

## ЛЕКЦІЯ 6.

### 3.4.2. Ємнісні методи контролю стану ізоляції

Ємність вимірюють для контролю стану ізоляції високовольтного електроустаткування, зокрема, силових трансформаторів, трансформаторів струму, вводів, високовольтних конденсаторів подільників напруги і зв'язку, а також деякого іншого обладнання. При цьому ізоляція може характеризуватися абсолютною величиною ємності, її зміною в часі та залежністю від частоти випробувальної напруги й температури. Залежно від конструктивних особливостей виконання ізоляції інформативність змін перелічених ємнісних характеристик може бути різною, що і обумовлює обсяг застосування їх для того чи іншого виду чи типу обладнання.

*Метод «ємність – частота».* Ємність ізоляції між електродами можна розкласти в суму двох складових: геометричної ( $C_T$ ) та абсорбційної ( $C_{\text{абс}}$ ) ємності (рис.2.7).

Геометрична ємність залежить тільки від розмірів конструкції.

Абсорбційну ємність для двошарової ізоляції визначають за формулою

$$C_{\text{абс}} = \frac{1}{U} \int_0^t i_{\text{абс}}(t) dt,$$

яка з урахуванням співвідношення (3.4.3) набуває вигляду

$$C_{\text{абс}} = \int_0^t \frac{(R_1 C_1 - R_2 C_2)^2}{R_1 R_2 (R_1 + R_2)(C_1 + C_2)} e^{-t/\tau} dt,$$

а після інтегрування –

$$C_{\text{абс}} = \frac{(R_1 C_1 - R_2 C_2)^2}{(R_1 + R_2)^2 (C_1 + C_2)^2} (1 - e^{-t/\tau}). \quad (3.4.4)$$

З формули (3.4.4) випливає, що  $C_{\text{абс}} = 0$  для  $t = 0$  і досягає максимального значення для  $t \rightarrow \infty$ . Малий час вимірювання ємності еквівалентний вимірюванню на високій частоті, коли тривалість півперіоду випробної напруги мала, а великий – низькій частоті. Таким чином, виміряне значення абсорбційної ємності зменшується зі збільшенням частоти випробної

напруги. Це пояснюється тим, що за короткий півперіод прикладеної напруги поляризаційні процеси не встигають завершитися повною мірою.

Водночас абсорбційна ємність залежить від стану ізоляції. У разі її зволоження швидкість процесів поляризації, абсорбційний заряд і абсорбційна ємність зростають. На рис. 3.11 показано, як повна ємність ( $C_T + C_{абс}$ ) змінюється в разі підвищення частоти випробної напруги для зволоженої (1) та не зволоженої (2) ізоляції.

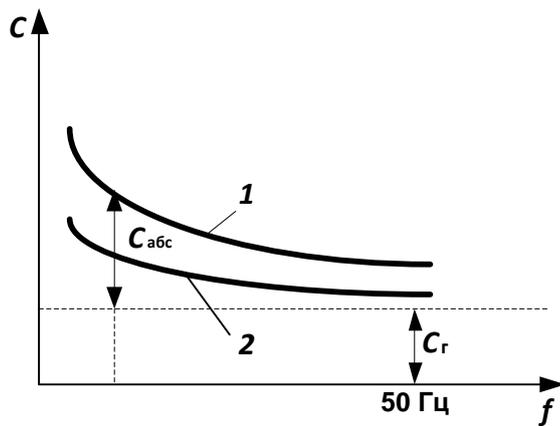


Рис. 3.11. Залежність ємності від частоти для ізоляції:

1 – зволоженої; 2 – не зволоженої

Метод «ємність – частота» (запропонований В.В.Кулаковським) рекомендовано застосовувати для контролю зволоження силових трансформаторів, залитих маслом. Недолік методу полягає в його порівняно низькій чутливості.

Стан ізоляції визначають відношенням ємностей  $C_2/C_{50}$ , виміряних відповідно на частоті 2 та 50 Гц. Для не зволоженої ізоляції  $C_2/C_{50} = (1,0...1,2)$  за температури 20 °С, а для зволоженої  $C_2/C_{50} > 1,2$ . На значення  $C_2/C_{50}$  впливають також характеристики трансформаторного масла, яким залитий трансформатор. Погіршення характеристик масла (збільшення його  $\text{tg}\delta$ ) зумовлює зростання  $C_2/C_{50}$ .

**Метод «ємність – час».** Цей метод заснований на принципах роздільного вимірювання абсорбційної та геометричної ємностей. Показником стану ізоляції є відношення  $C_{абс} / C_T$ .

Для двошарової ізоляції

$$C_r = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}. \quad (3.4.5)$$

Тоді з урахуванням співвідношень (3.4.4) та (3.4.5) маємо

$$\frac{C_{abc}}{C_r} = \frac{(R_1 C_1 - R_2 C_2)^2}{C_1 C_2 (R_1 + R_2)^2} (1 - e^{-t/\tau}).$$

Ємність  $C_{abc}$  вимірюють у момент часу  $t = 1$  с.

Зволоження ізоляції спричинює збільшення  $C_{abc}$  і відношення  $C_{abc}/C_r$ . Метод «ємність – час» (розроблений Б.А.Алексєєвим), застосовують для контролю зволоження ізоляції обмоток не залитих маслом трансформаторів переважно на трансформаторних заводах, щоб контролювати процес сушіння ізоляції в період складання трансформаторів і в процесі експлуатації (під час ревізій). Наприкінці ревізії трансформатора відношення  $C_{abc}/C_r$  має бути не більшим ніж 0,12 за температури 20 °С і 0,18 – за температури 30 °С.

Застосування цього методу для контролю ізоляції трансформаторів, залитих маслом, виявилось неможливим через дуже сильний вплив характеристик масла на результати вимірювань, що утруднює оцінювання стану ізоляції обмоток.

Температурний перерахунок  $C_{abc}/C_r$  здійснюють за формулою

$$(C_{abc}/C_r)_{\theta_2} = (C_{abc}/C_r)_{\theta_1} K$$

Значення коефіцієнта перерахунку  $K$ , що залежить від різниці температур вимірювань  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ , наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

$\theta_2 - \theta_1, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35
$K$	1,25	1,55	1,95	2,40	3,00	3,70	4,60

Великі значення коефіцієнта  $K$  свідчать про сильну залежність  $C_{abc}/C_r$  від температури, що є однією з причин значних похибок вимірювань.

Для вимірювання значень  $C_2/C_{50}$  і  $C_{абс}/C_r$  застосовують прилад ПКВ-7. На рис. 3.12 зображено спрощену схему, що пояснює принцип вимірювання зазначених величин. Об'єкт дослідження подано схемою заміщення по Фойгту.

У процесі вимірювання геометричної ємності  $C_r$  випробовуваного об'єкта він спочатку заряджається від джерела стабілізованої постійної напруги  $U_0 = 350$  В через замкнуті контакти К3, а потім, після їхнього перемикування розряджається на еталонний конденсатор  $C_{ет}$  через замкнуті контакти К2. Через 0,01 с контакти К2 розмикаються, а К1 – замикаються, закорочуючи об'єкт випробування.

За час 0,01 с відбувається розрядження тільки ємності  $C_r$ , бо постійна її розряду дуже мала й визначається фактично омичним опором контактів К3 та К2. Тому напруга на еталонному конденсаторі пропорційна ємності  $C_r$ . З умови рівності зарядів можна записати співвідношення

$$C_r U_0 = C_{ет} U, \quad (3.4.6)$$

де  $U_0$  і  $U$  – відповідно зарядна та вимірювана вольтметром  $V$  напруги.

Оскільки  $C_{ет} \gg C_r$ , то

$$U \approx U_0 \frac{C_r}{C_{ет}}.$$

Напругу на еталонному конденсаторі вимірюють вольтметром з високим вхідним опором, шкала якого градуйована в одиницях ємності.

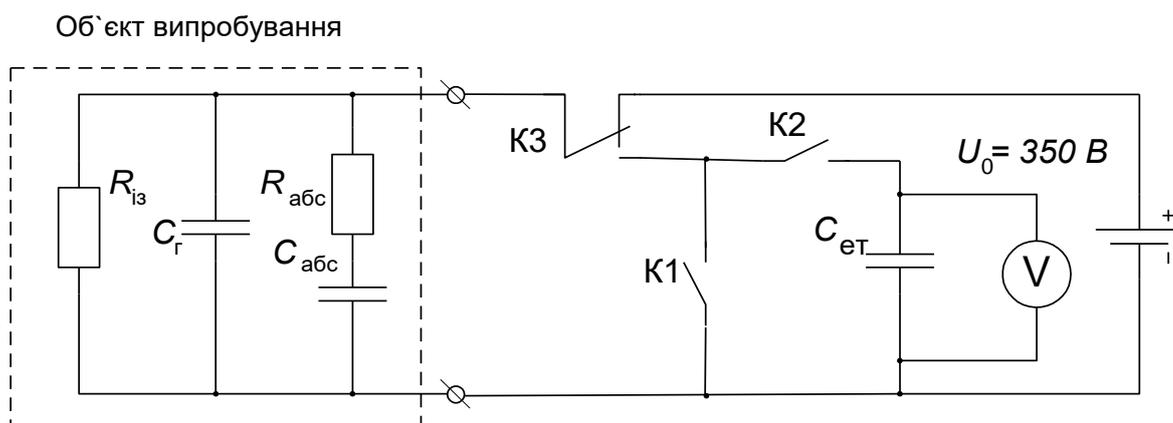


Рис. 3.12. Схема, яка пояснює принцип вимірювання ємнісних характеристик ізоляції

Для вимірювання абсорбційної складової ємності  $C_{абс}$  випробуваний об'єкт підключають до джерела постійної напруги через контакти К3, а потім перемикають на вимірювальний прилад, у якому контакти К1 замкнуті, а К2 – розімкнуті. При цьому об'єкт виявляється закороченим, і відбувається розрядження ємностей  $C_{Г}$  і  $C_{абс}$ , причому з різними постійними часу, обумовленими значенням опорів у їхньому розрядному колі.

Через 5...10 мс контакти К1 розмикаються, а К2 замикаються. За цей час устигає розрядитися тільки геометрична складова ємності об'єкта  $C_{Г}$ . Після перемикання контактів К1 і К2 відбувається розрядження абсорбційної ємності  $C_{абс}$  на еталонний конденсатор  $C_{ет}$ . При цьому напруга на конденсаторі  $C_{ет}$  пропорційна абсорбційній ємності  $C_{абс}$ . Постійна розряду  $C_{абс}$  визначається значенням  $R_{абс}$ , тобто  $\tau_{абс} \approx R_{абс} C_{абс}$ .

Із результатів експериментальних досліджень відомо, що розрядження  $C_{абс}$  на  $C_{ет}$  закінчується через 1 с, тому через зазначений час контакти К2 розмикаються.

Прилад ПКВ-7 дає змогу вимірювати різницю ємностей  $C_2 - C_{50}$ , яка фактично дорівнює  $C_{абс}$ , бо  $C_2 \approx C_{Г} + C_{абс}$ , а  $C_{50} \approx C_{Г}$ . Для цього після зарядження випробовуваного об'єкта він закорочується контактами К1 на 5...10 мс, а потім підключається до  $C_{ет}$  через контакти К2 на час приблизно 0,15 с.

Прилад ПКВ-7 працює в циклі зарядження – розрядження з частотою 2 Гц в разі вимірювання величин  $C_{50}$  і  $C_2 - C_{50}$  і з частотою 0,25 Гц – у разі вимірювання  $C_{абс}$ .

Відношення  $C_2/C_{50}$  визначається як:

$$C_2 / C_{50} = \frac{C_2 - C_{50}}{C_{50}} + 1.$$