



**Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання
та енергетичного менеджменту**

ПРОФІЛАКТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни «Основи надійності та діагностування
енергетичного обладнання»**

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**Харків
2024**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

ПРОФІЛАКТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ
СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни «Основи надійності та діагностування
енергетичного обладнання»

для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та
комп'ютерних технологій
Протокол № 4
від 29.01.2024 р.

Харків
2024

УДК 621.3: 621.3.019.3: 658.588.2

T77

Схвалено
на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного менеджменту
протокол № 7 від 26 січня 2024 р.

Рецензенти:

Н. Г. Косуліна, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету;

М. Л. Лисиченко, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету

T77 Профілактичні випробування ізоляції силового трансформатора: метод. вказівки до виконання лаб. роботи з дисц. «Основи надійності та діагностування енергетичного обладнання» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун.-т; уклад.: І. М. Трунова., В. Г. Пазій. - Харків: [б. в.], 2024.- 16 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Основи надійності та діагностування енергетичного обладнання». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 372.862

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, д-р техн. наук, проф.

© Трунова І. М., Пазій В. Г., 2024

© ДБТУ, 2024

ПРОФІЛАКТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: вивчити способи профілактичних випробувань ізоляції силових трансформаторів

ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Відповідно до “Норм випробування електрообладнання” **профілактичні випробування силових трансформаторів повинні здійснюватися з такою періодичністю:**

К – для трансформаторів напругою 110 кВ та вище, а також для трансформаторів потужністю 80 МВ•А та більше здійснюються перший раз не пізніше ніж через 12 років після вводу до експлуатації з врахуванням результатів профілактичних випробувань та стану трансформаторів; для інших трансформаторів – за результатами їх випробувань та стану;

Т – для трансформаторів з РПН здійснюються 1 раз на рік; без РПН: головних трансформаторів підстанцій 35 кВ і вище – не рідше 1 разу на 2 роки; для інших трансформаторів – за необхідністю, але не рідше 1 разу на 4 роки; для трансформаторів, що встановлені в місцях посиленого забруднення – за місцевими інструкціями;

М – встановлюються системою ПЗР.

При профілактичних випробуваннях особливу увагу приділяють ізоляції, так як вона найбільш слабкий елемент ЕО і викликає найбільшу кількість відмов.

За ДСТУ 2267-93м **ізоляція електротехнічного виробу (пристрою)** – сукупність матеріалів, частіше діелектриків, які протидіють проходженню струму між певними деталями виробу (пристрою).

Під дією прикладеної напруги в ізоляції:

- внаслідок домішок і дефектів побудови виникає струм наскрізної провідності I_B (струм витікання);

- здійснюється повільна поляризація (зміщення і поворот дипольних молекул води, що утворює струм абсорбції $\dot{i}_{аб}$);

- здійснюється миттєва поляризація (пружне зміщення і деформація електронних оболонок атомів і іонів, що утворює струм зміщення \dot{i}_3);

Для вивчення процесів, які виникають в ізоляції, використовують [5] схему її заміщення (див. рисунок 1).

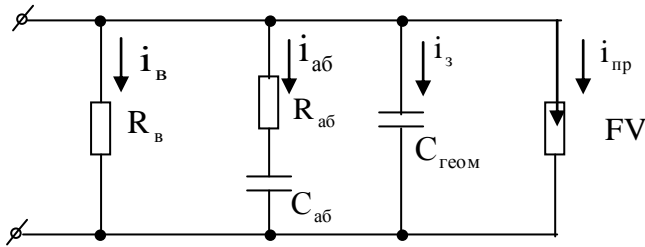


Рисунок 1 - Схема заміщення ізоляції: $R_в$ - резистор, який характеризує опір струму витікання; $C_{аб}$ - ємність, що зумовлена дипольною поляризацією; $R_{аб}$ - резистор, який характеризує еквівалентні втрати при дипольній поляризації; $C_{геом}$ - ємність електронної поляризації (залежить від геометричних розмірів ізоляції); FV - розрядник; $\dot{i}_{пр}$ - струм пробую

На рисунку 2 зображені залежності струмів, що проходять крізь ізоляцію при підключенні до постійної напруги (зокрема, при застосуванні мегаомметра).

На рис. 2 : $\dot{i}_{аб}$ - струм абсорбції, що зумовлений дипольною поляризацією (затухає з завершенням процесів повільної поляризації диполів молекул води); $\dot{i}_в$ - незмінний струм витікання; \dot{i} – сумарний струм ($\dot{i}_{аб} + \dot{i}_в$).

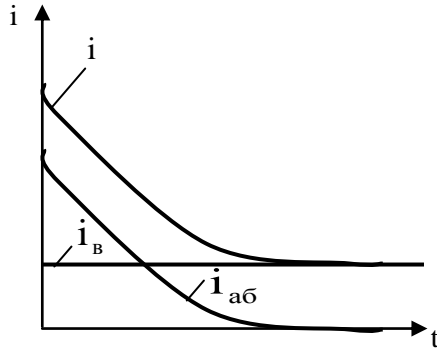


Рисунок 2

Значення опору ізоляції залежить від $i_в$ та його можна визначити за виразом:

$$R = U / (i - i_{аб}), \quad (1)$$

де U – напруга, що прикладена до ізоляції, В.

$$i_{аб} = \frac{U}{R_{аб}} \cdot e^{-t/T}, \quad (2)$$

де t – час прикладення напруги;

T – постійна часу гілки ($R_{аб} \cdot C_{аб}$) (див. рис.1).

Обсяг профілактичних випробувань силових трансформаторів передбачає поряд з іншими випробуваннями **випробування ізоляції**, зокрема такі:

1. Вимір опору ізоляції:

а) вимір опору ізоляції обмоток та визначення відношення R_{60}/R_{15} (П, К, Т, М);

б) вимір опору ізоляції яремних балок, пресуючих кілець та стяжних шпильок для виявлення замикань (П, К, Т).

2. Вимір тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\phi$ ізоляції обмоток (П, К, М).

3. Визначення відношення C_2/C_{50} (П, К).

4. Визначення відношення $\Delta C/C$ (П, К).

5. Випробування ізоляції підвищеною напругою частоти 50 Гц (П, К).

Будь які випробування ізоляції ЕО необхідно проводити при $t_{із} \geq 5^{\circ}C$, окрім випадків, що оговорені в “Нормах...”. Перед виміром опору і ємності ізоляція повинна бути заземлена на 5 хвилин.

Одним з основних способів діагностування стану ізоляції є вимір опору ізоляції (зокрема, за допомогою мегаомметрів). Для вимірювання опору ізоляції знеструмлених електричних кіл призначені мегомметри. Вони являють собою логометричний пристрій, що вимірює струм, але із шкалою, відградуваною в мегаомах і кілоомах, із джерелом постійного струму у вигляді генератора з постійними магнітами, що обертається від руки (М4100; МС-05). **Номінальна напруга виходу приладу забезпечується обертанням рукоятки із швидкістю 120 об/хв.**

Мегаомметри типу ФН-100 є приладами електронної системи з магнітоелектричним вказівником і призначені для вимірювання $R_{із}$ і $k_{абс} = R_{60}/R_{15}$ при живленні приладу від мережі 220 В.

Вимірювання опору ізоляції (Insulation Resistance Test – IR або R_{ISO} [6]) слід проводити:

1) між всіма з'єднаними між собою струмопровідними частинами і частинами, до яких при обслуговуванні можливі торкання (наприклад, оболонки, рукоятки);

2) між кожною електрично незалежною частиною і заземленими металевими частинами виробу.

Найменші допустимі значення опору ізоляції обмоток трансформатора на напругу до 35 кВ, залитих маслом, потужністю до 6300 кВА, при введенні в експлуатацію, наприклад, за температури ізоляції $10^{\circ}C$ – 450 МОм, $20^{\circ}C$ – 300 МОм, $30^{\circ}C$ – 200 МОм [6]. Під час експлуатації значення опору ізоляції обмоток не нормується, але його слід порівнювати з результатами попередніх вимірів [2]. Якщо опір ізоляції знизився більш ніж на 30% в порівнянні з попереднім виміром – ізоляцію слід просушити.

З урахуванням температури навколишнього середовища ϑ значення опору $R_{\text{норм}}$ (Ом) розраховують за виразом:

$$R_{\text{норм}} = R_{\text{в}} \cdot \frac{K + \vartheta_{\text{норм}}}{K + \vartheta}, \quad (3)$$

де $R_{\text{в}}$ - виміряне значення опору при температурі ϑ , Ом;

K – коефіцієнт (для міді –235, для алюмінію – 245);

$\vartheta_{\text{норм}}$ - номінальна температура (20 або 40), °С, встановлюється в стандартах на конкретні види апаратів.

Опір ізоляції $R_{\text{із}}$ (IR) визначається показом стрілки мегаомметра, що встановилась через 60 с.

Таблиця 1- Величина постійної напруги для виміру опору ізоляції

Найменування ізоляції, що випробовується	Величина постійної напруги для вимірювання опору ізоляції, В
1. Електричні апарати на напругу до 1000 В:	
- до 42 В	100
- від 42 до 100 В	250
- від 100 до 380 В	500
- понад 380 В	1000
2. Кола з мікроелектронними елементами, що розраховані на робочу напругу:	
- до 60 В включно	100
- понад 60 В	500
3. Ручний електроінструмент	500
4. Побутові стаціонарні електроплити, крани, ліфти, електропроводки, розподільчі пристрої, щити і струмопроводи напругою до 1000 В.	1000

Одним з методів визначення вологості ізоляції є **визначення коефіцієнта абсорбції** - $K_{аб}$ або DAR (Dielectric Absorption Ratio) за ІЕС 60364-6:2006.

Коефіцієнт абсорбції:

$$DAR = K_{аб} = \frac{R_{60}''}{R_{15}''}, \quad (4)$$

де R_{60}'' , R_{15}'' – опір ізоляції, вимірний відповідно через 60 с і через 15 с.

На рис. 3 зображені графіки зміни повного струму і опору сухої і вологої ізоляції [7].

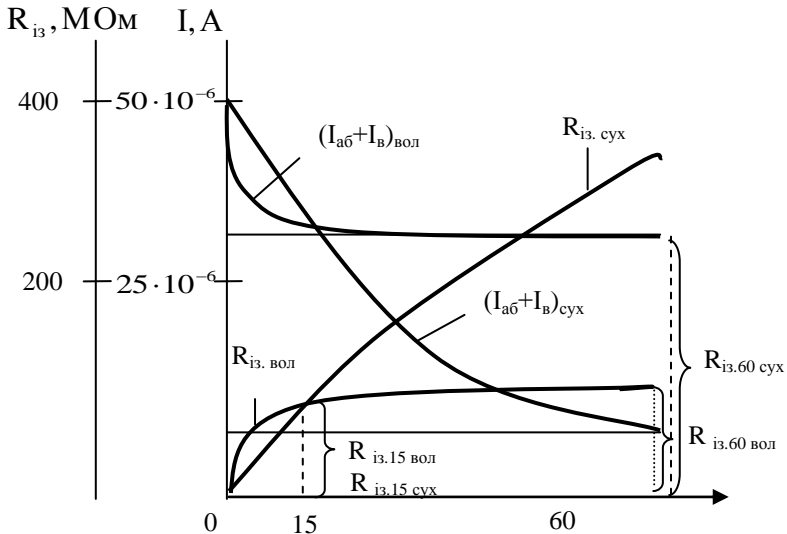


Рисунок 3

У вологій ізоляції сумарний струм більше і затухає повільніше, ніж у сухій. Характер зміни сумарного струму визначає динаміку опору ізоляції. При постійній напрузі опір сухої ізоляції

ції $R_{\text{сух.}}$ при вимірі буде різко збільшуватися, а опір вологої $R_{\text{вол.}}$ буде зростати незначно. $k_{\text{абс}}$ за “Нормами...” [2] дозволяє визначити, чи можливе включення трансформатора без сушіння обмоток. При $10 - 30^{\circ}\text{C}$, якщо $R_{60}'' / R_{15}'' > 1,3$, вважають, що ізоляція суха; якщо $R_{60}'' / R_{15}'' \leq 1,3$ - волога.

При вимірюванні коефіцієнта абсорбції $k_{\text{абс}}$ “Норми...” дозволяють приймати за початок відліку момент початку обертання рукоятки. Для визначення $k_{\text{абс}}$ перший показ фіксується через 15 с після початку вимірювання, другий – через 60 с. За результатами вимірювання знаходиться відношення R_{60}'' / R_{15}'' .

Так як точність вимірювання мегаомметром відносно невисока, то “Норми” рекомендують вимірювати ступінь вологості ізоляції додатково ще одним яким-небудь способом. Наприклад, можна використати прилад типу ПКВ-13 (прилад контролю вологості), застосовуючи метод “ємність-частота”. Прилад ПКВ-13 дозволяє виміряти відношення ємностей при частоті 2 Гц і при частоті 50 Гц.

Від ступеню зволоження залежить співвідношення ємностей $C_{\text{аб}} / C_{\text{геом.}}$ (ємностей абсорбції і електронної поляризації). В сухій ізоляції переважає електронна поляризація, в вологій – дипольна поляризація (за рахунок дипольних молекул води посилюється ємність абсорбції).

Електронна поляризація здійснюється майже миттєво (0,01с) і не залежить від частоти. Тобто, ємність сухої ізоляції не залежить від частоти.

Ємність вологої ізоляції зі зростанням частоти зменшується внаслідок того, що при малій частоті дипольні молекули води встигають орієнтуватися за полем і ємність має найбільше значення, а при зростанні частоти молекули не встигають орієнтуватися за полем тому, що досить інертні, і абсорбційна ємність зменшується. При цьому значення абсорбційної ємності наближається до ємності, яка зумовлена електронною поляризацією.

Тому по ступеню зміни ємності від частоти можна визначити зволоженість ізоляції.

Найбільше застосування знайшли **два ємнісних методи оцінки стану ізоляції** (за “Нормама...”):

1) Визначення співвідношення C_2/C_{50} (ємності ізоляції при частоті відповідно 2 Гц і частоті 50 Гц).

Співвідношення C_2/C_{50} у сухої ізоляції прагне до 1; у вологої - приведене в “Нормах...”. Наприклад, при температурі обмотки силового масляного трансформатора $t=10^0\text{C}$ і з U_n до 35 кВ найбільш допустиме значення $C_2/C_{50}=1,2$; при $t=20^0\text{C}$ - $C_2/C_{50}=1,3$. Відношення C_2/C_{50} не повинно збільшуватися більше ніж на 10% до результатів попередніх вимірів.

2) Визначення співвідношення $\Delta C/C$.

До ізоляції прикладають постійну напругу до зарядження ємностей $C_{аб}$ і $C_{геом.}$, після чого на дуже короткий час (0,1 с) закорочують контур і ємність $C_{геом.}$ розряджається, а ємність C_a не встигає розрядитися. Таким чином, вимірювання двох ємностей (після зарядження $C = C_{аб} + C_{геом.}$ і після розрядження $C_{геом.}$) дає можливість отримати значення ΔC . ΔC для сухої ізоляції складає (0,02-0,08) С, для вологої $>0,1$ С.

Нормативи $\Delta C/C$ приведені в “Нормах...” (наприклад, для ізоляції обмоток трансформаторів без масла напругою 110 кВ і вище при $t=10^0\text{C}$, $\Delta C/C = 8\%$, для інших апаратів – не нормується, але відношення $\Delta C/C$ не повинно збільшуватися більш ніж на 50% до результатів попередніх вимірів).

Для визначення стану ізоляції трансформатора виміряні значення порівнюються з контрольними, що приведені в “Нормах...”:

- відношення R_{60}/R_{15} обмоток для трансформаторів потужністю менше 6300 кВ·А, з маслом, на напругу до 35 кВ включно при температурі 10...30°C повинно бути не менше 1,3;

- опір ізоляції R_{60} обмоток трансформаторів залитих маслом повинен бути не менше того, що приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 – Мінімальний опір ізоляції обмоток силового трансформатора

Номинальна напруга обмотки ВН, кВ	R_{60} , МОм, при температурі обмотки °С		
	10	20	30
до 35	450	300	200
110	900	600	400

- відношення C_2/C_{50} обмоток трансформаторів залитих маслом повинно бути не більше того, що приведенне в таблиці 3.

Таблиця 3 – Максимальні значення відношення C_2/C_{50}

Номинальна напруга обмотки ВН, кВ	C_2/C_{50} , виміряне при температурі обмотки °С		
	10	20	30
до 35	1,2	1,3	1,4
110	1,1	1,2	1,3

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Провести огляд силового трансформатора ТМ-25/6, який знаходиться в ячейці №2. Заземлити (приєднати до корпусу) обмотки вищої і нижчої напруги на 2-3 хвилин, для того, щоб зняти залишкові заряди з обмоток. Враховуючи, що трансформатор має схему з'єднання зірка - зірка з нулем, приєднати до корпусу можна по одній фазі сторони вищої та нижчої напруги.

2. Оглянути мегаомметр, який призначений для проведення вимірювання. Перевірити його справність. Для цього затискачі "З" (земля) і "Л" (лінія) замкнути накоротко і обернути рукоятку. Стрілка повинна встановитися напроти позначки шкали 0.

Від'єднати закоротку і повторити обертання рукоятки. Стрілка повинна зупинитися напроти позначки «нескінченність». Якщо стрілка не встановлюється у відповідне положення, приладом користуватися не можна.

3. Розземлити обмотки трансформатора і приєднати їх до клемної панелі ABCO із внутрішньої сторони ячейки (наприклад, до клеми А – сторону вищої напруги, до клеми В – сторону нижчої напруги, до клеми О – корпус). Вийти із ячейки і зачинити двері. До клемної панелі із зовнішньої сторони ячейки приєднати мегаомметр по схемі ВН – “Л”; НН + корпус – “З”. Підготувати годинник із секундною стрілкою. Після цього почати обертати рукоятку із швидкістю 120 об/хв або 2 об/с (для виключення вібрації стрілки прилад повинен знаходитись на жорсткій поверхні). Через 15 с після початку обертання провести вимір R_{15} по шкалі. Не зупиняючи обертати рукоятку мегаомметра, здійснити другий вимір через 60 секунд – R_{60} (тобто через 45 секунд після виміру R_{15}). Для знаходження коефіцієнта абсорбції взяти відношення R_{60}/R_{15} .

4. Перед наступними вимірами обмотки заземлити на 2...3 хвилини для зняття залишкових зарядів.

5. Аналогічно провести виміри по схемі НН – ВН + корпус.

6. Результати двох вимірів порівняти з нормованими значеннями. Якщо хоча б один з них не відповідає вимогам “Норм...”, то ізоляція зволожена.

7. Виміряти вологість ізоляції за допомогою приладу ПКВ-13. Для цього розземлити обмотки трансформатора. Провести виміри ізоляції по схемі ВН – НН + корпус. Для цього до затискачів “об’єкт” підвести виводи від трансформатора, що випробовується: до затискача “земля” приєднати корпус і НН, до другого затискача – ВН. (Так як під час випробування на затискачах приладу підтримується напруга 450 В, клеми “земля” обов’язково з’єднати з корпусом трансформатора). До клем “~” приладу підводиться живлення: 220 В, 50 Гц. Далі вимірювання виконують керуючись інструкцією на кришці ПКВ-13. Аналогі-

чно провести виміри C_2/C_{50} по схемі НН – ВН + корпус. Результати вимірів порівняти з нормованими значеннями.

8. За результатами оформити протокол випробувань

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Устрою

/зазначити тип і заводський номер/

Таблиця 1. - Вимірювальна апаратура, що використовувалась при випробуваннях

Назва	Система	Заводський номер	Номінальні величини	Клас точності	Примітки

Таблиця 2.- Результати випробувань

Вимір та розрахунки	ВН-(НН+корпус)	НН-(ВН+корпус)
R_{15}''		
R_{60}''		
$K_{аб}$		
C_2		
C_{50}		
C_2/C_{50}		

Висновок _____

Дата

Підписи: _____ (П. І. Б.)

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яка періодичність профілактичних випробувань силових трансформаторів?
2. Що означає термін “ізоляція електротехнічного виробу”?
3. Які процеси відбуваються в ізоляції під дією прикладеної напруги?
5. Які випробування ізоляції входять до обсягу випробувань силових трансформаторів?
6. Які прилади використовуються для визначення технічного стану ізоляції?
7. Які особливості вимірювання опору ізоляції та визначення ступеню зволоження ізоляції за відношенням $R_{60''}/R_{15''}$?
8. Які особливості визначення ступеню зволоження ізоляції за емнісними методами?

Список використаних джерел

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Харків: Форт, 2017. – 376 с.
2. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2020.– К.: ПАТ НЕК «Укренерго», 2020. – 243 с.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00-1.21-98.–К.: Основа, 1998. – 380 с.
4. Лут М. Т. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК/ М. Т. Лут, О. В. Мірошник, І. М. Трунова. - Харків: Факт, 2008. – 438 с. – Бібліогр.: с. 431-437.
5. IEC 60364-6:2006. Low-voltage electrical installations – Part 6: Verification.

Навчальне видання

ПРОФІЛАКТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи

Автори-укладачі:
ТРУНОВА Ірина Михайлівна,
ПАЗІЙ Володимир Григорович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 0,93.

Наклад ___ пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44