення процесу іонізації у кілька разів, що призводить до посиленого старіння ізоляції. Метод дає інформацію лише про те, що ізоляція витримала прикладену напругу, але не дає гарантії виявлення дефекту, і жодних прогнозів залишкового ресурсу ізоляції кабелю в цьому випадку не йдеться. При цьому позитивні результати випробувань підвищеною напругою не гарантують безаварійну роботу електроустаткування у майбутньому. Так, у проблемних місцях у найближчі місяці після випробувань частковими розрядами інтенсивно руйнується ізоляція, що призводить до скорочення терміну служби та виходу з ладу КЛЕП. Цей фактор дає істотну перевагу методам неруйнівного контролю (випробувань) кабельних ліній, оскільки в процесі випробувань кабель не схильний до посиленого старіння. Це визначає необхідність розробки нових методів виявлення включень в ізоляції електроустаткування.

Проведення комплексних діагностичних випробувань різними методами неруйнівного контролю дозволяє оцінити ступінь старіння ізоляції та залишковий ресурс електрообладнання. Розробка неруйнівних методів діагностики кабелів є перспективним завданням, яке дозволить збільшити надійність електропостачання споживачів. Надійність електропостачання споживачів залежить від надійності ізоляції КЛЕП. Під надійністю розуміється властивість об'єкта зберігати в часі здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування і є комплексною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкта та умов його застосування може включати безвідмовність, ремонтпридатність [7-8]. Надійність системи електропостачання великою мірою залежить від безаварійної роботи розподільчих електричних мереж напругою 6-35 кВ. За характером пошкоджень у кабельних лініях електричних мереж, розрізняють такі види:

- пошкодження ізоляції, що викликають замикання однієї фази на землю;
- пошкодження ізоляції, що викликають замикання двох або трьох фаз на землю;
- пошкодження ізоляції, що викликають замикання двох або трьох фаз між собою;
- обрив однієї, двох чи трьох фаз без заземлення;
- обрив однієї, двох чи трьох фаз із заземленням обірваних жил;
- обрив однієї, двох чи трьох фаз із заземленням не обірваних жил; пробій ізоляції;
- пошкодження ліній одночасно в двох або більше місцях, кожне з яких може відноситися до однієї з вищевказаних груп.

У розподільних електричних мережах найпоширенішим видом пошкодження є однофазні пошкодження силових кабельних ліній напругою до 10 кВ. Вони виникають найчастіше при погіршенні стану ізоляції та призводять до її пробою. При цьому виді пошкоджень одна з жил кабелю замикається на його оболонку, що екранує. Як відомо, в мережах із ізольованою нейтраллю замикання фази на землю не є коротким замиканням і не вимагає негайного відключення. Це дозволяє зберегти працездатність цих мереж при тривалих замиканнях фази на землю шляхом визначення, виділення та відключення місця пошкодження, а також створення тимчасової схеми живлення споживачів без їх знеструмлення. Однак не можна допускати помилкової недооцінки небезпеки однофазних замикань, основною з яких є можливість виникнення дугових замикань фази, що перемижуються, на землю, що супроводжуються великою кратністю перенапруг на елементах мережі.

За даними досвіду експлуатації 60-80% однофазних замикань у мережах 6-10 кВ розвиваються у міжфазні короткі замикання або багатомісні пробіи ізоляції. Причому в межах до 40% з них,

відбуваються через термічну дію дуги в мережах з підвищеним струмом замикання на землю і більше 60% зумовлені пробоем ізоляції при впливі дугових перенапруг, найчастіше в мережах зі замиканням до 10 А, характерного для мереж власних потреб.

Міжфазні пошкодження становлять близько 20% всіх видів пошкоджень кабельних ліній електропередавання. Їх можна поділити на дві групи. До першої відносяться пошкодження з перехідним опором у місці дефекту, близьким до нуля, і до другої групи - з опором від одиниць кілоом до сотень мегаом. У першому випадку часто всі три жили зварюються між собою і з оболонкою, що екранує. При великому струмі короткого замикання кабель може перегоріти на дві частини. При міжфазних пошкодженнях, що відносяться до другої групи, зазвичай між жилами і оболонкою кабелю є перехідний опір і замикання між собою двох жил відбувається через оболонку, що екранує.

Замикання двох жил між собою без замикання оболонки відбувається рідко. Обрив жил відбувається через переміщення шарів ґрунту у місцях розташування муфт, унаслідок чого відбувається витягування жил кабелю, а в муфтах, зазвичай, розрив жил (розтяжка). При замиканні фази на землю з'являються перенапруги порядку 2,4 - 3,5 кратних у порівнянні з фазним, що може призвести до пробоем ізоляції непошкоджених фаз і переходу однофазного замикання на землю в «двомісне» або подвійне замикання на землю, за своїми характеристиками близьке до двофазних коротких замикань.

Ризик виникнення таких подвійних замикань зріс останнім часом у зв'язку зі старінням ізоляції енергетичних об'єктів та відсутністю коштів на їх модернізацію та заміну. Погіршення стану ізоляції кабельних ліній електропередавання призводить до зростання струмів витоку, в результаті яких може виникнути замикання на землю через пошкоджений ізолятор, що призводить до електробезпечної ситуації в розподільчих мережах. Персонал, який обслуговує дані мережі, у разі аварії може бути схильний до негативного впливу струмів витоку на землю. Тому необхідний безперервний контроль ізоляції мережі, що дозволяє запобігати електробезпечним ситуаціям у разі погіршення ізоляції.

Для підвищення надійності функціонування електричних систем потрібно впровадження експлуатаційного моніторингу, технічної діагностики та прогнозування залишкового ресурсу енергетичного обладнання.

У цьому першому плані виходять методи діагностування, які забезпечують контроль поточного стану обладнання під робочою напругою й у реальних умовах експлуатації. Діагностична система виявляє можлива чи неможлива подальша безпечна експлуатація обладнання [9-10].

Причини пошкоджень КЛЕП:

- Дефекти, викликані помилками проектування: погіршення властивостей ізоляції внаслідок неприпустимого перегрівання струмами навантаження через помилково занижений переріз жил кабелю; пошкодження в аварійних режимах через неправильний вибір захисної апаратури тощо. Заводські дефекти, що виникають під час виробництва кабелів: тріщини чи наскрізні отвори в оболонці; задирки на дротах струмопровідних жил тощо.

- Дефекти прокладання кабелю: круті вигини кабелю на кутах повороту траси; механічні пошкодження (злами, вм'ятини, порізи, перекручування кабелю); недотримання допустимих відстаней до об'єктів, які можуть негативно впливати на кабелі (теплотраса, рейкові шляхи електрифікованого транспорту) тощо.

- Дефекти монтажу муфт: пошкодження або забруднення ізоляції кабелю під час монтажу; неповне заливання муфти мастикою; погане опресування сполучних гільз і т.п. Пошкодження у процесі експлуатації: природне старіння ізоляції; механічні пошкодження кабелів (наприклад, кабелів прокладених у траншеї внаслідок проведення земляних робіт механізованим способом); обрив жил у результаті просідання ґрунту тощо.

Тому завдання забезпечення ефективного безперервного контролю стану ізоляції та на його основі своєчасного виявлення та усунення дефектів ізоляції є актуальним.

Висновок

Відомі методи визначення параметрів ізоляції мають ті чи інші недоліки. Одні з методів вимагають встановлення додаткового високовольтного обладнання або застосування оперативного

струму, що призводить до змін робочого режиму роботи мережі і відбивається на безпеці та надійності електропостачання. Інші методи лише фіксують зниження опору ізоляції, не визначаючи у своїй самій його величину. Методи, засновані на вимірюванні режимних параметрів мережі, і які вносять зміни у робочий режим роботи мережі, вимагають подальшого розвитку у зв'язку з тим, що не забезпечують необхідної точності розрахунків. Подальшого розвитку та дослідження методів заснованих на вимірюванні режимних параметрів мережі є актуальним завданням, що забезпечує безперервний контроль ізоляції.

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

Сорокатиї Павло Миколайович — студент групи ЕСМ-21б, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: psorokatyy610@gmail.com.

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

Pavlo M. Sorokatyi - student of group ESM-21b, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: psorokatyy610@gmail.com.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головатюк В. М. Експлуатація кабельних ліній електропередачі / В. М. Головатюк. — Вінниця: ВНТУ, 2009. — 109 с.
2. Кирик В. В. Електричні мережі та системи: підручник / В. В. Кирик. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 324 с. [ELA KPI](#)
3. Чернецька Ю. В., Замулко А. І. Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж / Ю. В. Чернецька, А. І. Замулко // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. — 2011. — №9 (91). — С. 28–36. [Репозитарій НТУ 'ХП'](#)
4. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.576:2005. Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільних мереж напругою 0,38–20 кВ з повітряними лініями електропередачі. — Київ: Мінпаливенерго України, 2005. — 56 с. [Репозитарій НТУ 'ХП'+3Будстандарт Online+3Forca+3](#)
5. Обґрунтування методу діагностики стану кабельної мережі та оцінка її надійності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2018. — №2. — С. 45–50.
6. Федорова А. В. Аналіз методів та засобів діагностування кабельних ліній : кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра / А. В. Федорова ; Вінницький національний технічний університет. — Вінниця, 2021. — 77 с.
7. Савельєв А. А. Моделі та методи підвищення ефективності ліній електропередачі : дис. ... д-ра філософії : 141 — Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А. А. Савельєв ; Національний університет «Одеська політехніка». — Одеса, 2022. — 150 с.
8. Старченко І. І. Підвищення енергетичної ефективності в розподільних електричних мережах : кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра / І. І. Старченко; Центральноукраїнський національний технічний університет. — Кропивницький, 2022. — 85 с.
9. СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-49:2011 Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанова (у редакції наказу від 26.01.2017 № 82). — Київ : НЕК «Укренерго», 2017. — 120 с.
10. СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-50:2011 Монтаж кабельних ліній електропередавання напругою 110-330 кВ. Інструкція (у редакції наказу від 09.06.2021 № 120). — Київ : НЕК «Укренерго», 2021. — 130 с.