

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 44
ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА
З ФЕРОМАГНІТНИМ ОСЕРДЯМ

Короткий зміст роботи

В процесі виконання роботи студент знайомиться з пристроєм однофазного *двообмоткового* трансформатора з феромагнітним осердям, досліджує режими його роботи з активним, активно-індуктивним і ємнісним навантаженнями, а також по дослідним даним визначає параметри елементів схеми заміщення. Будується векторні діаграми трансформатора.

Підготовка до роботи

При підготовці до роботи студенту необхідно вивчити рекомендовану літературу, ознайомитися з методичними вказівками, описом лабораторної установки, робочим завданням, підготувати протокол звіту і відповіді на наступні питання:

1. Як улаштований однофазний трансформатор з феромагнітним осердям?

2. Яке призначення трансформаторів?

3. Які параметри елементів схеми заміщення трансформатора визначають з досліду неробочого ходу? Складіть схему електричного кола для виконання цього досліду.

4. Які параметри елементів схеми заміщення трансформатора визначають з досліду короткого замикання? Складіть схему електричного кола для виконання цього досліду.

5. Які струми і напруги необхідно встановлювати в первинному і вторинному колах трансформатора в дослідах неробочого ходу та короткого замикання?

6. Довести, що в досліді неробочого ходу трансформатора активні втрати в опорах обмоток настільки малі, що ними можна знехтувати, в порівнянні з втратами в магнітопроводі.

7. Довести, що в досліді короткого замикання трансформатора активні втрати в сталі сердечника настільки малі, що ними можна знехтувати, в порівнянні з

втратами в обмотках.

8. З якою метою вторинні обмотки трансформаторів приводять до числа витків первинних? Яка умова повинна виконуватися при такому приведенні?

9. Чи може напруга на вторинних затискачах трансформатора перевищувати ЕРС вторинної обмотки? Як впливає на цю напругу характер навантаження?

10. Чи може струм у первинній обмотці навантаженого трансформатора бути менше струму неробочого ходу? Як впливає на значення цього струму характер опору навантаження?

11. Як виглядає схема заміщення трансформатора в режимі неробочого ходу? Якому іншому електротехнічному пристрою відповідає така ж схема заміщення? Як побудувати векторну діаграму в режимі неробочого ходу?

12. Як побудувати векторну діаграму трансформатора по дослідним даним для режиму короткого замикання?

13. Як побудувати векторну діаграму трансформатора в режимі навантаження?

14. Які процеси в трансформаторі відображають окремі елементи його схеми заміщення?

Опис лабораторної установки

В лабораторну установку входять:

однофазний двообмотковий трансформатор з феромагнітним осердям;

два вольтметри електромагнітної системи;

два амперметри електромагнітної системи;

два ваттметри електродинамічної системи;

лабораторний регульований автотрансформатор;

набір навантажень: повзунковий дрововий лабораторний реостат, конденсатор і котушки індуктивності.

Як джерело живлення використовується силова мережа з напругою 220В.

Робоче завдання

1. Зібрати коло відповідно до схеми рис.44.1.

2. Виконати дослід неробочого ходу при номінальній напрузі U_{H1} , зазначеній на паспорті трансформатора. Результати вимірів занести в табл.4.1,

3. Відключити в колі (рис.44.1) вольтметр V_2 і замість нього включити амперметр.

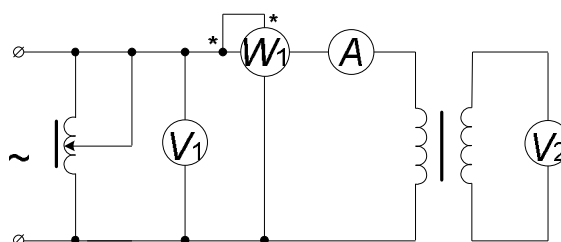


Рис.44.1

4. Виконати дослід короткого замикання трансформатора, підвищуючи первинну напругу його від 0 до величини $U_{кз.1}$, при якій в обмотках трансформатора встановляться номінальні струми,

Результати вимірів занести в табл.44.1.

5. Зібрати коло відповідно до схеми рис.44.2.

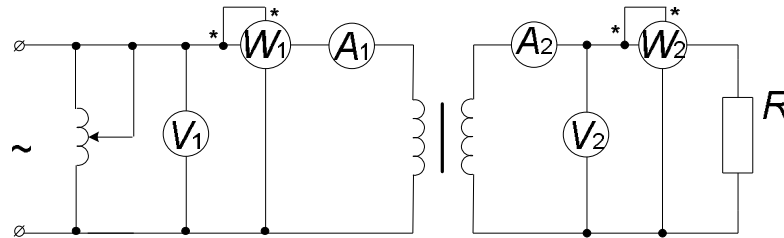


Рис.44.2

6. При номінальній первинній напрузі вимірити струм, напругу і активну потужність у первинному і вторинному колах, підключаючи по черзі до вихідних затискачів трансформатора: а) реостат; б) котушку індуктивності; в) конденсатор.

Результати вимірів занести в табл.44.1.

7. Накреслити схему заміщення трансформатора й обчислити всі параметри її за даними дослідів п.2 і 4.

8. Для кожного з досліджених режимів роботи трансформатора побудувати його векторну діаграму.

9. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 44.1

Дослід	U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	P_2
Неробочий хід						
Коротке замикання						
Активне навантаження						
Індуктивне навантаження						
Ємнісне навантаження						

Завдання для учбово-дослідницької роботи

1. Проаналізувати залежність основного магнітного потоку трансформатора від величини і характеру навантаження.

2. Дослідити, які фактори впливають на форму кривої намагнічуючого струму.

3. З'ясувати, яким вимогам повинен задовольняти трансформатор, щоб можна було вважати його ідеалізованим.

Методичні вказівки

Трансформатором називають статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більше число індуктивно зв'язаних обмоток і призначений для перетворення змінних напруг і струмів однієї величини в змінні напруги і струми іншої величини.

В техніці здебільшого застосовують трансформатори, обмотки яких розташовані на спільному осердді із спеціальної трансформаторної сталі.

Нелінійний характер магнітного кола ускладнює вивчення трансформаторів зі сталевим осерддям. З припустимою похибкою магнітне поле трансформатора може бути представлено еквівалентною картиною у виді трьох потоків:

- 1) Φ_0 - потік, створюваний МРС обох обмоток, який замикається по сталевому осерддю, охоплюючи усі витки обмоток трансформатора;
- 2) потік розсіювання Φ_{1s} , охоплюючий усі витки первинної обмотки;
- 3) потік розсіювання Φ_{2s} , охоплюючий усі витки вторинної обмотки.

Потоки розсіювання замикаються головним чином по повітрю і знаходяться у фазі зі струмами, які їх викликають (мал.44.3).

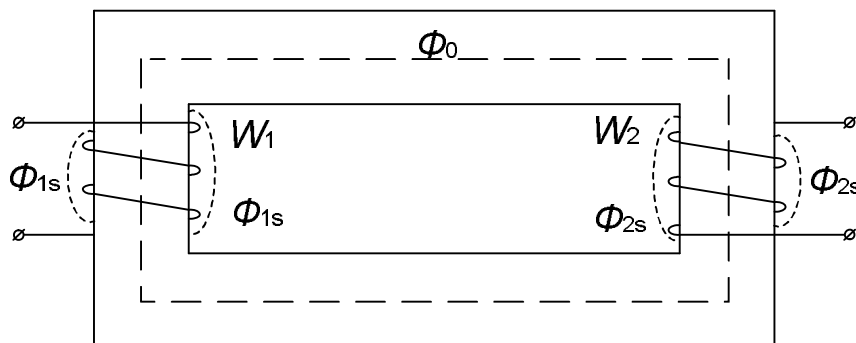


Рис.44.3

Потоки розсіювання можуть бути враховані через власні індуктивності первинної і вторинної обмоток L_1 і L_2 трансформатора.

Розрахунок процесів у трансформаторі заснований на його рівняннях, складених для первинного і вторинного кіл. Рівняння електричної рівноваги первинного кола трансформатора виглядає так:

$$U_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_0}{dt},$$

а вторинного

$$-w_2 \frac{d\Phi_0}{dt} = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

Відношення $\frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = c$ називають коефіцієнтом трансформації.

Для зручності порівняння величин напруг і струмів в обмотках трансформатора їх значення приводять до однакового числа витків.

Розглянемо приведення вторинної обмотки до числа витків первинної. При цьому всі параметри приведенної обмотки будемо відмічати знаком (') і називати приведеними величинами.

Операція приведення повинна бути виконана так, щоб МРС вторинної обмотки після приведення не змінилася, тобто повинна бути дотримана умова $i_2' w_1 = i_2 w_2$, звідки $i_2' = \frac{1}{c} i_2$.

Таким самим чином знаходимо інші приведені величини для вторинної обмотки:

$$e_2' = c e_2; R_2' = c^2 R_2; L_2' = c_2 L_2; u_2' = c u_2.$$

Магніторухійну силу, що визначає основний потік Φ_0 , після приведення можна представити у вигляді:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = i_1 w_1 + i_2' w_1 = (i_1 + i_2') w_1 = i_0 w_1,$$

де i_0 - намагнічуючий струм трансформатора.

При незмінній напрузі U_1 намагнічуючий струм i_0 можна вважати також незмінним при всіх режимах роботи трансформатора від неробочого ходу до нормального навантаження, якщо потоки розсіювання малі в порівнянні з основним потоком, що звичайно завжди має місце.

Дослідження роботи трансформатора спрощується при переході до еквівалентної схеми трансформатора (рис.44.4). Параметри еквівалентної схеми заміщення визначаються з дослідів неробочого ходу і короткого замикання трансформатора.

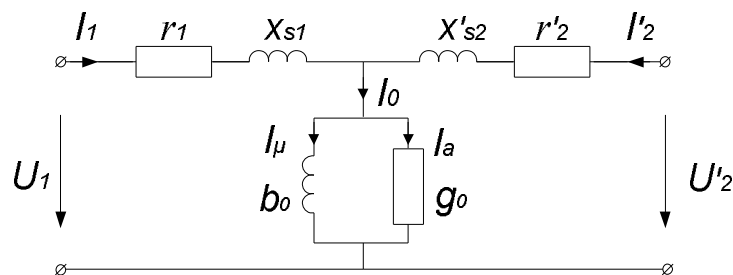


Рис.44.4

Дослід неробочого ходу трансформатора. Для зняття показів приладів у режимі неробочого ходу варто здійснити наступні включення. Трансформатор з розімкнутими кінцями вторинної обмотки включається під регульовану напругу U_1 , змінюючи яку доводять до напруги, при якій на кінцях вторинної обмотки буде номінальне значення напруги, зазначене на табличці трансформатора. У цьому режимі вимірюються потужність P_{10} , струм I_{10} і напруга U_{10} .

Нехтуючи втратою напруги в первинній обмотці, так як струм неробочого ходу I_{10} дуже малий, можна вважати

$$U_{10} = -E_1; \quad U_{20} = E_2.$$

Коефіцієнт трансформації $c = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}}$, потужність P_{10} при холостому ході дорівнює потужності втрат сталі (нехтуючи втратами міді). У цих умовах значеннями еквівалентних параметрів будуть:

$$Y_0 = \frac{I_{10}}{U_{10}}; \quad g_0 = \frac{P_{10}}{U_{10}^2}; \quad b_0 = \sqrt{Y_0^2 - g_0^2}; \quad \cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_{10} I_{10}};$$

$$I_\mu = B_0 E_1 = b_0 U_{10},$$

де I_0 - намагнічуючий струм; I_μ - реактивна складова намагнічуючого струму.

Дослід короткого замикання трансформатора. Для виміру струму, входної напруги і потужності яка споживається, в режимі короткого замикання вторинне коло трансформатора замикається накоротко. До первинного подається знижена регульована напруга, змінюючи яку доводять струм у закороченому вторинному колі до номінального його значення. Вимірюють у первинному колі потужність P_{1k} , напругу U_{1k} і струм I_{1k} . Мала напруга і великий струм на вході дозволяють знехтувати втратами в сталі і вважати, що потужність P_{1k} являє собою втрати в міді. Параметри схеми заміщення в режимі короткого замикання будуть: $Z_k = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}; R_k = \frac{P_{1k}}{I_{1k}^2}; X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{U_{1k} I_{1k}}$.

Звичайно приймають:

$$R_{1k} = R_{2k}'; \quad X_{1s} = X_{2s}'; \quad R_k = R_{1k} + R_{2k}'; \quad X_k = X_{1s} + X_{2s}'$$

Коефіцієнт корисної дії трансформатора.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_m + P_{cm}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{1k} + P_{10}}.$$

Мінливість магнітної проникності сердечника викликає викривлення форми кривих струмів і ЕРС, виникає нелінійна залежність їх і застосування символічного методу стає неможливим. будують вектор напруги \dot{U}'_2 . Додавши до вектора \dot{U}'_2 вектори $I'_2 R'_2$ і $I'_2 j X'_2$, Звичайно несинусоїдні величини заміняють еквівалентною синусоїдою, створюючи цим штучний умовно-лінійний режим,

дуже близький до дійсного. Багато трансформаторів при невеликих навантаженнях працюють при цілком лінійному режимі.

Рівняння трансформатора в символічній формі:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_1 j\omega L_1 + \dot{U}_0; \quad \dot{E}_2 = \dot{I}_2 R_2' + \dot{I}_2 j\omega L_2' + \dot{U}_2'; \quad \dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2'; \quad \dot{U}_0 = -\dot{E}_1 = -\dot{E}_2'.$$

Векторна діаграма трансформатора зі сталевим осердям при індуктивному характері навантаження.

Розташували довільно вектор \dot{I}_2' , під кутом $\varphi_n = \arctg \frac{X_n'}{R_n'}$, до цього вектора одержують вектор \dot{E}_2' (ЕРС, наведена потоком Φ_0 у вторинній обмотці трансформатора), що відстає від вектора Φ_0 на кут, рівний $\pi/2$. Враховуючи, що $\dot{U}_{10} = -\dot{E}_1$ й $\dot{E}_1 = \dot{E}_2'$, будують вектор $-\dot{E}_1$, а потім під кутом φ_{10} до цього вектора - вектор намагнічуючого струму \dot{I}_0 , модуль якого приймається рівним току неробочого ходу трансформатора. Віднімаючи від вектора \dot{I}_0 вектор \dot{I}_2' , одержують вектор струму \dot{I}_1 . Додаючи вектори $-\dot{E}_1, \dot{I}_1 R_1$ та $\dot{I}_1 j\omega L_1$, одержують вектор вхідної напруги \dot{U}_1 (рис.44.5).

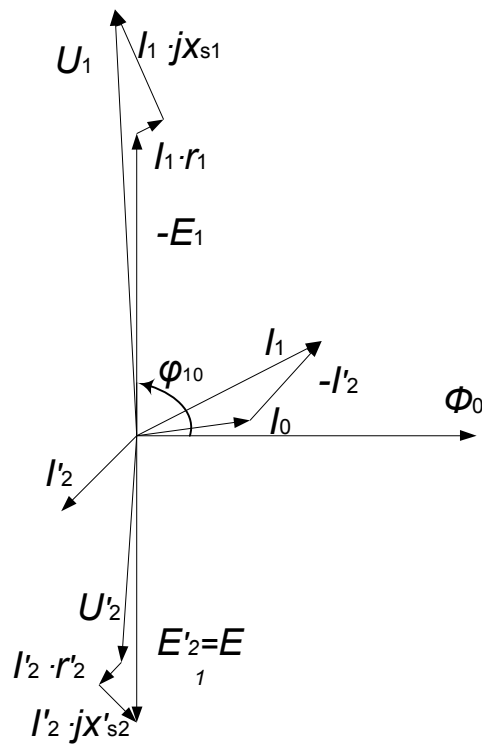


Рис.44.5

Порядок побудови векторних діаграм при активному і ємнісному навантаженнях аналогічний викладеному.