

Розглянуто вплив метеофакторів на діелектричні характеристики ізоляції трансформаторів струму. Наведено характеристики опосередкованих методик визначення зволоженості паперово-оливної ізоляції шляхом використання кривих рівноваги Ра_{Вге}-РісНона чи Ооттепа. Розроблено математичну модель для дослідження впливу зміни параметрів ізоляції трансформаторів струму під дією температури та зволоженості на роботу системи діагностики ізоляції на основі використання постійного струму.

УДК. 621.316

А.В. Журахівський,
д-р техн.наук,
Ю.А. Кенс, канд.техн.наук,
А.Я. Яцейко
Національний університет
„Львівська політехніка“
Б.С. Третяк
ЗВВА, м. Запоріжжя

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІЗОЛЯЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ТА ДІАГНОСТИКА ЇХ ІЗОЛЯЦІЇ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ

Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок із важливими практичними та науковими завданнями. Ізоляційні конструкції високовольтних апаратів (зокрема, трансформаторів струму) у процесі експлуатації втрачають свої діелектричні властивості, що може призводити до пробою ізоляції та руйнування електричного апарату. Особливо небезпечними є аварії на високовольтному електроустаткуванні, яке працює в умовах значних потужностей короткого замикання, коли пошкодження ізоляції супроводжується вибухом та руйнуванням не лише даного апарату, а й електроустаткування, що розташоване неподалік. Такі аварії призводять до значних матеріальних збитків, порушення електропостачання споживачів та навіть до людських жертв. З метою недопущення подібних аварій проводяться діагностичні випробування електроустаткування. Процес деградації ізоляції може тривати як роками, так і протягом кількох днів чи годин. У зв'язку з цим, проведення періодичних випробувань є малоефективним (про що свідчить, наприклад, аварія у 2005р. на ПС „Львів-Південна“ ЗЕС, коли пошкодився ТС 330 кВ, хоча незадовго до аварії були проведені діагностичні випробування даного ТС і його ізоляція була в нормі, а також аналогічні аварії на інших підстанціях України). Тому доцільним і вкрай необхідним є неперервний контроль ізоляції під робочою напругою.

Водночас, оскільки високовольтне електротехнічне електроустаткування є досить коштовним, тому намагаються якомога довше продовжити термін його експлуатації. Тому одним з основних завдань є розробка нових достовірних методик діагностики високовольтного електроустаткування. Доказам цього є значні кошти, що виділяються Європейським Союзом для досліджень надійних систем діагностики (зокрема, проект REDIATOOL (Надійна діагностика високовольтної ізоляції трансформаторів для забезпечення безпеки систем енергетичних), що реалізувався протягом 2003-2006 р.р. на кафедрі „Високих напруг та матеріалів електротехнічних“ Інституту Електроенергетики Познанської політехніки) [1].

Формулювання цілей статті (постановка задачі). На сьогодні в більшості високовольтних електричних апаратів, що експлуатуються в енергосистемах не лише України, а й Європи, функцію основної ізоляції виконує трансформаторна олива та комбінована ізоляція (паперово-оливна або оливно-бар'єрна). Основними факторами та чинниками, що призводять до погіршення діелектричних характеристик такої ізоляції є температура, зволоженість та процеси старіння. Важливим є встановлення впливу кожного з цих

факторів на рівень погіршення та можливість подальшої експлуатації ізоляційної конструкції й апарату в цілому.

Важливо також встановити працездатність розробленої нами системи діагностики на постійному струмі ізоляції трансформаторів струму під робочою напругою за врахування зміни діелектричних характеристик ізоляції від температури і зволоженості.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для встановлення впливу експлуатаційних факторів на діелектричні характеристики було проведено дослідження впливу ступеню старіння трансформаторної оливи, температури (вимірювання проводились для 20 °С і 50 °С), а також зволоженості на питомий об'ємний опір (ρ_v) оливи для постійної та змінної напруг.

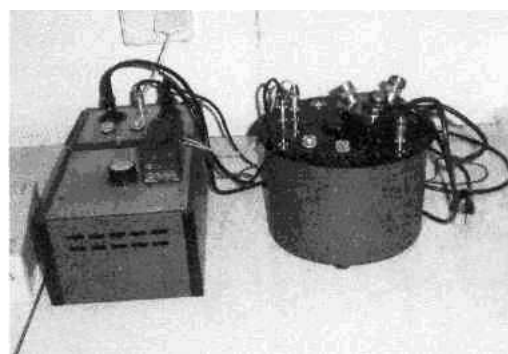
Вимірювання проводились у лабораторії „Високих напруг та матеріалів електротехнічних” Познанської політехніки (Польща).

Під час проведення вимірювань використовувався програмно-вимірний комплекс ЮА-200 виробництва фірми Programma (рис. 1а), який складається з вимірювального модуля (рис. 2) та комп'ютера зі спеціальними програмами [2]. Вимірювальний модуль призначений для визначення зміни діелектричних параметрів ізоляційних матеріалів (чи конструкцій) від частоти прикладеної напруги. Для вимірювань характеристик трансформаторної оливи використовувався спеціальний триелектродний резервуар для дослідження рідких діелектриків фірми Tet-tex, типу 2903 (рис. 1б). Для вимірювання питомого опору трансформаторної оливи на постійній напрузі використовувався цифровий мегаомметр типу МІС-2500 з постійною напругою величиною до 2500 В. Для визначення зволоженості досліджуваних проб оливи використовувався Титратор TitroLine KF, принцип дії якого базується на використанні методики Карла-Фішера (використовується розчинник (суміш хлороформу і метанолу), який розчиняє оливу та вологу, а спеціальний розчин (HYDRANAL-Composite 2) розкладає молекули води, а далі за кількістю витраченого розчину пристрій визначає кількість розчиненої води в оливі (чи іншому матеріалі) в ppm).

На рис. 3 наведено графіки зміни питомих об'ємних опорів оливи та їх апроксимовані залежності від вмісту вологи (F , ppm) для температур 20 і 50 °С. За вимірювань проб оливи на змінній напрузі виконано також аналіз зміни питомого об'ємного опору від частоти прикладеної напруги. Результати вимірювань для двох проб оливи з різним вмістом вологості та для різних значень температури оливи наведено на рис. 4.



а)



б)



Рис. 1. Устаткування, що використовувалось під час проведення досліджень: а) IDA-200 фірми Programma; б) спеціальний резервуар для дослідження оливи; Titrator TitroLine KF фірми Schott; г) цифровий мегаомметр MIC-2500

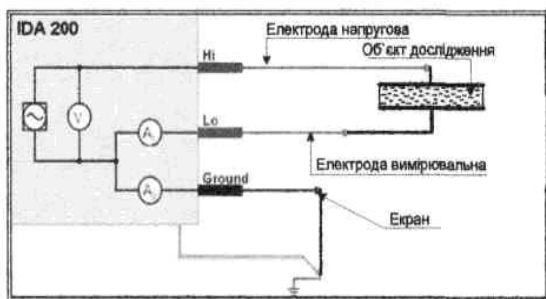


Рис. 2. Схема сполучень для дослідження характеристик трансформаторної оливи (на основі вимірювального модуля ЮА-200)

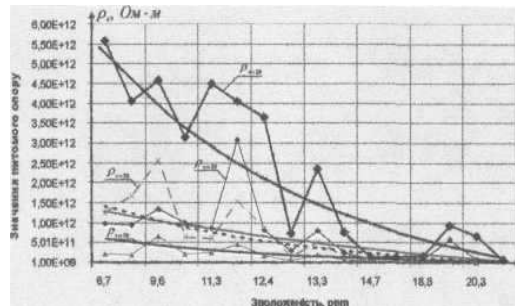


Рис. 3. Залежність питомого об'ємного опору трансформаторної оливи від вмісту вологи для температур 20 і 50 °С

Оскільки, під час вимірювань характеристик трансформаторної оливи використовувались проби оливи, взяті з різних силових трансформаторів та відповідно, в них різні ступені старіння та забруднення ізоляції, то отримані залежності $\rho_v = f(F)$ мають значний розкид значень ρ_v за незначної зміни зволоженості (рис. 3).

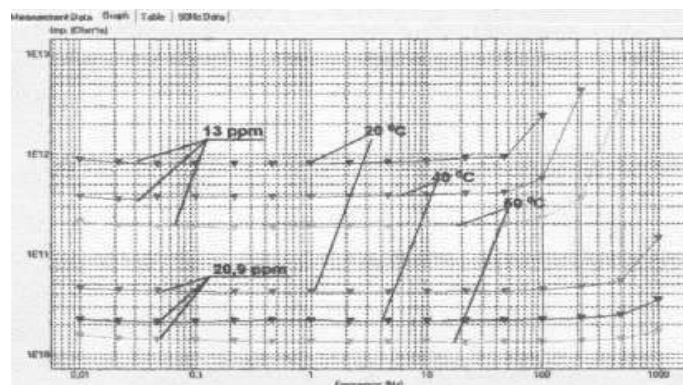


Рис. 4. Зміна питомого об'ємного опору оливи від частоти прикладеної напруги за різних значень зволоженості та температури

Щоб усунути вказаний недолік та для зручності аналізу результатів подальших досліджень, представимо дані характеристики математичними виразами. Оскільки, залежності рис. 3 мають явно виражений експоненціальний характер, то апроксимуємо їх функцією:

$$\rho_V(F) = A \cdot e^{-\alpha \cdot (F-6.7)} + B, \quad (1)$$

де A , B , α - коефіцієнти апроксимуючої залежності, $(F-6,7)$ – вказує на те, що апроксимуюча функція починається зі значення зволоженості $F=6,7$ ppm.

Визначення коефіцієнтів апроксимуючої функції виконуємо з умови найменшого її відхилення від апроксимованої залежності $\rho_{V_{ексн}}$ за методом найменших квадратів [3]. Оскільки апроксимуюча функція (1) має три невідомі коефіцієнти, то для їх знаходження необхідно сформулювати систему з трьох рівнянь. Використовуючи методику формування рівнянь за методом найменших квадратів, та вираз апроксимуючої функції отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (\rho_{V_{ексн}_i}(F) - A \cdot e^{-\alpha(F_i-6.7)} - B) \cdot 1 &= 0; \\ \sum_{i=1}^n (\rho_{V_{ексн}_i}(F) - A \cdot e^{-\alpha(F_i-6.7)} - B) \cdot e^{-\alpha(F_i-6.7)} &= 0; \\ \sum_{i=1}^n (\rho_{V_{ексн}_i}(F) - A \cdot e^{-\alpha(F_i-6.7)} - B) \cdot (-A \cdot (F_i - 6,7) \cdot e^{-\alpha(F_i-6.7)}) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (2) знаходимо коефіцієнти апроксимуючої функції для кожної із графічних залежностей (рис. 3). Отримані апроксимаційні функції мають вигляд:

$$\begin{aligned} \rho_{V \approx 20}(F) &= 1,91 \cdot 10^{12} \cdot e^{-0,067(F-6.7)} - 6,69 \cdot 10^{11}; \\ \rho_{V \approx 50}(F) &= 7,04 \cdot 10^{11} \cdot e^{-0,166(F-6.7)} - 5,6 \cdot 10^{10}; \\ \rho_{V=20}(F) &= 7,127 \cdot 10^{12} \cdot e^{-0,129(F-6.7)} - 1,1 \cdot 10^{12}; \\ \rho_{V=50}(F) &= 1,865 \cdot 10^{12} \cdot e^{-0,135(F-6.7)} - 2,56 \cdot 10^{11}. \end{aligned} \quad (3)$$

Апроксимуючі функції (3) від зміни зволоженості P показано на рис. 3 (згасаючі експоненти).

Аналізуючи залежності, наведені на рис. 3 і 4, бачимо, що зі збільшенням зволоженості трансформаторної оливи, значно погіршуються її діелектричні характеристики. Зокрема, зростання вмісту вологи з 6,7 ppm (найменший вміст вологи зі всіх досліджуваних проб оливи) до 20,9 ppm призводить до зменшення питомого об'ємного опору оливи (для 20 °C) з $5,5 \cdot 10^{12}$ Ом-м до $6,7 \cdot 10^{10}$ Ом-м, тобто питомий об'ємний опір зменшується більш ніж у 80 разів, а, відповідно, й еквівалентний опір ізоляції всього об'єму оливи електричного апарата теж зменшується у стільки ж разів, що є недопустимим для подальшої експлуатації. Важливим чинником, що впливає на характеристики ізоляційних матеріалів, є й температурна залежність питомого об'ємного опору. Навіть для ізоляції з малим вмістом вологи (6,7 ppm) зміна температури з +20 до +50 °C спричинює зміну ρ_V з $5,5 \cdot 10^{12}$ Ом-м до $1,24 \cdot 10^{12}$ Ом-м (зменшився в 4,5 рази), а якщо при цьому ще врахувати зростання зволоженості (наприклад до 12,5 ppm, то одержимо

зменшення ρ_v приблизно у 8 разів. Тому, під час дослідження зміни діелектричних характеристик високовольтної ізоляції, надзвичайно важливо враховувати одночасно вплив температури та вологи.

Однак, у більшості високовольтних апаратів функцію основної ізоляції виконує паперово-оливна ізоляція (ПОІ) і, якщо пробу оливи можна взяти й дослідити, то взяти для досліджень пробу паперу практично неможливо. У зв'язку з цим використовують так звані опосередковані методики визначення зволоженості паперово-оливної ізоляції. Дані методики базуються на тому, що за відомим значенням зволоженості оливи, використовуючи криві рівноваги Fabre-Pichona [4] чи Oommana [5] (рис. 5), можна визначити зволоження паперової

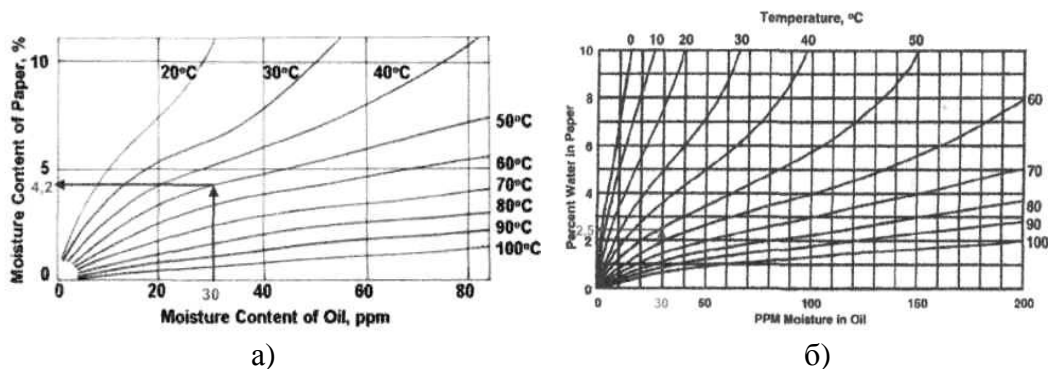


Рис. 5. Криві рівноваги для середовища олива-папір: а) криві Fabre-Pichona; б) криві Oommana

ізоляції. Криві Fabre-Pichona було побудовано шляхом лабораторних вимірювань: для комбінації повітря-папір-олива після встановлення стану рівноваги, шляхом використання методики Карла-Фішера визначалось зволоження оливи та паперу. Однак, в комбінації папір-олива стан рівноваги встановлюється досить повільно, особливо за низьких температур, тому існують сумніви стосовно достовірності цих кривих.

Під час побудови кривих Oommana було використано непряму методику, яка полягає в накладанні кривих вмісту вологи в оливі і папері, як функції відносної вологості повітря. Тобто було використано той факт, що значно швидше можна досягти стану рівноваги між папером і повітрям, ніж між оливою та просоченим папером. У зв'язку з цим, криві рівноваги Oommana видаються більш достовірними ніж криві Fabre-Pichona [6].

Отже, використовуючи залежність питомого об'ємного опору оливи від зволоженості та температури (рис. 3), за кривими рівноваги Oommana (рис. 5б) можемо визначити фактичне зволоження паперово-оливної ізоляції, що в свою чергу дозволить, використовуючи залежності ру паперово-оливної ізоляції від температури та зволоженості (рис. 6) відтворити реальний стан ізоляції за будь-яких значень зволоженості та температури. Отримані дані можна використати під час проведення досліджень систем діагностики ізоляції високовольтного електроустраткування.

Як було відмічено вище, доцільним і вкрай необхідним, з умов економічності використання та зменшення впливу людського фактору на результати вимірювань, є неперервний контроль ізоляції під робочою напругою. Використання контролю ізоляції під робочою напругою дозволяє: зменшити матеріальні та часові затрати, виконувати діагностику в реальних експлуатаційних умовах, виконувати контроль з необхідною періодичністю чи неперервно. Однак, реалізація контролю під робочою напругою має ряд труднощів, зокрема, наявність високої напруги та значних завад [8].

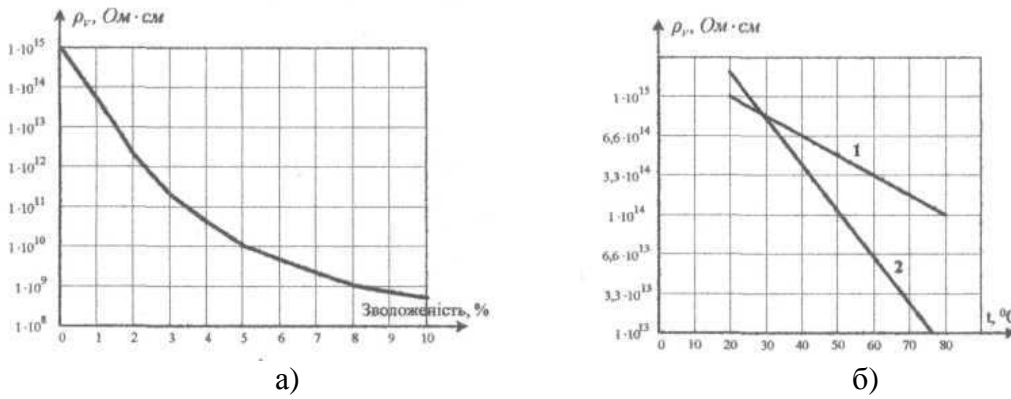


Рис. 6. Залежність ρ_v паперово-оливної ізоляції від зволоженості для 20 °С (а); залежність ρ_v паперово-оливної ізоляції від температури [7]: 1-просоченої трансформаторною оливою; 2- просоченої компаундом (б)

Аналіз принципів реалізації та досвіду використання відомих систем контролю показує їх неефективність, тому нами запропоновано принципово новий спосіб діагностики ізоляції оливонаповненого електрообладнання під робочою напругою та пристрій для його реалізації [9]. Працездатність пропонованого пристрою діагностики ізоляції високовольтного електроустаткування підтверджена шляхом математичного моделювання та лабораторними дослідженнями у високовольтній лабораторії [10].

Суть пропонованого способу полягає в тому, що до ізоляції випробовуваного трансформатора струму (ТС) прикладається невелика постійна напруга (100 ÷ 200 В), що дозволяє вимірювати постійну складову струму, яка протікає по опорі ізоляції, незалежно від величин змінних струмів зі сторони високовольтної електромережі.

На рис. 7 наведено схему неперервного вимірювання постійного струму спливу в ізоляції ТС під робочою напругою. Постійна напруга від джерела уніполярної напруги U_d через еталонний резистор R2 і резистор R1 підводиться до вимірного виводу (ВВ) „И” ТС. Вивід „З” ТС -заземлений.

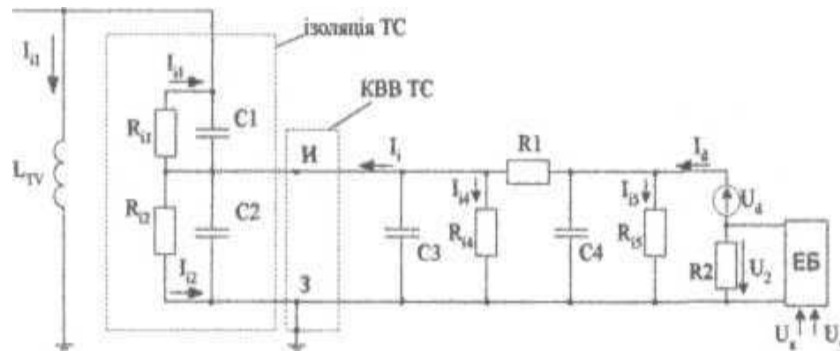


Рис. 7. Схема неперервного вимірювання постійного струму спливу в ізоляції ТС під робочою напругою: КВВ – коробка вторинних виводів; ЕБ - електронний блок; U_d - джерело постійної напруги; L_{TV} – заземлена обмотка трансформатора напруги підстанції.

Між ВВ „И” ТС та землею увімкнено ємність C3, яка призначена для обмеження величини змінної напруги між ВВ „И” та землею. Ланка R1-C4 необхідна для того, щоб звести до мінімуму змінну складову напруги промислової частоти мережі $U_{C4(50)}$, яка

підводиться через резистор R2 до джерела постійної напруги U_d від ВВ „И” ТС. За величиною спадку напруги на резисторі R2, спричиненому протіканням постійного струму через ізоляцію контрольного трансформатора струму, можна робити висновки про стан його ізоляції.

Розглянемо принцип роботи системи діагностики ізоляції під робочою напругою на прикладі трансформатора струму 330 кВ типу ТФУМ-330.

Основу високовольтної ізоляції трансформаторів струму становить паперово-оливна ізоляція, яка для вирівнювання напруженості електричного поля розділена вирівнюючими обкладками на певну кількість шарів. Головна ізоляція ТС ТФУМ-330 складається із 15 шарів паперової намотки, які розділені між собою вирівнюючими обкладками з металевої фольги (рис. 8). Остання п'ятнадцята вирівнююча обкладка за допомогою спеціального провідника під'єднується до металевих деталей ТС, що заземляються. Для того, щоб можна було оцінити в будь-який час стан ізоляції ТС, від передостанньої обкладки виводиться спеціальний вимірювальний вивід, основне призначення якого — забезпечити під'єднання до високовольтної ізоляції систем вимірювання та діагностики.

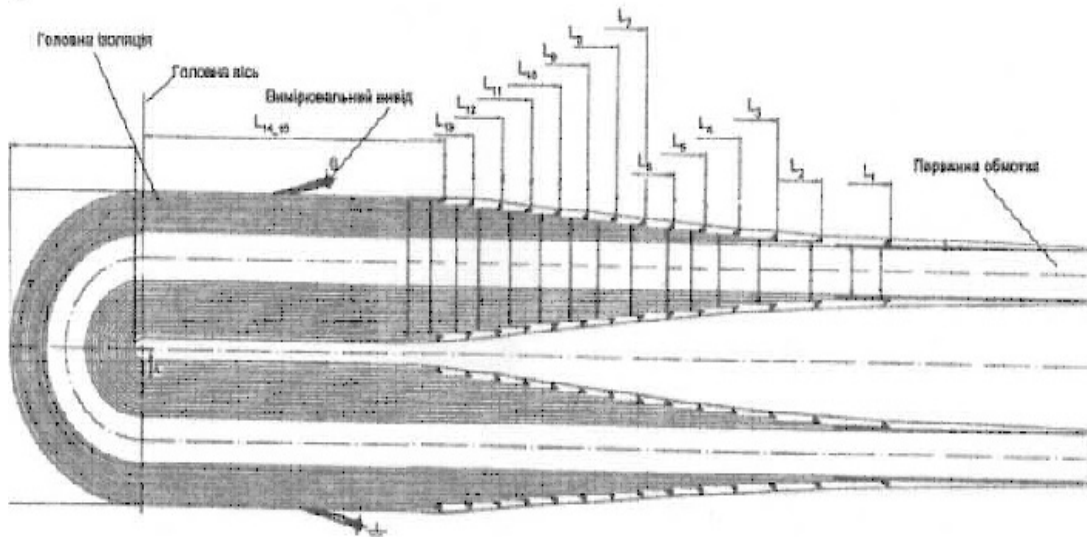


Рис. 8. Головна ізоляція ТС типу ТФУМ-330

Заступна схема ізоляції між двома обкладками представляється у вигляді паралельно сполучених між собою ємності C та активного опору R . Ємність C характеризує властивості ізоляційного матеріалу на змінному струмі, а активний опір R моделює діелектричні втрати в ізоляції. Значення параметрів R і C визначаються геометричними розмірами та властивостями конкретного діелектрика.

Розрахунок ємностей та активних опорів між двома обкладками для ізоляції ТС ТФУМ-330 (рис. 8) виконується у наступній послідовності:

- 1) ізоляція ТС розбивається на три зони (А і С - пряма частина ізоляційної намотай, В - заокруглена частина);
- 2) розраховуються параметри прямої частини. Розрахунок зводиться до розрахунку ємності та активного опору між двома циліндрами, та виконується за наступними виразами [11]:

$$C_{x_{A,C}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot l_{x_{A,C}}}{\ln \frac{r_x}{r_{x-1}}}, \quad (4)$$

де ϵ - відносна діелектрична проникливість паперово-оливної ізоляції; ϵ_0 - діелектрична проникливість вакууму; r_x - зовнішній радіус циліндра; r_{x-1} - внутрішній радіус циліндра; l_x - активна висота обкладок, що утворюють циліндр.

Активна провідність між двома циліндрами:

$$q_{x,A,C} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot l_{x,A,C}}{\ln \frac{r_x}{r_{x-1}}} \quad (5)$$

$$R_{x,A,C} = \frac{1}{q_{x,A,C}} \Rightarrow R_{x,A,C} = \frac{\rho_V \cdot \ln \frac{r_x}{r_{x-1}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{x,A,C}} \quad (6)$$

де γ і ρ_V відповідно активна провідність та питомий об'ємний опір паперово-оливної ізоляції;

3) розраховуються параметри заокругленої частини ізоляції. Розрахунок виконується для кругових циліндрів, що охоплюють один одного і у яких різні осі (рис. 9).

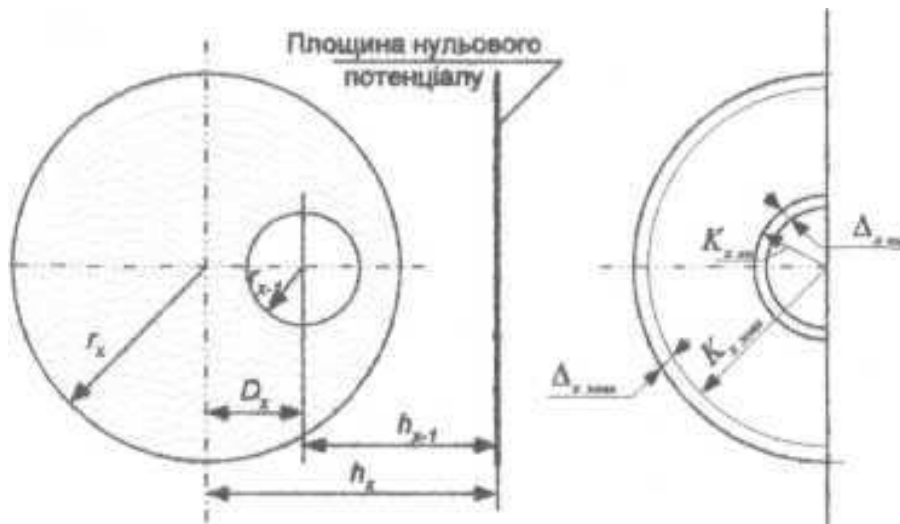


Рис. 9. Розміщення обкладок в заокругленій частині намотай ізоляції

Ємність та активний опір між двома циліндрами (рис. 9) визначаються за виразами [12]:

$$C_{xB} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot l_{xB}}{\ln \left[\left(\frac{h_{x-1}}{r_{x-1}} + \sqrt{\left(\frac{h_{x-1}}{r_{x-1}} \right)^2 - 1} \right) / \left(\frac{h_x}{r_x} + \sqrt{\left(\frac{h_x}{r_x} \right)^2 - 1} \right) \right]}, \quad (7)$$

$$R_{xB} = \frac{\rho_V \cdot \ln \left[\left(\frac{h_{x-1}}{r_{x-1}} + \sqrt{\left(\frac{h_{x-1}}{r_{x-1}} \right)^2 - 1} \right) / \left(\frac{h_x}{r_x} + \sqrt{\left(\frac{h_x}{r_x} \right)^2 - 1} \right) \right]}{2 \cdot \pi \cdot l_{xB}}, \quad (8)$$

де

$$h_{x-1} = \left| \frac{D_x^2 + r_{x-1}^2 - r_x^2}{2D_x} \right|, \quad (9)$$

$$h_x = \left| \frac{D_x^2 + r_x^2 - r_{x-1}^2}{2D_x} \right|.$$

Тут D_x – відстань між геометричними осями, h_x, h_{x-1} – відстані від площини нульового потенціалу до геометричних осей.

$$l_{xB} = \pi \cdot (K_{x-1} + r_{x-1}), \quad (10)$$

де K_{x-1} – внутрішній радіус обкладки, r_{x-1} – внутрішній радіус обкладки з врахуванням розміщення осей;

4) визначаються значення ємностей та активних опорів для одного цілого шару ізоляції між двома пластинами:

$$C_x = C_{xA} + C_{xB} + C_{xC}; \quad (11)$$

$$R_x = \frac{R_{xA} \cdot R_{xB} \cdot R_{xC}}{R_{xA} \cdot R_{xB} + R_{xB} \cdot R_{xC} + R_{xC} \cdot R_{xA}}. \quad (12)$$

Аналогічно, використовуючи формули (4-12), розраховуються параметри всіх шарів ізоляції.

Для дослідження працездатності системи діагностики ізоляції трансформаторів струму під робочою напругою, з врахуванням змін діелектричних характеристик ізоляції ТС під дією температури та зволоженості, складаємо розрахункову схему (рис. 10).

Розрахункова схема складається на основі схеми неперервного вимірювання постійного струму спливу в ізоляції ТС під робочою напругою (рис. 7) та заступної схеми ізоляції трансформатора струму з врахуванням вирівнюючих пластин (рис. 8).

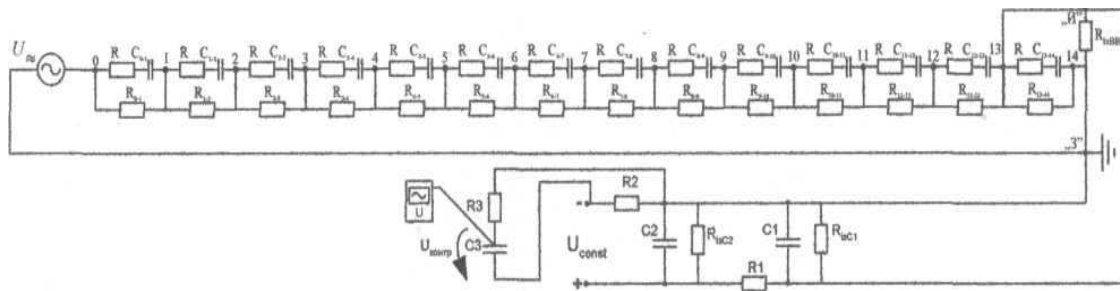


Рис. 10. Розрахункова схема

В схемі рис. 10: R_{i-j}, C_{i-j} – відповідно активні опори та ємності ізоляції ТС між i -тою та j -ю обкладками; опір R – деякий фіктивний опір, введений у розрахункову схему з метою забезпечення коректності розрахунків, оскільки, згідно законів комутації, напруга на ємності не може змінюватись стрибком; $C1$ – шунтуюча ємність (ємність $C3$ в схемі рис. 7); R_{i3C1}, R_{i3C2} — опори ізоляції ємностей $C1$ та $C2$ відповідно; $R1, C2$ - моделюють фільтр $R1-C4$, призначений для зведення до мінімуму змінної напруги на вимірювальному виводі „И” ТС; $R2$ - еталонний резистор; $R3, C3$ – моделюють подавлювач змінної напруги, що може з'явитись на еталонному резисторі $R2$. Отже, в розрахунковій схемі враховано всі основні елементи схеми вимірювання постійного струму спливу в ізоляції (рис. 7).

На рис. 11 наведено результати розрахунків контрольованої напруги, яка еквівалентна величині опору ізоляції трансформатора струму, залежно від зміни зволоженості паперово-оливної ізоляції для температури 20 і 50 °С. Під час розрахунків приймалась зміна зволоженості ПОІ від 1% (оскільки висушити папір до меншого значення практично неможливо) до 4%, що відповідає максимально можливому зволоженню ПОІ в експлуатаційних умовах.

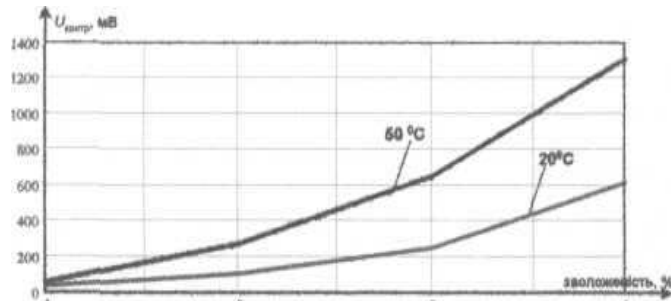


Рис. 11. Залежність зміни контрольованої напруги (опору ізоляції ТС) від зміни зволоженості ізоляції та температури

Оцінюючи отримані залежності бачимо, що зміна зволоженості з 1 до 4% для 20 °С спричинить зміну контрольованої напруги з 31 до 615 мВ, що відповідає зменшенню еквівалентного опору ізоляції трансформатора струму з 3350 до 170 МОм. Одночасно важливим є врахування зміни температури навколишнього середовища, а відповідно й зміни температури ізоляції. Оскільки, за зволоження 3% та температури 20 С еквівалентний опір ізоляції становить 500 МОм, що згідно [13] є ще допустимим для подальшої експлуатації ТС, то за підвищення температури до 50 °С, еквівалентний опір ізоляції становитиме всього 150 МОм, що є вже недопустимим. Використання системи діагностики під робочою напругою на основі використання постійного струму дозволяє ефективно відслідковувати зміни величин ізоляції, оскільки значення контрольованої напруги змінюється з 232 до 650 мВ, тобто практично в три рази. Це дозволить своєчасно вивести з експлуатації такий трансформатор струму та запобігти виникненню аварійної ситуації на підстанції.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Ізоляційні характеристики діелектричних матеріалів значно погіршуються в процесі експлуатації, особливо під дією вологості та температури, що необхідно врахувати під час проведення діагностичних випробувань, які доцільно проводити неперервно під робочою напругою високовольтного обладнання.

2. Оцінка стану внутрішньої ізоляції електричних апаратів з герметичним виконанням ізоляції можлива лише шляхом використання так званих опосередкованих методик визначення зволоженості паперо-кривих рівноваги Fabre-Pichona чи Oom-mena.

3. Запропоновано новий метод діагностики ізоляції трансформаторів під робочою напругою на основі використання постійного струму, що дозволяє відлаштовуватись від змінних струмів завод та забезпечує достовірну оцінку загального стану ізоляції ТС в будь-який момент часу.

4. Розроблено математичну модель для дослідження зміни параметрів ізоляції під дією температури та зволоженості на роботу системи діагностики ізоляції на основі використання постійного струму. Проведені розрахунки показали, що дана система діагностики чутлива до погіршення ізоляції ТС в процесі експлуатації.

5. Розроблена модель ізоляції враховує лише струми спливу через основну ізоляцію і не враховує ізоляції додаткових вирівнюючих обкладок та струмів спливів

через трансформаторну оливу та порцелянову покривку ТС. Тому, для одержання більш достовірних результатів, необхідно в подальшому розробити повну модель ізоляції ТС та виконати відповідні розрахунки.

Література

1. Andrzej Graczkowski, Krzysztof Walczak, Jaroslaw Szymanski. Application of Equivalent Circuit in Dielectric Response Analysis of Oil-Paper Insulation System. Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, August 25-29, 2005.
2. Programma Electric - AB - GE Energy Services, System Obslygi izolacji IDA 200.
3. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. Львів: Вища шк., 1982. -378 с.
4. T.V. Oommen, Jim Thompson, Barry Ward. Moisture Estimation in Transformer Insulation. Pannel Session IEEE Transformers Committee, Marh 9, 2004.
5. T.V. Oommen. Moisture Equilibrium Curves - Use and Misuse. Double Conference Paper, (April 2003).
6. P. Przybylek. Reliability of water content estimation in transformer insulation obtained using physicochemical methods. VII Ogol-nopolskie Sympozjum "Inzyneria wysokich napiec", 26-28 maja 2004, p. 189-192.
7. Грейсух М.А., Кучинский Г.С., Каплан Д.А., Мессерман Г.Т. Бумажно-масляная изоляция в высоковольтных конструкциях. Под ред. Г.С. Кучинского. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963, 299с.
8. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1992 - 150 с.
9. Патент України №72349. Пристрій контролю та вимірювання опору ізоляції апарата електричної мережі/ А.В. Журахівський, Ю.А. Кенс, А.Я. Яцейко, ЯЛ. Салук. Опубл. Бюл. №2, 2005, 3с.
10. Журахівський А.В., Кенс Ю.А., Кідиба В.П. та ін. Діагностика на постійному струмі ізоляції високовольтних ввідів під робочою напругою. Світлотехніка і електроенергетика, м. Харків, 5'2005.-с. 81-89.
11. Бачурин Н.И. Трансформаторы тока. Расчеты и конструкции. М.-Л., Энергия, 1964г, 397с.
12. Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н. Методы расчета электростатических полей.- М., Высшая школа, 1963, 415с.
13. Норми випробування електрообладнання. Галузевий керівний документ. ГКД 34.20.302-2002. Київ, 2002 р., 216с.

ДИЕЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ДИАГНОСТИКА ИХ ИЗОЛЯЦИИ ПОД РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

А.В. Жураховский, Ю.А. Кене, А.Я. Яцейко, Б.С. Третьяк

Рассмотрено влияние метеофакторов на диэлектрические характеристики трансформаторов тока. Наведена характеристика опосредствованных методик определения влажности бумажно-масляной изоляции путем использования кривых равновесия Fabre-Pichona или Oomenna. Разработано математическую модель для исследования влияния изменения параметров изоляции трансформаторов тока под влиянием влажности и температуры на работу системы диагностики изоляции на основе использования постоянного тока.

DIELECTRIC QUALITIES OF CURRENT TRANSFORMERS ISOLATION AND DIAGNOSTICS OF THE ISOLATION UNDER THE WORKING VOLTAGE

A.V. Jurahivskyj, Y.A. Kens, A.Y. Yatseyko, B.S. Tretjak

Influence of weather conditions on dielectric qualities of current transformers isolation was examined. Characteristic of undirect methods of determine paper-oil insulation moisture by means of using equilibrium curves of Fabre-Pichona or Oommena was shown. Mathematical model for investigation of influence of current transformers parameters variation under exposure of temperature and moisture on work of diagnostics isolation system that based on using of direct current was developed.