

*Є.В. СИЗОВ***ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТРЬОХЖИЛЬНИХ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ**

У статті розглянуто сучасні методи діагностики технічного стану ізоляції силових кабелів. Основну увагу приділено діелектричній спектроскопії в частотній та часовій областях, а також методам вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат у трьохжильних кабелях зі спільною металевою оболонкою. Наведено принципи прямих і сукупних вимірювань та результати обстеження силового кабелю після 24 років експлуатації на Хмельницькій атомній електростанції. Представлено результати аналізу, що дозволяють підвищити точність діагностики ізоляції кабелів на основі вимірювання електричних параметрів їх ізоляції.

Ключові слова: силовий кабель, діелектрична спектроскопія, тангенс кута діелектричних втрат, електрична ємність, діелектрична абсорбція, діагностика ізоляції, прямі вимірювання, сукупні вимірювання.

*Y. SYZOV***OVERVIEW OF METHODS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF POWER CABLE INSULATION**

This paper provides a comprehensive review of modern methods for assessing the technical condition of power cable insulation based on electrical diagnostic parameters. Special attention is paid to dielectric spectroscopy techniques in both the time and frequency domains, which allow for the identification of aging-related changes in insulation. The advantages and limitations of frequency-dependent diagnostics, including complex permittivity components and $\tan\delta$ behavior, are considered. The study also presents methods for measuring capacitance and the dielectric loss tangent in three-core cables with a common metallic sheath, with detailed analysis of both direct and combined measurement configurations. The principles of interpreting partial and aggregate capacitances are discussed in the context of modeling insulation condition. In addition, the article addresses absorption-based diagnostic methods that rely on the measurement of polarization and depolarization currents and their relationship to the internal dielectric state. The comparison of these methods is performed in terms of diagnostic sensitivity, applicability under field conditions, and potential for integration into condition-based maintenance strategies. This review forms a methodological basis for enhancing the reliability, safety, and efficiency of power cable operation in electrical networks.

Keywords: power cable, dielectric spectroscopy, dielectric dissipation factor, electrical capacitance, dielectric absorption, insulation diagnostics, direct measurements, aggregate measurements.

Вступ. Силові кабелі є одним із ключових елементів систем електропостачання, що забезпечують передачу електричної енергії для функціонування промислових, інфраструктурних та комунальних об'єктів [1 - 4]. Старіння їх електричної ізоляції під дією руйнівних експлуатаційних факторів зумовлює зменшення її електричної міцності та загальне зниження діелектричних властивостей. Несвоєчасне виявлення дефектів ізоляції може призвести до виникнення аварійної ситуації, значних економічних збитків та порушення електропостачання. У зв'язку з цим, вкрай актуальним є застосування методів контролю та діагностики, що дають змогу своєчасно оцінити технічний стан ізоляції та прогнозувати її подальший ресурс. На сучасному етапі розвитку електроенергетики сформувався широкий спектр методів контролю технічного стану ізоляції силових кабелів. Зокрема, інтенсивно розвивається напрям діелектричної спектроскопії, заснований на аналізі частотних характеристик результатів вимірювання параметрів діелектричної абсорбції [5, 6]. В кабельній техніці застосування методів діелектричної спектроскопії найчастіше засноване на вимірюваннях електричної ємності, тангенса кута діелектричних втрат ($\tan\delta$) та складових комплексної діелектричної проникності. При цьому, в практиці контролю технічного стану ізоляції силових кабелів вимірювання проводять за різних частот та рівнів прикладеної напруги. Також досить поширеними на практиці є абсорбційні методи контролю, застосування яких передбачає визначення коефіцієнтів, що характеризують швидкість зміни струму через досліджуваний діелектрик після подачі на нього

постійної випробувальної напруги. В якості таких коефіцієнтів найчастіше використовуються індекс поляризації, який показує зміни в опорі ізоляції через 1 та 10 хвилин після прикладення постійної напруги, зменшення якого нижче 2 є ознакою зістареної ізоляції. Іншим показником якості ізоляції є коефіцієнт абсорбції, що розраховується як відношення опору ізоляції виміряне через 60 секунд після подачі випробувальних напруги до значення опору, що вимірюється через 15 секунд. При цьому зменшення коефіцієнту абсорбції нижче за 1.3 є ознакою зволоження ізоляції. Зазначені показники якості ізоляції широко використовуються в тестах ізоляції Megger MIT525, Fluke 1555 FC, UNI-T UT516B.

Мета статті. Метою даної статті є аналіз і порівняння існуючих методів контролю технічного стану ізоляції силових кабелів з урахуванням їх інформативності, технічної реалізації, переваг і обмежень. Особливу увагу приділено методам діелектричної спектроскопії та оцінці $\tan\delta$ у трьохжильних кабелях із застосуванням прямих і сукупних вимірювань.

Контроль ізоляції силових кабелів із застосуванням методів діелектричної спектроскопії. Серед сучасних методів діагностики технічного стану ізоляції силових кабелів особливе місце займають методи діелектричної спектроскопії. Вони базуються на вивченні реакції діелектричних властивостей ізоляційних матеріалів на електричне поле змінної частоти або на імпульс постійної напруги. Такі методи дають змогу не лише кількісно оцінити стан ізоляції, але й отримати інформацію про фізико-хімічні зміни в її структурі,

© Є.В. Сизов, 2025

виявити вологість, наявність забруднень, часткових розрядів та інші дефекти. Залежно від типу прикладеної напруги та способу обробки сигналу, методи спектроскопії поділяються на два основних напрямки – в часовій та частотній області.

Метод діелектричної спектроскопії в часовій області. Діелектрична спектроскопія в часовій області (Time Domain Dielectric Spectroscopy, TDDS) базується на аналізі струмів поляризації та деполяризації, що виникають в ізоляційному матеріалі після прикладення напруги постійного струму та розряді ємності об'єкта контролю. У ході випробування до об'єкта прикладається напруга заданої амплітуди, після чого вимірюється відгук струму поляризації, що експоненційно зменшується з часом. Основними діагностичними параметрами при цьому є: струм провідності (I_c), струм абсорбції (I_a), коефіцієнт поляризації (PI), коефіцієнт дисперсії (DD). Перевагою TDDS є його чутливість до ступеню зволоження [6], іонної міграції та структурних змін у діелектрику, що не завжди виявляються на високих частотах. Метод застосовується як у лабораторних умовах, так і в умовах експлуатації. Типові часові залежності струмів поляризації та деполяризації наведені на рис. 1, а принципова схема лабораторної установки на рис. 2.

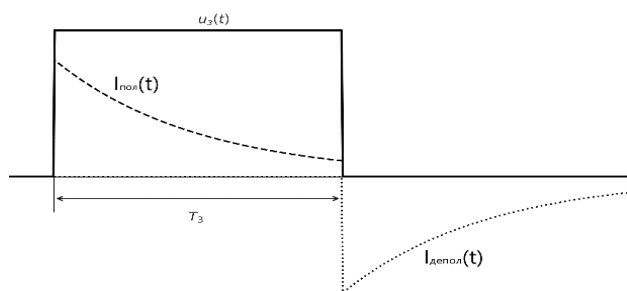


Рис. 1. Схематичне зображення характерних залежностей струмів поляризації та деполяризації [7]

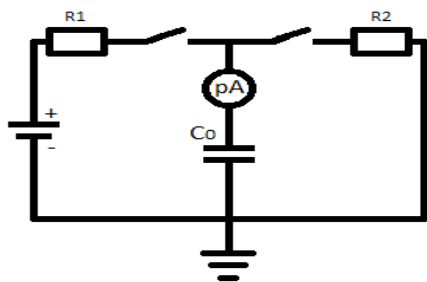


Рис. 1. Схема лабораторної установки для вимірювання струмів поляризації та деполяризації, де C_0 – ємність досліджуваного об'єкта, R_1 та R_2 – захисні резистори [7]

Метод діелектричної спектроскопії в частотній області. Метод діелектричної спектроскопії в частотній області (FDDS) полягає у дослідженні частотної поведінки комплексної діелектричної проникності та її похідних – електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$) [5, 6]. Такий підхід дозволяє встановити взаємозв'язок між властивостями ізоляції та частотою прикладеної напруги а також виявити локальні прояви деградації ізоляції досліджуваного об'єкта. У

нашому випадку вимірювання були проведені на частоті 1 кГц та за схемами з'єднання електропровідних елементів конструкції кабелю: «жила проти двох інших жил та оболонки», «дві жили проти жили та оболонки» та «три жили проти оболонки» [8] із використанням цифрового вимірювача імітансу, для випадку паралельної схеми заміщення досліджуваного шару ізоляції. Ця частота належить до високочастотного діапазону, у якому значення $\text{tg}\delta$ чутливо реагують на наявність електропровідних включень, водних каналів та структурних неоднорідностей в ізоляції. За частоти 1 кГц переважають втрати на поляризацію внаслідок повільних механізмів поляризації. Результати вимірювань на частоті 1 кГц подані на рис. 3 – 8, а також у вигляді відповідних гістограм (рис. 9 – 22)

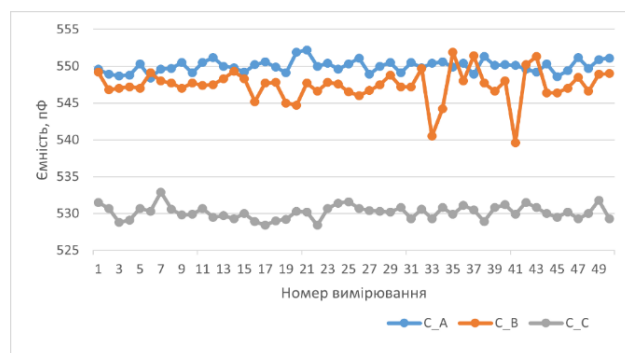


Рис. 2. Результати повторних вимірювань сукупних значень електричної ємності при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших жил та оболонки»

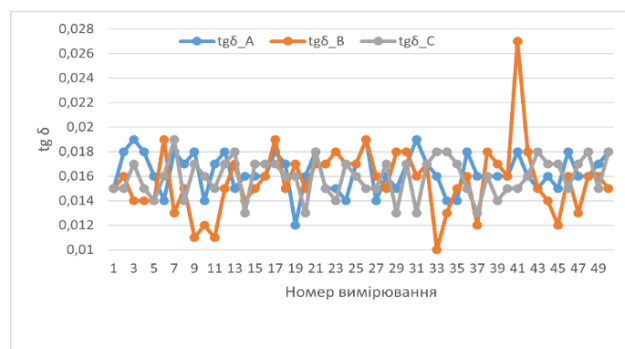


Рис. 3. Результати повторних вимірювань сукупних значень $\text{tg}\delta$ при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших жил та оболонки»

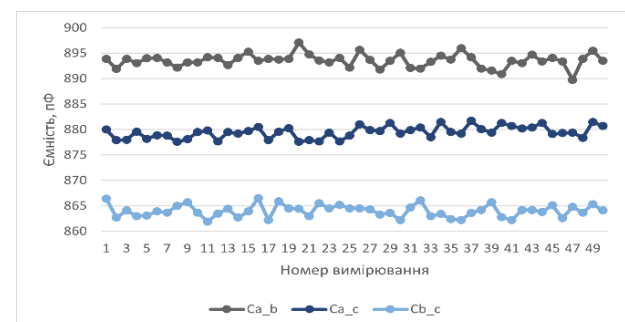


Рис. 4. Результати повторних вимірювань сукупних значень електричної ємності при застосуванні схеми обстеження: «дві жили проти третьої та оболонки»

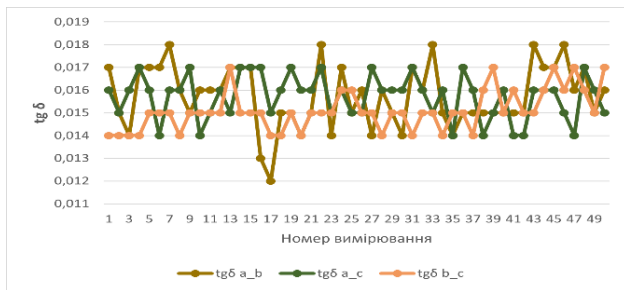


Рис. 5. Результати повторних вимірювань сукупних значень $\text{tg}\delta$ при застосуванні схеми обстеження: «дві жили проти третьої та оболонки»



Рис. 6. Результати повторних вимірювань сукупних значень електричної ємності C_{ABC_G} при застосуванні схеми обстеження: «оболонка проти трьох жил»



Рис. 7. Результати повторних вимірювань сукупних значень $\text{tg}\delta_{ABC_G}$ при застосуванні схеми обстеження: «оболонка проти трьох жил»

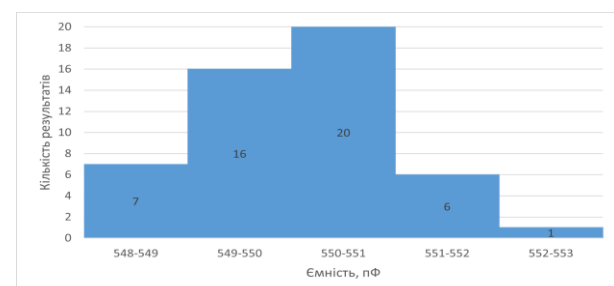


Рис. 8. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності C_A при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших та оболонки»

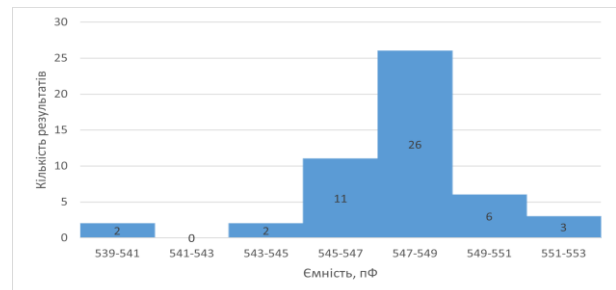


Рис. 9. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності C_B при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших та оболонки»

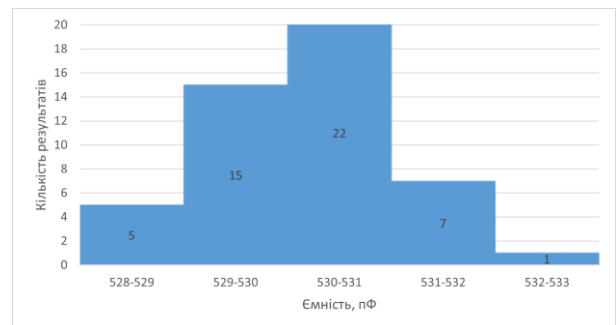


Рис. 10. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності C_C при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших та оболонки»



Рис. 11. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta_A$ при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших та оболонки»

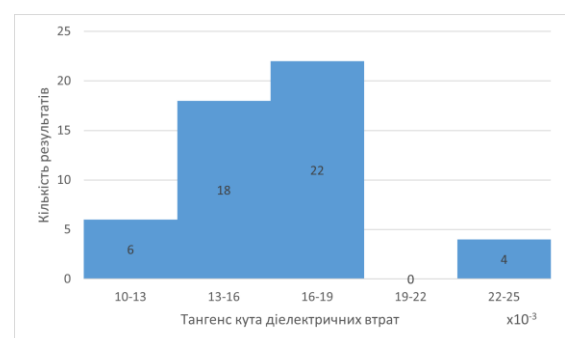


Рис. 12. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta_B$ при застосуванні схеми обстеження: «жила проти двох інших та оболонки»



Рис. 13. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta C$ при застосуванні схеми обстеження «жила проти двох інших та оболонки»



Рис. 17. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta AB$ при застосуванні схеми обстеження «дві жили проти третьої та оболонки»

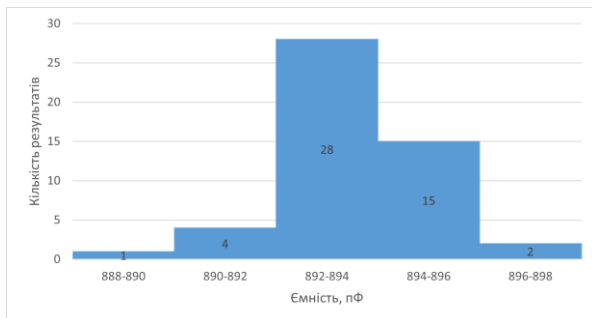


Рис. 14. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності $C_{A_в}$ при застосуванні схеми обстеження «дві жили проти третьої та оболонки»

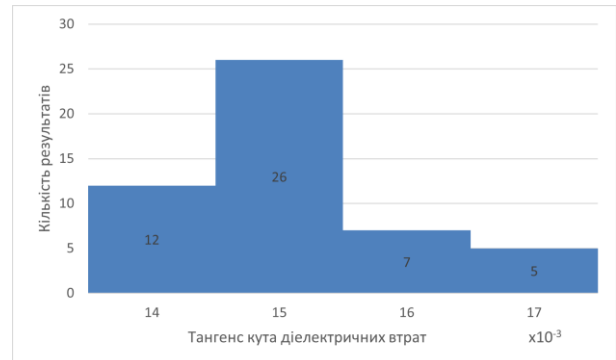


Рис. 18. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta BC$ при застосуванні схеми обстеження «дві жили проти третьої та оболонки»

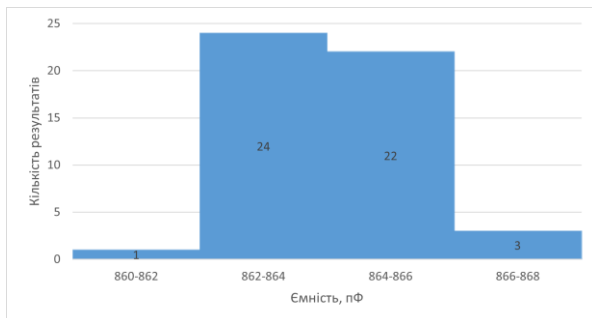


Рис. 15. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності $C_{в_с}$ при застосуванні схеми обстеження «дві жили проти третьої та оболонки»



Рис. 19. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta AC$ при застосуванні схеми обстеження «дві жили проти третьої та оболонки»

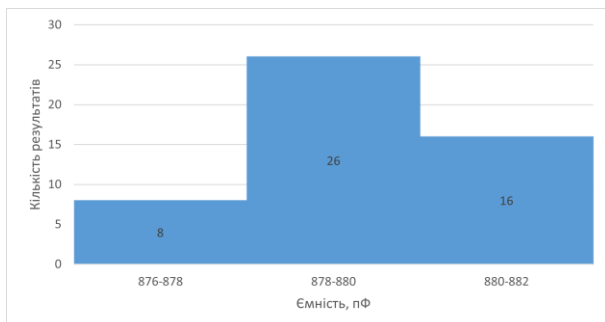


Рис. 16. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності $C_{A_с}$ при застосуванні схеми обстеження «дві жили проти третьої та оболонки»

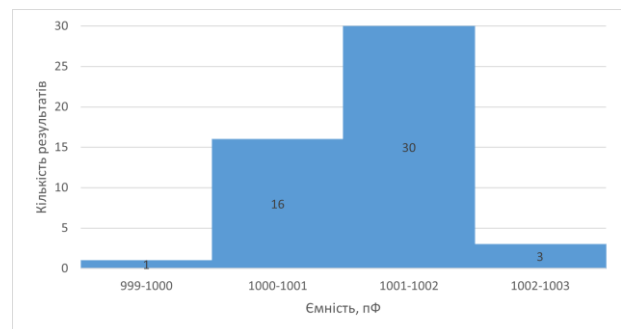


Рис. 20. Гістограма розподілу отриманих значень електричної ємності $C_{авс_г}$ при застосуванні схеми обстеження «оболонка проти трьох жил»



Рис. 21. Гістограма розподілу отриманих значень $\text{tg}\delta$ ABC G при застосуванні схеми обстеження «оболонка проти трьох жил»

Вимірювання ємності та $\text{tg}\delta$ трьохжильних силових кабелів в спільній металевій оболонці. Оцінка технічного стану ізоляції трьохжильних кабелів зі спільною металевією оболонкою значно ускладнюється через наявність кількох ізоляційних прошарків: між кожною парою жил, а також між жилами та оболонкою. Класичні методи контролю, орієнтовані на одножильні кабелі, тут малоприменні. Тому використовуються два підходи – прямі та сукупні вимірювання, що дозволяють визначити індивідуальні параметри діелектричних прошарків.

Прямі вимірювання. Прямі вимірювання реалізуються із застосуванням вимірювальних схем, де кожен ізоляційний прошарок тестується окремо. Це можливо при використанні трьохжильної схеми підключення та відповідного вимірювального приладу (наприклад, мосту C– $\text{tg}\delta$ або RLC-метра з функцією компенсації паразитних ємностей). Основними перевагами методів прямих вимірювань є забезпечення високої точності, мінімізація похибок від впливу інших елементів конструкції та можливість визначення індивідуальних значень часткових ємностей і $\text{tg}\delta$ для кожного шару ізоляції. Недоліком таких вимірювань є необхідність доступу до кожної жили кабелю, що обмежує їх застосування в умовах експлуатації, особливо для кабелів, які вже змонтовано.

Сукупні вимірювання. Сукупні вимірювання є поширеним методом визначення часткових ємностей в ізоляції трьохжильних силових кабелів, особливо у випадках, коли недоступні прямі підключення до окремих ізоляційних прошарків. Метод ґрунтується на багаторазовому вимірюванні загальної ємності кабелю при різних схемах підключення вимірювача імітансу до жил та оболонки кабелю. Отримані сукупні значення ємності використовують для формування системи рівнянь, з яких розраховуються невідомі часткові ємності ізоляційних проміжків. Типова конструкція трьохжильного силового кабелю з паперовою ізоляцією в спільній металевій оболонці містить шість фазну та поясну ізоляцію: три між жилами (C_{AB} , C_{BC} , C_{AC}) і три між кожною жилою та оболонкою (C_{AG} , C_{BG} , C_{CG}). Для вимірювання необхідних параметрів застосовуються наступні комбінації схем підключення.

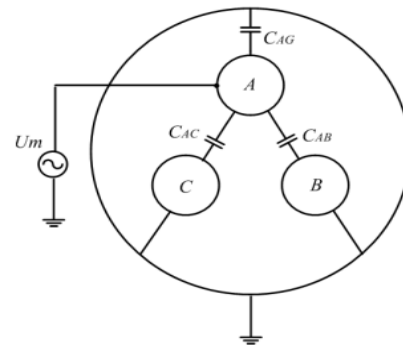


Рис. 22. Схема обстеження ізоляції трьохжильного силового кабелю: «одна жила проти двох інших та оболонки». Дозволяє виміряти сукупні значення ємності C_A , C_B , C_C [3, 8]

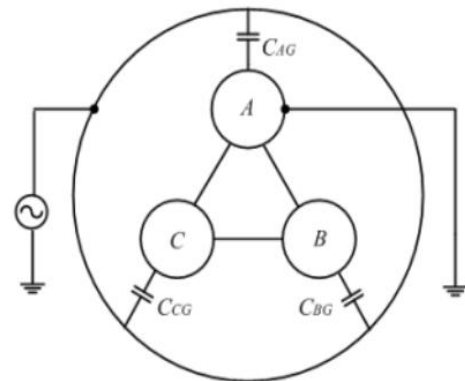


Рис. 23. Схема обстеження ізоляції трьохжильного силового кабелю «оболонка проти трьох жил». Дозволяє виміряти сукупне значення ємності C_{ABC_G} [3, 8]

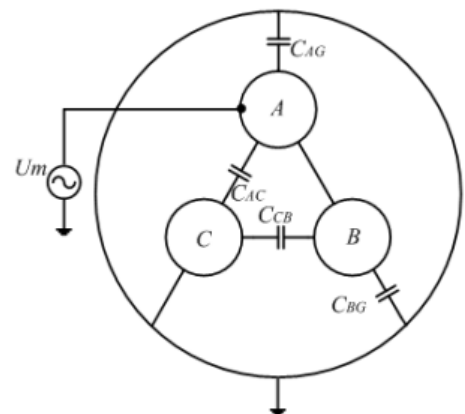


Рис. 24. Схема обстеження ізоляції трьохжильного силового кабелю «дві жили проти третьої та оболонки». Дозволяє виміряти сукупні значення ємності C_{AB} , C_{BC} , C_{AC} [3, 8]

Зростання частоти прикладеної напруги призводить до зменшення отриманих результатів, що пов'язано з частотною залежністю діелектричної проникності ізоляції. Це зменшення виражено сильніше для ізоляцій між жилами та оболонкою, що свідчить про більшу ступінь старіння цих ділянок. Таким чином, сукупні вимірювання дозволяють з високою точністю відновити часткові ємності в конструкції кабелю та надати об'єктивну інформацію про технічний стан кожного ізоляційного прошарку.

Для визначення часткових ємностей використовують результати сукупних вимірювань за різними схемами підключення приладу до жил та оболонки кабелю. Відповідні схеми подано на рис. 23 та рис. 25. На основі результатів вимірювань сукупних ємностей за двома схемами формується система лінійних алгебраїчних рівнянь, що може бути записана у вигляді [3]:

$$Ac = b \quad (1)$$

де:

$c = [C_{AB}, C_{BC}, C_{AC}, C_{AG}, C_{BG}, C_{CG}]^T$ – вектор невідомих часткових ємностей;

$b = [C_A, C_B, C_C, C_{A_B}, C_{B_C}, C_{A_C}]^T$ – вектор результатів сукупних вимірювань;

матриця A містить коефіцієнти:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Система рівнянь (1) вирішувалась для наведених в таблиці 1 середніх арифметичних значень представлених на рис. 9 – 20 результатів повторних вимірювань сукупних значень електричної ємності.

Таблиця 1 – Середні арифметичні результатів повторних вимірювань сукупних значень електричної ємності, що використовувались при вирішенні системи рівнянь (1)

C_A , пФ	C_B , пФ	C_C , пФ	C_{A_B} , пФ	C_{B_C} , пФ	C_{A_C} , пФ
550.006	547.338	530.174	893.566	863.988	879.47

Результати розрахунку індивідуальних значень часткових ємностей ізоляції наведено в Таблиці 2.

Таблиця 2 – Часткові ємності ізоляції трьохжильного силового кабелю

C_{AB} , пФ	C_{BC} , пФ	C_{AC} , пФ	C_{AG} , пФ	C_{BG} , пФ	C_{CG} , пФ
101.914	106.787	100.355	347.737	338.687	323.032

Незалежно від способу вимірювання, у результаті розрахунків визначаються фактичні значення часткових ємностей та індивідуальні значення $tg\delta$ для кожного прошарку ізоляції. Саме ці значення найбільш інформативні з точки зору діагностики, оскільки дозволяють оцінити рівень зволоження кожного шару, порівняти стан фазної та поясної ізоляції, виявити локалізовані дефекти. Зазвичай, значення $tg\delta$ в нормальному стані не перевищують 0.5%, однак при зволоженні або старінні можуть зростати до 5% і більше. Зростання $tg\delta$ свідчить про збільшення провідності ізоляції та зміну її структури. Таким чином, сукупні вимірювання із подальшим аналізом фактичних параметрів дозволяють реалізувати повноцінну оцінку технічного стану ізоляції.

Висновки. У результаті аналізу сучасних підходів до контролю технічного стану ізоляції силових кабелів встановлено, що найбільш інформативними та практично застосовуваними є методи діелектричної

спектроскопії, вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат, а також абсорбційні методи. Методи діелектричної спектроскопії, як у часовій, так і в частотній області, дозволяють оцінити рівень старіння ізоляції, її вологість та внутрішню неоднорідність. Особливо чутливими до структурних змін є параметри $tg\delta$ та ємності в широкому частотному діапазоні. Вимірювання ємності та тангенса кута діелектричних втрат у трьохжильних силових кабелях зі спільною металевію оболонкою можуть бути реалізовані як у формі прямих, так і сукупних вимірювань. Використання перевизначених систем рівнянь із застосуванням методу найменших квадратів дозволяє розрахувати часткові ємності кожного ізоляційного прошарку, що значно підвищує діагностичну точність без втручання в конструкцію кабелю. Такий підхід дає можливість локалізувати потенційно пошкоджені ділянки ізоляції на ранніх стадіях. Абсорбційні методи, засновані на аналізі струмів у перехідному режимі, залишаються простими в реалізації та чутливими до процесів зволоження та термоокиснювального старіння. Водночас, інтегральні діагностичні коефіцієнти, такі як коефіцієнт абсорбції або індекс поляризації, можуть мати неоднозначне тлумачення через екстремальний характер залежності від абсорбційної сталої часу. Використання аналітичного підходу з визначенням індивідуальних параметрів схеми заміщення (опорів та ємностей) дозволяє суттєво підвищити інформативність та точність методів абсорбційної діагностики. Таким чином, раціональне поєднання спектроскопічних, імпедансних та абсорбційних методів із залученням математичного моделювання еквівалентних схем заміщення дозволяє реалізувати комплексну високоточну діагностику технічного стану ізоляції силових кабелів та прогнозувати їх залишковий ресурс.

Список літератури

- Кириленко В.М., Кириленко К.В., Будько М.О., Денисюк П.Л. Обґрунтування додаткових діагностичних параметрів для оцінки стану електричної ізоляції абсорбційними методами. *Електротехніка і електромеханіка*. – 2021. – № 6. – С. 39–45. doi: 10.20998/2074-272X.2021.6.06
- Кириленко В.М., Кириленко К.В. Теоретичне визначення індивідуальних значень параметрів елементів чотирьохелементних схем заміщення ізоляції для абсорбційних методів діагностування. *Електротехніка і електромеханіка*. – 2023. – № 4. – С. 65–72. doi: 10.20998/2074-272X.2023.4.10
- Костюков І.О. Особливості оцінювання часткових ємностей ізоляції трьохжильних силових кабелів з використанням сукупних вимірювань. *Український метрологічний журнал*. – 2021. – № 1. – С. 15–20. doi: 10.24027/2306-7039.1.2021.228201
- Bezprozvannykh G.V., Kostiukov I.A. Error of control of electrical insulation structures by dielectric absorption parameters according to the concept of uncertainty of measurements. *Electrical Engineering & Electromechanics*. – 2020. – No. 1. – P. 47–51. doi: 10.20998/2074-272X.2020.1.07
- Tong Liu, John Fothergill, Steve Dodd, Ulf Nilson. Dielectric spectroscopy measurements on very low loss cross-linked polyethylene power cables. *Journal of Physics: Conference series* 183 – 2009. P. 1-6. doi:10.1088/1742-6596/183/1/012002
- І.О. Костюков, А. М. Борисенко, С. А. Литвиненко, Я. М. Ільчаков. Діагностика ізоляції силових кабелів із застосуванням методів діелектричної спектроскопії: огляд фізичних основ та особливостей практичного застосування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Проблеми удосконалювання

електричних машин і апаратів. Теорія і практика, No 1 (11) 2024 С. 79-83. doi: 10.20998/2079-3944.2024.1.15

- 7 Zaengl W. S. Dielectric spectroscopy in time and frequency domain for HV power equipment, Part 1: Theoretical considerations. *IEEE Electrical insulation magazine*. 2003. Vol. 19 No. 5. P. 5-19. doi: 10.15199/48.2015.08.18
- 8 Беспрозванных А.В., Москвитин Е.С., Кессаев А.Г. Абсорбционные характеристики фазной и поясной бумажно-пропитанной изоляции силовых кабелей на постоянном напряжении. *Электротехника и Электромеканика*. 2015. № 5. С. 63-68. doi: 10.20998/2074-272X.2015.5.09

References (transliterated)

- 1 Kyrylenko V.M., Kyrylenko K.V., Budko M.O., Denysiuk P.L. Obgruntuvannya dodatkovykh diahnostychnykh parametriv dlia otsinky stanu elektrychnoi izoliatsii absorbttsiynymy metodamy. *Elektrotekhnika i elektromekhanika*. – 2021. – No. 6. – P. 39–45. doi: 10.20998/2074-272X.2021.6.06
- 2 Kyrylenko V.M., Kyrylenko K.V. Teoretychne vyznachennia indyvidualnykh znachen parametriv elementiv chotyrykhelementnykh skhem zaminennia izoliatsii dlia absorbttsiynykh metodiv diahnostuvannia. *Elektrotekhnika i elektromekhanika*. – 2023. – No. 4. – P. 65–72. doi: 10.20998/2074-272X.2023.4.10
- 3 Kostjukov I.O. Osoblyvosti otsiniuvannia chastkovykh yemnistey izoliatsii trokhzhylnykh sylovykh kabeliv z vykorystanniam sukupnykh vymiriuvan. *Ukrainskyi Metrologichnyi Zhurnal*. – 2021. – No. 1. – P. 15–20. doi: 10.24027/2306-7039.1.2021.228201
- 4 Bezprozvannykh G.V., Kostjukov I.A. Error of control of electrical insulation structures by dielectric absorption parameters according to the concept of uncertainty of measurements. *Electrical Engineering & Electromechanics*. – 2020. – No. 1. – P. 47–51. doi: 10.20998/2074-272X.2020.1.07
- 5 Tong Liu, John Fothergill, Steve Dodd, Ulf Nilson. Dielectric spectroscopy measurements on very low loss cross-linked polyethylene power cables. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 183. – 2009. – P. 1–6. doi:10.1088/1742-6596/183/1/012002
- 6 Kostjukov I.O., Borysenko A.M., Lytvynenko S.A., Ilchakov Ya.M. Diahnostyka izoliatsii sylovykh kabeliv iz zastosuvanniam metodiv dielektrychnoi spektroskopii: ohliad fizychnykh osnov ta osoblyvostei praktychnoho zastosuvannia. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka*. – 2024. – No. 1 (11). – P. 79–83. doi: 10.20998/2079-3944.2024.1.15
- 7 Zaengl W.S. Dielectric spectroscopy in time and frequency domain for HV power equipment. Part 1: Theoretical considerations. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. – 2003. – Vol. 19, No. 5. – P. 5–19. doi: 10.15199/48.2015.08.18.
- 8 Besprozvannykh A.V., Moskvitin E.S., Kessaev A.G. Absorbttsiini kharakterystyky faznoi i poiasnoi bumazhno-propytanoi izoliatsii sylovykh kabeliv na postoinomu napruheni. *Elektrotekhnika i elektromekhanika*. – 2015. – No. 5. – P. 63–68. doi: 10.20998/2074-272X.2015.5.09

Надійшло (received) 15.05.25

Відомості про авторів / About the authors

Сизов Євгеній Вікторович (Syzov Yevgen) - аспірант кафедри теоретичних основ електротехніки НТУ «ХПІ» м. Харків; e-mail: yevhenii.syzov@iee.khpi.edu.ua.