

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: исследовать однофазный трансформатор в опытах холостого хода и короткого замыкания, а также снять внешнюю характеристику трансформатора.

Основные теоретические сведения

Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала (шихтованная листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода (рис. 3.1). Одна из обмоток, которую называют первичной, присоединена к источнику переменного тока Γ на напряжение U_1 . К другой обмотке, называемой вторичной, подключен потребитель $Z_{\text{НАГР}}$. Первичная и вторичная обмотки трансформатора не имеют электрической связи друг с другом, и мощность из одной обмотки в другую передается электромагнитным путем. Магнитопровод, на котором расположены обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками.

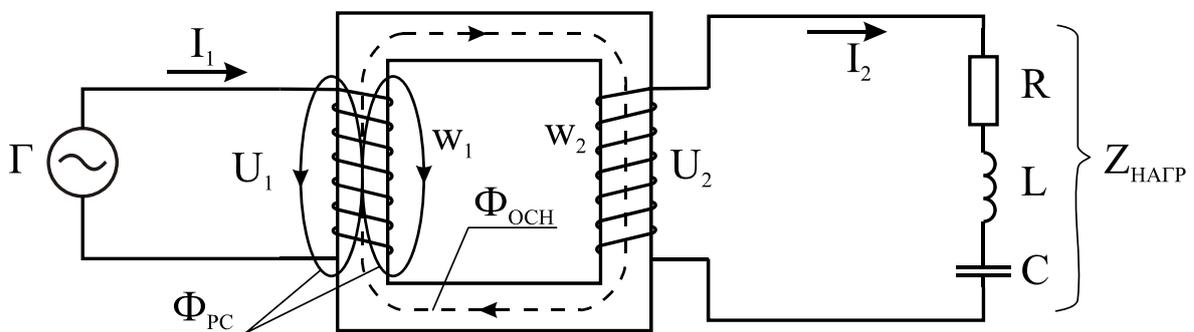


Рис. 3.1. Электромагнитная схема трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки w_1 к источнику переменного тока Γ под действием напряжения U_1 в витках этой обмотки протекает переменный ток I_1 . При отсутствии нагрузки на вторичной обмотке w_2 этот ток будет являться током холостого хода, а его действующее значение будет зависеть от сопротивления трансформатора:

$$I_{\text{ХХ}} = I_0 = \frac{U_1}{Z_T}.$$

Этот ток создает основной магнитный поток $\Phi_{осн}$ и магнитный поток рассеяния $\Phi_{рс}$, при этом $\Phi_{осн} \gg \Phi_{рс} \approx 0$. Замыкаясь в магнитопроводе, основной магнитный поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них электродвижущие силы ЭДС:

– в первичной обмотке ЭДС *самоиндукции*:

действующее значение	мгновенное значение
$E_1 = 4,44\Phi f w_1$	$e_1 = -w_1 \left(\frac{d\Phi}{dt} \right)$

– во вторичной обмотке ЭДС *взаимоиндукции*:

действующее значение	мгновенное значение
$E_2 = 4,44\Phi f w_2$	$e_2 = -w_2 \left(\frac{d\Phi}{dt} \right)$

При подключении нагрузки $Z_{нагр}$ (R, X_L, X_C) к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС E_2 в цепи этой обмотки создается вторичный ток I_2 — ток нагрузки, а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . Действующее значение тока во вторичной обмотке определяется законом Ома:

$$I_n = I_2 = \frac{E_2}{Z_T + Z_{нагр}} = \frac{U_2}{Z_{нагр}}$$

Ток I_2 создает свой магнитный поток Φ_2 , направленный встречно Φ_1 . В результате основной магнитный поток будет складываться из двух магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 , направленных встречно, и будет равен магнитному потоку трансформатора в режиме холостого хода:

$$\Phi_{осн} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_{хх} = \text{const.}$$

Из уравнений ЭДС видно, что e_1 и e_2 , наводимые в обмотках трансформатора, отличаются друг от друга лишь за счёт разного числа витков w_1 и w_2 в обмотках, поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор на любое отношение напряжений.

$$K_{тр} = \frac{E_{вн}}{E_{нн}} = \frac{W_{вн}}{W_{нн}} = \frac{U_{вн}}{U_{нн}} = \frac{I_{нн}}{I_{вн}}$$

В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$, а в понижающих $U_1 > U_2$. Обмотку трансформатора, подключенную к сети с более высоким напряжением, называют *обмоткой высшего напряжения* (ВН); обмотку, присоединенную к сети меньшего напряжения, — *обмоткой низшего напряжения* (НН).

Трансформаторы обладают свойством обратимости, один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего. Но обычно трансформатор имеет определенное назначение: либо он повышающий, либо — понижающий.

Трансформатор — это аппарат переменного тока. Если же его первичную обмотку подключить к источнику постоянного тока, то магнитный поток в магнитопроводе трансформатора также будет постоянным как по величине, так и по направлению $\left(\frac{d\Phi}{dt} = 0\right)$, поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС, а следовательно, электроэнергия из первичной цепи не будет передаваться во вторичную, кроме того, значительно возрастает ток в первичной обмотке из-за отсутствия индуктивного сопротивления.

Баланс намагничивающих сил F , $A \cdot \text{виток}$, в трансформаторе:

$$I_0 w_1 = I_1 w_1 - I_2 w_2;$$

$$F_0 = F_1 - F_2.$$

Исследование однофазного трансформатора

Для исследования однофазного трансформатора выполняют три опыта:

- опыт холостого хода: снимаются характеристики холостого хода;
- опыт короткого замыкания: снимаются характеристики короткого замыкания;
- опыт под нагрузкой: снимается внешняя характеристика.

Опыт холостого хода

Опыт холостого хода — это такой режим работы трансформатора, при котором к первичной обмотке подведено напряжение, а вторичная обмотка разомкнута (рис. 3.2), при этом $Z_{\text{НАГР}} = \infty$, $I_2 = 0$.

В опыте ХХ по показаниям контрольно-измерительных приборов снимаются три характеристики, при изменении напряжения U_1 от $0 \dots 1,15 U_{1\text{Н}}$:

$$I_1 = I_{\text{ХХ}} = f(U_1); \quad \Delta P_{\text{ХХ}} = f(U_1); \quad \cos \varphi_{\text{ХХ}} = f(U_1),$$

где $I_{\text{ХХ}}$ — это ток, который потребляет трансформатор ($1 \dots 10\%$) $I_{\text{Н}}$;

$\Delta P_{\text{ХХ}}$ — потери в режиме холостого хода (потери в стали);
 $\cos \varphi_{\text{ХХ}}$ — коэффициент мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$\cos \varphi_{\text{ХХ}} = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{U_1 I_1}.$$

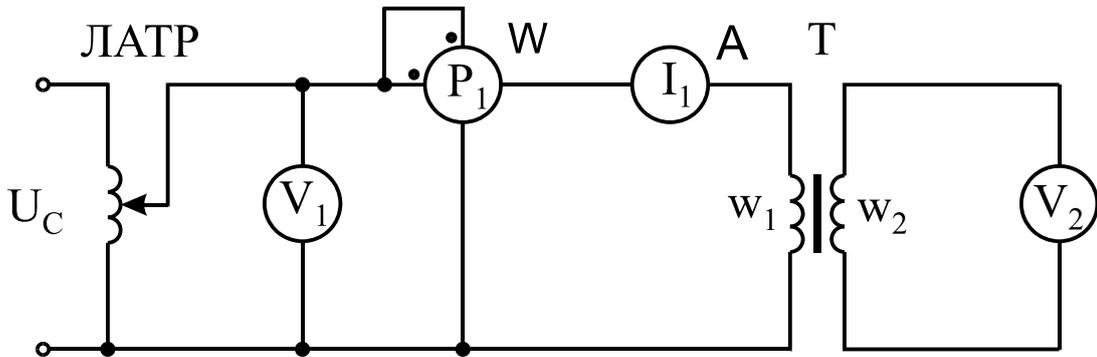


Рис. 3.2. Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода

На основании измеренных данных строятся характеристики трансформатора в режиме холостого хода (рис. 3.3).

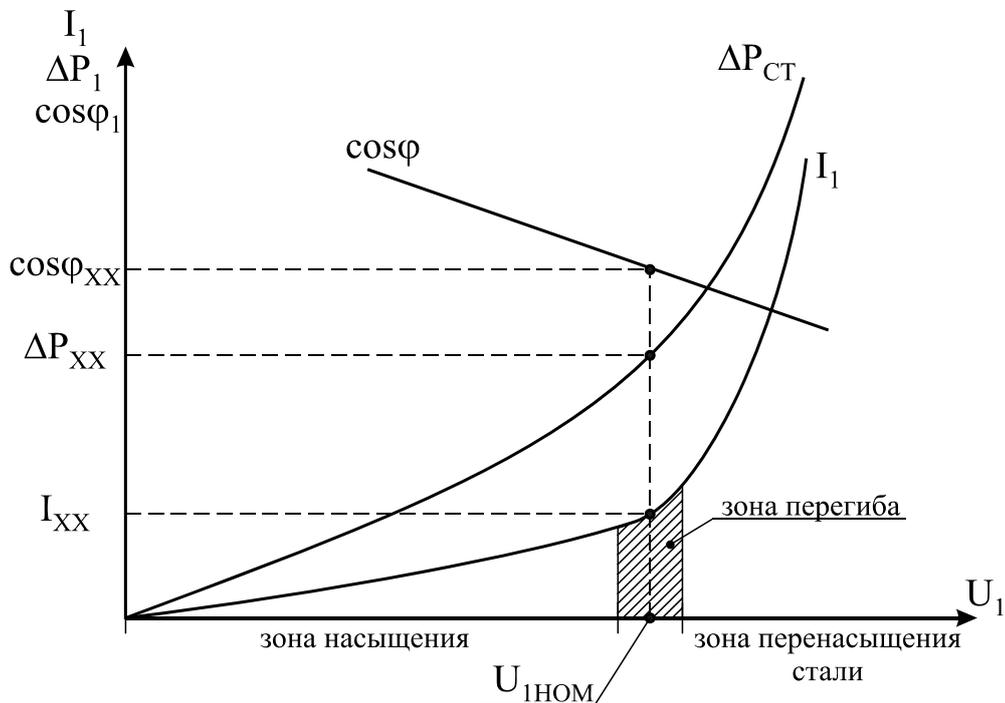


Рис. 3.3. Характеристики опыта холостого хода трансформатора

При изменении напряжения U_1 ток I_1 до зоны перегиба изменяется пропорционально U_1 , а затем резко возрастает. По зоне перегиба характеристики определяется номинальное напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_{1НОМ}$, значение которого регламентируется нормативными документами (6, 12, 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380, 660 В).

Опыт короткого замыкания

Опыт короткого замыкания — это такой режим работы трансформатора, когда вторичная обмотка замкнута накоротко (рис. 3.4), а к первичной подводят такое напряжение, чтобы по обмоткам текли номинальные токи, при этом $Z_{НАГР} = 0, U_2 = 0$.

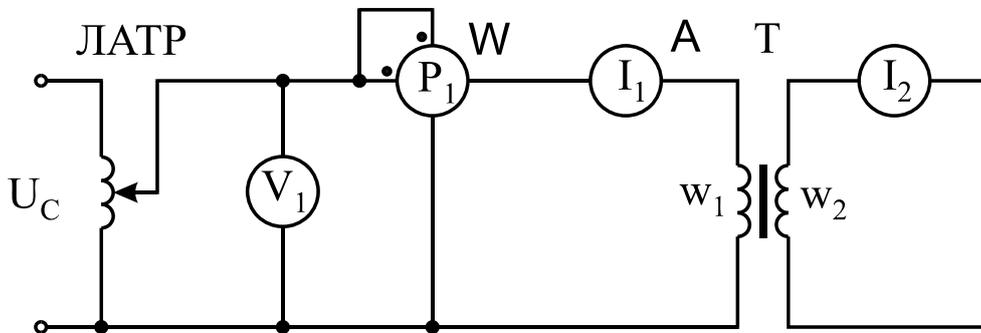


Рис. 3.4. Схема исследования трансформатора в режиме короткого замыкания

В условиях эксплуатации, когда к трансформатору подведено номинальное напряжение $U_{1НОМ}$, короткое замыкание является аварийным режимом и представляет большую опасность для трансформатора.

Напряжение, приложенное к первичной обмотке, называют напряжением короткого замыкания, обычно выражают его в % от номинального напряжения:

$$U_{КЗ} = 4,5...10\%U_{1НОМ}; U_{КЗ\%} = \frac{U_{КЗ}}{U_{1НОМ}}100 = 1...10\%.$$

В опыте КЗ снимаются аналогичные опыту ХХ характеристики при изменении напряжения U_1 от $0...U_{КЗ}$:

$$I_1 = I_{1НОМ} = I_{1КЗ} = f(U_1); \Delta P_{КЗ} = f(U_1); \cos \varphi_{КЗ} = f(U_1),$$

где $I_{1КЗ}$ — ток короткого замыкания в первичной обмотке трансформатора;

$\Delta P_{КЗ}$ — потери в режиме короткого замыкания (потери в меди);
 $\cos \varphi_{КЗ}$ — коэффициент мощности трансформатора при коротком замыкании.

На основании полученных данных строятся характеристики трансформатора в режиме короткого замыкания.

Зная $U_{КЗ}$, определяют реальные токи короткого замыкания, необходимые для выбора аппаратов защиты:

$$I_{1КЗ} = \frac{100}{U_{КЗ}} I_{1НОМ} = 20...25 I_{НОМ}; \quad I_{2КЗ} = \frac{100}{U_{КЗ}} I_{2НОМ}.$$

Внешняя характеристика трансформатора

Опыт под нагрузкой проводится для определения зависимости вторичного напряжения U_2 трансформатора от нагрузки I_2 (рис. 3.5).

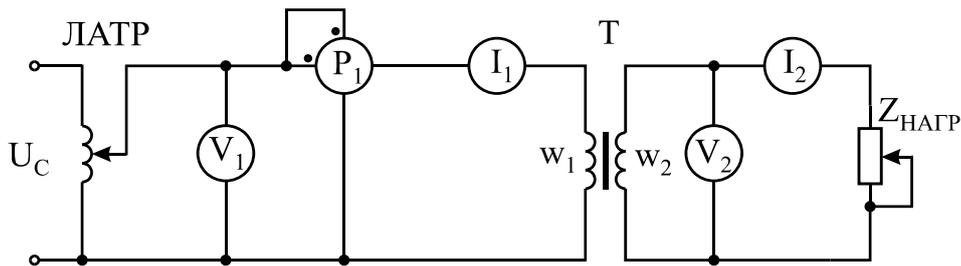


Рис. 3.5. Схема исследования трансформатора в режиме нагрузки

По результатам опыта строится внешняя характеристика:

$$U_2 = f(I_2) \text{ при } U_1 = U_{1НОМ}; \quad f_1 = f_{1НОМ}; \quad \cos \varphi = const.$$

В зависимости от характера нагрузки напряжение на вторичной обмотке может быть больше либо меньше номинального (рис. 3.6):

$$U_2 = E_2 - \Delta U_2 = E_2 - I_2 Z_2.$$

На основании полученных данных строится характеристика трансформатора в режиме нагрузки.

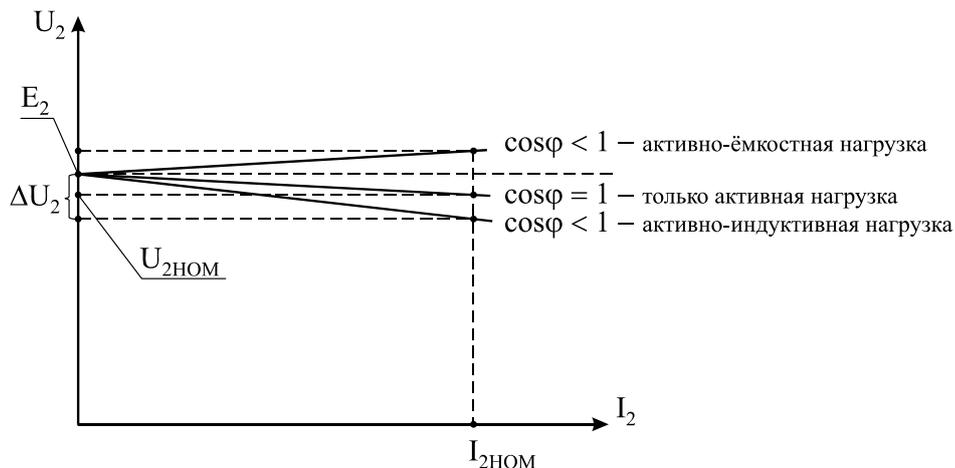


Рис. 3.6. Внешняя характеристика трансформатора

Из данного опыта при полностью активной нагрузке определяются номинальные токи трансформатора.

Порядок выполнения работы

Опыт холостого хода

1. Собрать схему для проведения опыта (рис. 3.2).
2. Плавно увеличивая напряжения U_1 от $0 \dots 1,15U_{1н}$, записать показания приборов для 8-10 контрольных точек измерения, например: 50, 100, 150, 180, 200, 210, 220, 230, 240, 250 В.
3. Опытные и расчетные данные занести в таблицу 3.1 и построить характеристики холостого хода трансформатора.

Таблица 3.1. Данные режима холостого хода

Опытные данные				Расчётные данные	
$U_1, В$	$I_1, А$	$\Delta P_{XX}, Вт$	$U_2, В$	$S, ВА$	$\cos \varphi_{XX}$

4. По характеристикам определить номинальное напряжение трансформатора исходя из стандартного номинального ряда напряжений и рассчитать коэффициент трансформации.

Внешняя характеристика трансформатора

1. Собрать схему для проведения опыта (рис. 3.5).
2. Подать на трансформатор номинальное напряжение без введённой нагрузки во вторичной цепи.
3. Посредством изменения сопротивления нагрузки плавно увеличить ток во вторичной обмотке трансформатора до номинального значения, при этом записать показания приборов для 4-6 контрольных точек измерения. Напряжение первичной обмотки поддерживать равным стандартному номинальному напряжению.
4. Опытные данные занести в таблицу 3.2 и построить внешнюю характеристику трансформатора.

Таблица 3.2. Данные режима трансформатора под нагрузкой

$U_1, В$	$I_1, А$	$P_1, Вт$	$U_2, В$	$I_2, А$

5. Определить характер нагрузки. Чему будет равен $\cos \varphi$ нагрузки?

Опыт короткого замыкания

1. Собрать схему для проведения опыта (рис. 3.4).
2. Вычислить номинальные токи на первичной и вторичной стороне трансформатора, используя паспортные данные.
3. Плавно увеличивая напряжение U_1 добиться протекания номинальных токов по обмоткам, записать показания приборов для 8-10 контрольных точек измерения.

4. Опытные и расчётные данные занести в таблицу 3.3 и построить характеристики короткого замыкания трансформатора.

Таблица 3.3. Данные режима короткого замыкания

Опытные данные			Расчётные данные		
U_1 , В	I_1 , А	$\Delta P_{кз}$, Вт	I_2 , А	S , ВА	$\cos \varphi_{кз}$

5. Вычислить напряжение короткого замыкания в процентах от номинального.

6. Вычислить реальные токи короткого замыкания трансформатора.

Содержание отчёта

1. Схемы проведения опытов.
2. Необходимые формулы для вычисления расчётных параметров.
3. Результаты опытов в виде таблиц 3.1-3.3.
4. Построенные зависимости в различных режимах работы трансформатора.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение обмоток и магнитопровода в трансформаторе.
2. Объясните работу трансформатора.
3. От чего зависит ЭДС обмоток трансформатора?
4. Как рассчитать ЭДС обмоток трансформатора?
5. Как влияет характер нагрузки трансформатора на вторичное напряжение?
6. Почему при увеличении тока I_2 увеличивается пропорционально ток I_1 ?
7. Как вычислить коэффициент трансформации трансформатора?
8. Назовите паспортные и бирочные данные одно- и трёхфазного трансформатора.
9. Что такое напряжение короткого замыкания и как его можно определить?
10. Как вычислить $\cos \varphi$ в режиме нагрузки?
11. Чем опасен режим короткого замыкания при номинальном напряжении на первичной обмотке трансформатора?
12. Назовите условия построения характеристик в опытах ХХ и КЗ.
13. Назовите условия снятия внешней характеристики трансформатора.