

## Розділ IV. Трансформатори. Електричні машини

### Тема 4.1 «Трансформатори»

#### Лекція 10

#### Будова, принцип дії однофазного трансформатора. Режим роботи однофазного трансформатора

**Мета:** оволодіти знаннями про однофазні трансформатори.

**Методи:** словесний, практичний, наочний.

#### **План:**

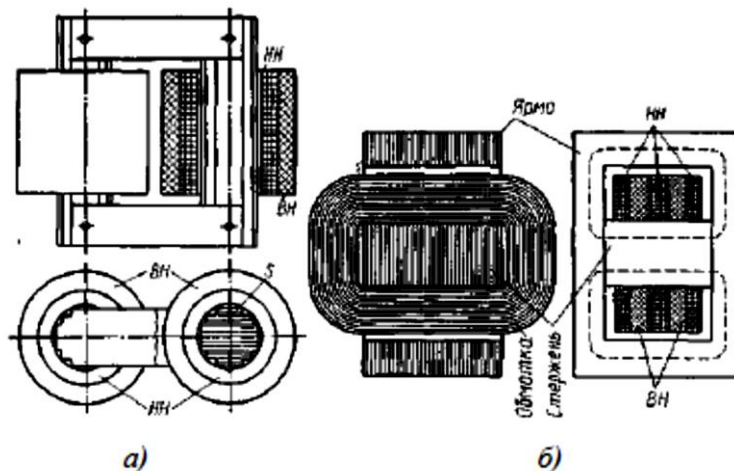
1. Класифікація та маркування трансформаторів.
2. Будова і принцип дії силових трансформаторів.
3. Режим холостого ходу.
4. Режим короткого замикання.
5. Робота трансформатора під навантаженням.

#### **1. Класифікація та маркування трансформаторів.**

Промисловість випускає різноманітні види трансформаторів, що класифікуються за певними ознаками:

1. За призначенням: силові; вимірювальні; спеціальні.
2. За кількістю фаз: однофазні; трифазні; багатофазні.
3. За напругою на вході-виході: понижувальні; підвищувальні.
4. За способом охолодження: сухі; масляні.
5. За значенням напруги: низьковольтні, напругою до 1000В; високовольтні, напругою більше 1000В.
6. За формою магнітопроводу: стержневі; броньові.

Найпоширеніші трансформатори – стержньові (мал. 1, а). Вони складаються з магнітопроводу у вигляді замкненого сталюого осердя, на якому розташовані обмотки низької та високої напруги, або первинної і вторинної. Первинна і вторинна обмотки електрично не з'єднані між собою.



Мал. 1. Будова однофазного трансформатора:

а) – стержньовий з концентричною обмоткою, б) – броньовий.

У броньованих трансформаторах магнітний потік розгалужується на два потоки, тому обмотки таких трансформаторів не товсті і розташовують їх на стержні (мал. 1). Стержнем називають ту частину магнітопроводу, на якій розташовані обмотки, а іншу частину – ярмом. Використовують їх у сучасних радіотехнічних установках і для силових трансформаторів. Ярма у броньових трансформаторах пронизуються невеликими потоками, зменшують наводки від змінного струму. Крім того вони захищають обмотки від механічних пошкоджень.

Різновидністю броньованих є трансформатори, осереддя яких виготовляють навіть з холоднокатаної сталі. Такі осердя дають економію матеріалів на 15-20% порівнюючи з броньовими, їх використовують у трансформаторах потужністю до 500кВА.

Кожен тип трансформатора має своє позначення на схемі: Т – трифазний; М – масляний; О – однофазний; С – сухий; А – алюмінієва обмотка; Ц – циркуляція масла примусова; Н – регулятор напруги; Р – для ртутного випрямляча; Д – примусова циркуляція повітря тощо. Наприклад, якщо на схемі позначено «ТМА – 6/20», то це означає, що трансформатор масляний, з алюмінієвими обмотками потужністю 20кВА, первинна напруга 6кВ.

## 2. Будова і принцип дії силових трансформаторів.

На мал. 2 показано схему будови однофазного стержньового трансформатора. Він складається із замкненого сталюго осердя магнітопроводу, на якому розміщені дві обмотки – низької напруги (НН) і високої напруги (ВН). Вони електрично не з'єднані та ізолювані між собою ізоляційним циліндром (Ц). Частину магнітопроводу, на якому розміщено обмотки, називають стержнем (С), а без обмотки – ярмом (Я). Обмотку, до якої електричну енергію підводять із мережі, називають первинною; другу обмотку, до якої приєднують споживачів енергії, називають вторинною. На кожному стержні магнітопроводу розміщено по половині первинної і вторинної обмоток, що сприяє взаємній компенсації потоків розсіювання  $\Phi_{1\sigma}$  і  $\Phi_{2\sigma}$ , які індукують ЕРС розсіювання, збільшуючи спад напруги. Обидві половини кожної обмотки з'єднані між собою так, щоб їх основні магнітні потоки додавалися. Для кращого магнітного зв'язку первинна і вторинна обмотки розміщені концентрично одна на одній. Обмотка низької напруги розміщена ближче до стержня, бо її легше ізолювати від нього.

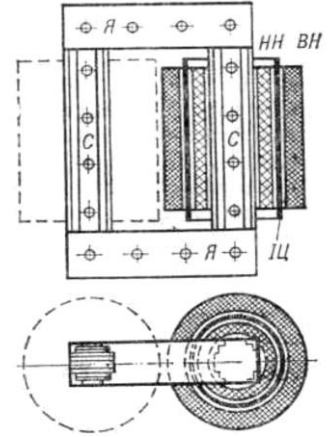
Магнітопровід стержньового трансформатора не розгалужений. Магнітопровід однофазного броньового трансформатора (мал. 3) розгалужений. Він має осердя С з концентричними обмотками НН та ВН і два ярма, які обхоплюють обмотки, створюючи захисну броню.

Практика показує, що броньові трансформатори менш зручні, ніж стержньові. Стержньове осердя простіше за конструкцією і дає змогу легко намотувати й ізолювати обмотки, особливо обмотку високої напруги.

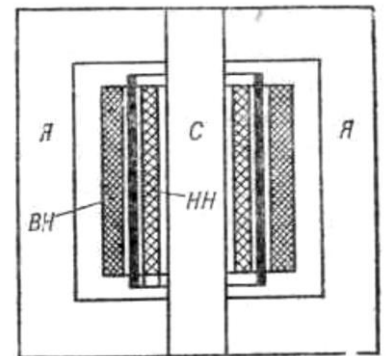
Щоб зменшити втрати на вихрові струми, магнітопровід складають з листів трансформаторної сталі товщиною 0,35 або 0,5 мм. Листи ізолюють один від одного тонким папером або лаком. Стержень магнітопроводу має квадратний або хрестовидний переріз, а в потужніших трансформаторах – ступінчастий. Форма ярма подібна до форми осердя.

Листи магнітопроводу складають впритул і внапусток. За першим способом стержні та ярма складають окремо, а потім пресують і скріплюють стяжними болтами. Між стержнями та ярмами кладуть ізолюючі прокладки, щоб запобігти замиканню кола вихровими струмами. За другим способом (внапусток) листи осердь і ярм накладають один на другий, як зображено на мал. 4.

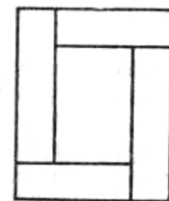
Обмотки трансформаторів виготовляють з ізолюваного мідного або алюмінієвого дроту круглого чи прямокутного перерізу. Для стержньових трансформаторів



Мал. 2. Однофазний стержньовий трансформатор з концентричною обмоткою



Мал. 3. Броньовий трансформатор



Мал. 4. Збирання листів магнітопроводу внапусток

застосовують так звану циліндричну обмотку. Якщо обмотка має кілька шарів, то між ними прокладають папір або пресшпан (тонкий ущільнений картон з лощеною поверхнею, який має колір природного волокна) завтовшки 0,06-0,2 мм. Для броньових трансформаторів найчастіше використовують так звану переміжну обмотку (мал. 5).

Якщо обмотки трансформатора охолоджуються маслом, то осердя з обмотками вміщують у сталевий бак, заповнений мінеральним трансформаторним маслом, яке не тільки охолоджує, а й надійно ізолює обмотки одну від одної і від бака.

**Принцип дії трансформатора.** При підключенні трансформатора до мережі змінного струму з напругою  $U_1$  (мал. 6) в первинній обмотці проходить струм  $i_1$ . Під дією намагнічувальної сили  $i_1 \omega_1$  збуджується змінний у часі магнітний потік  $\Phi_0$ . Більшу частину потоку  $\Phi_0$ , яка замикається по магнітопроводу та зчіплюється з обома обмотками трансформатора, називають *основним магнітним потоком*  $\Phi$ ; невелику частину потоку  $\Phi_0$ , зчеплену тільки з однією первинною обмоткою, називають *первинним потоком розсіювання*  $\Phi_{1\sigma}$ .

В основі роботи трансформатора лежить закон електромагнітної індукції, згідно з яким пронизуючий обмотки трансформатора основний магнітний потік  $\Phi$  індукуює в них ЕРС  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$ ; якщо до вторинної обмотки приєднати споживача електроенергії (навантаження)  $Z_H$ , то під дією ЕРС  $\varepsilon_2$  по цій обмотці буде проходити змінний струм  $i_2$ . Саме так з допомогою змінного магнітного потоку  $\Phi$  здійснюється передача енергії з первинної обмотки до вторинної.

Режим роботи трансформатора в умовах, для яких він розрахований, називається номінальним. **Номінальний** режим характеризується номінальними величинами, більшість з яких, наприклад номінальні потужність, напруги і струми обмоток, частота та ін., вказуються на щитку трансформатора.

### 3. Режим холостого ходу.

Режимом холостого ходу трансформатора називають такий режим його роботи, при якому до первинної обмотки підводиться номінальна напруга, а вторинна обмотка розімкнена (мал. 6, при розімкненому вимикачі В2).

Під дією прикладеної напруги  $U_1$  по первинній обмотці проходить струм холостого ходу  $I_{1x}$ , який створює намагнічувальну силу  $I_{1x} \omega_1$ , а остання – магнітний потік. Основний магнітний потік  $\Phi$  індукуює в первинній та вторинній обмотках трансформатора ЕРС, діючі значення яких

$$\varepsilon_1 = 4,44 \omega_1 f \Phi_m$$

$$\varepsilon_2 = 4,44 \omega_2 f \Phi_m$$

Де  $\Phi_m$  – амплітудне значення магнітного потоку;  $f$  – частота змінної напруги.

Потік розсіювання  $\Phi_{1\sigma}$  наводить в первинній обмотці трансформатора ЕРС  $\varepsilon_{1\sigma}$ , діюче значення якої

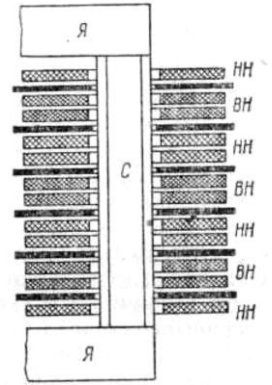
$$\varepsilon_{1\sigma} = I_{1x} X_1$$

Де  $X_1$  – індуктивний опір первинної обмотки, зумовлений потоком розсіювання  $\Phi_{1\sigma}$ .

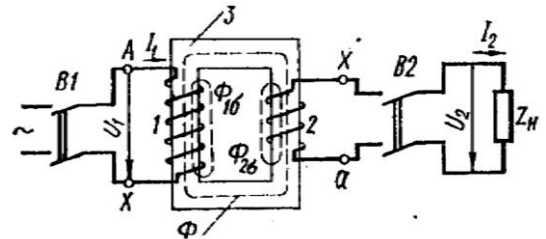
В режимі холостого ходу електрична енергія через трансформатор не передається.

### 4. Режим короткого замикання.

Режим, при якому одна з обмоток трансформатора живиться від джерела із змінною напругою, а затискачі другої обмотки замкнені накоротко, називають режимом короткого замикання трансформатора.



Мал. 5. Переміжна обмотка



Мал. 6. Принципова схема однофазного трансформатора

Розрізняють експлуатаційне та випробувальне коротке замикання трансформатора. Якщо при підключенні до мережі первинній обмотці трансформатора за якоїсь причини виникає закорочування його вторинної обмотки, в колі останньої струм може перевищувати номінальну величину у 10...20 і більше разів. Таке коротке замикання трансформатора називають експлуатаційним, і захист повинен відключити короткозамкнений трансформатор негайно.

Напруга, яка підводиться до трансформатора  $U_k$ , за якої струми в обмотках дорівнюють номінальним, виражають в процентах від відповідної номінальної напруги  $U_{1H}$

$$U_k = \frac{U_{1k}}{U_{1H}} 100$$

і називають **напругою короткого замикання**.

Напруга короткого замикання  $U_k$  зазвичай не перевищує 5...10% від номінальної напруги  $U_{1H}$ , вона вказується на щитку трансформатора.

Споживана в режимі короткого замикання потужність витрачається на покриття втрат в обмотках і трансформатор корисної роботи в цьому режимі не виконує.

### **5. Робота трансформатора під навантаженням.**

Робота під навантаженням є основним режимом трансформатора. Цей режим може бути отриманий взаємним накладанням двох граничних режимів роботи трансформатора – холостого ходу та короткого замикання.

Цьому режиму відповідає схема на мал. 6 при замкненому вимикачі В2 та підключеного до вторинної обмотки трансформатора споживача енергії (навантаження)  $Z_H$ . При цьому з первинною обмоткою зчеплені ті ж магнітні потоки, що і в режимах холостого ходу та короткого замикання.

З виникненням струму у вторинній обмотці трансформатора з'являється намагнічувальна сила  $i_2 \omega_2$ , яка діє зустрічно з  $i_1 \omega_1$ . Тому для збереження сталості потоку  $\Phi$  із збільшенням струму  $i_2$  і намагнічувальної сили вторинної обмотки  $i_2 \omega_2$  повинні збільшуватись струм  $i_1$  і намагнічувальна сила первинної обмотки  $i_1 \omega_1$ , і навпаки. Іншими словами, будь-яка зміна струму навантаження супроводжується відповідною зміною струму первинної обмотки трансформатора.

#### **Знання, корисні для практики!**

Давно відома важливість забезпечення якісним живленням будь-яких електричних, електромеханічних та інших типів пристроїв для максимально довговічного та ефективного їх функціонування. Неважливо, чи збираєтеся ви зайнятися домашніми справами (прибирання, прання, миття посуду) або ви маєте виконувати найскладніші промислові процеси, будь-яке обладнання та техніку необхідно запитати від мережі.

Головна умова до джерела живлення – подача нормального рівня напруги протягом усього часу без різких стрибків та просідань, які можуть стати причиною виходу з ладу техніки та устаткування, а й призвести до травм людей.

Стабілізатори напруги та трансформатори – це найважливіші пристрої, необхідні для ефективного енергопостачання. Їх використання у побуті та промисловості, а також у комерційному секторі може гарантувати безпеку та ефективність операцій, заснованих на потужності.

У чому ж різниця між стабілізаторами напруги та трансформаторами? Чому в одній ситуації краще використовувати саме стабілізатор, а в іншому випадку віддати перевагу лише трансформатору? Які особливості та переваги цих видів силового обладнання?

Стабілізатори напруги - це пристрої, які забезпечують постійну вихідну напругу в заданому діапазоні для підключених пристроїв у разі зміни та коливання вхідної напруги. Вони збільшують або зменшують рівні напруги та забезпечують необхідне значення цього параметра з різницею до 10% від ідеального значення.

Трансформатор - це обладнання, яке працює з використанням принципу електромагнітної індукції, збільшуючи або зменшуючи напругу змінного струму. Як правило, стандартний трансформатор має у своєму складі дві котушки з первинною та вторинними обмотками та сталевий сердечник.

Стабілізатори напруги потрібні в ситуаціях, коли мережа піддається частим коливанням напруги. Причин, через які в мережі то висока, то низька напруга, безліч:

- загальна зношеність ліній електропередач;
- велика кількість споживачів;
- аварії на лінії;
- проблеми на підстанції і таке інше.

Трансформатори найчастіше використовують у ситуаціях, коли в мережі стабільно надто висока або надто низька напруга. Вони необхідні для узгодження опору та захисної ізоляції.

Трансформатори та стабілізатори є важливими пристроями, які підвищують або знижують рівні напруги кінцевого ефективного використання. Підвищуючі та понижуючі трансформатори широко використовуються для різних індивідуальних та промислових додатків.