



СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра: «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

"ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА"

**Методическое руководство
по лабораторной работе**

Ростов-на-Дону
2019 г.

Ершов В.В.

«Исследование однофазного трансформатора»

Методическое руководство по лабораторной работе

Руководство предназначено для выполнения экспериментальных исследований трансформатора для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Рассмотрено и одобрено на заседании
кафедры ИТСС
Протокол № 1 от 26.08.2019 г.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы:

1. Изучение конструкции, уяснение сущности электромагнитных процессов в трансформаторе.
2. Приобретение навыков экспериментального исследования трансформатора и определение его рабочих свойств по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.
3. Закрепление навыков в оформлении отчетной документации по результатам эксперимента и защита полученных результатов.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию переменного тока другого напряжения одной и той же частоты.

Трансформаторы находят широкое применение в электроэнергетике при передаче и распределении электрической энергии. Они широко используются в системах электропитания потребителей различного функционального назначения. Важную роль играют трансформаторы в системах питания устройств и систем телекоммуникаций.

В данной работе исследуется однофазный трансформатор. Закономерности протекания электромагнитных процессов в нем целиком применимы и к трехфазному трансформатору, если иметь в виду одну из фаз последнего.

Основные эксплуатационные свойства трансформатора могут быть определены двумя путями: непосредственным испытанием

под нагрузкой и по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания.

Для непосредственного испытания трансформатора требуется громоздкая и дорогостоящая нагрузочная аппаратура, в ходе такого испытания имеет место большой расход электроэнергии, особенно для мощных трансформаторов. Самым главным недостатком этого способа является очень низкая точность полученных результатов. Это объясняется тем, что к.п.д. современных мощных трансформаторов высок, а значит полезная P_2 и затраченная P_1 мощности отличаются незначительно. В результате этого даже небольшие ошибки при измерении мощности приводят к значительной погрешности при вычислении к.п.д., как важнейшей технико-экономической характеристики трансформатора.

С другой стороны все рабочие свойства трансформатора могут быть определены по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания, для проведения которых не требуется больших затрат электроэнергии и нет необходимости в громоздкой нагрузочной аппаратуре. При этом точность полученных результатов оказывается достаточно высокой.

В лабораторной работе определение рабочих свойств трансформатора проводится по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания. Рассмотрим кратко основные процессы и зависимости, имеющие место в трансформаторе в режиме холостого хода и короткого замыкания.

ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА

В режиме холостого хода вторичная обмотка трансформатора разомкнута ($z_H = \infty$; поэтому $I_2=0$), а к первичной обмотке подводится напряжение переменного тока, величину которого можно регулировать с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР).

Ток холостого хода I_{10} , имеющий место в первичной обмотке, создает в магнитопроводе трансформатора основной магнитный поток Φ_{10} и магнитный поток рассеяния Φ_{S1} , сцепленный только с первичной обмоткой.

Основной магнитный поток по закону электромагнитной индукции наводит в первичной обмотке э.д.с. **самоиндукции** а во вторичной - э.д.с. **взаимоиндукции**. Действующие значения этих э.д.с. записываются соответственно в виде

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{mo} \cdot W_1, \quad (1.1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{mo} \cdot W_2. \quad (1.2)$$

Эти э.д.с. совпадают по фазе друг с другом и отстают на 90° от вектора магнитного потока Φ_{mo} , который, в свою очередь, отстает от намагничивающего тока I_{10} на небольшой угол α за счет потерь в стали.

Магнитный поток рассеяния Φ_{S1} вызывает появление в первичной обмотке э.д.с. рассеяния E_{S1} , действие которой учитывается введением понятия индуктивного сопротивления рассеяния первичной обмотки x_1 .

Приложенное к первичной обмотке напряжение сети уравнивается э.д.с. самоиндукции E_1 , э.д.с. рассеяния E_{S1} и падением напряжения на активном сопротивлении r_1 первичной обмотки:

$$\underline{U}_{10} = -\underline{E}_1 + \underline{I}_{10} \cdot r_1 + j \cdot \underline{I}_{10} \cdot x_1. \quad (1.3)$$

В связи с тем, что ток холостого хода I_{10} мал, составляющими $\underline{I}_{10} \cdot r_1$ (падением напряжения на активном сопротивлении первичной обмотки) и $\underline{I}_{10} \cdot x_1$ (падением напряжения на индуктивном сопротивлении рассеяния) в уравнении (1.3) можно пренебречь и считать, что при холостом ходе напряжение \underline{U}_{10} уравнивается только э.д.с. \underline{E}_1 , т.е. $\underline{U}_{10} = -\underline{E}_1$.

Трансформатор при работе в режиме холостого хода представляет катушку с замкнутым стальным магнитопроводом, индуктивное сопротивление которой, весьма велико. Оно складывается

из индуктивного сопротивления, обусловленного рассеянием первичной обмотки x_1 и индуктивного сопротивления контура намагничивания x_0 . Поэтому ток холостого хода трансформатора мал и составляет 5-10% от номинального тока обмотки I_{1H} (в маломощных трансформаторах он может быть и больше).

Векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода без учета падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях изображена на рис. 1.1, где угол сдвига по фазе между \underline{U}_{10} и \underline{I}_{10} определяется из формулы для коэффициента мощности

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} \cdot I_{10}}, \quad (1.4)$$

где P_0 - активная мощность, потребляемая трансформатором из сети при холостом ходе.

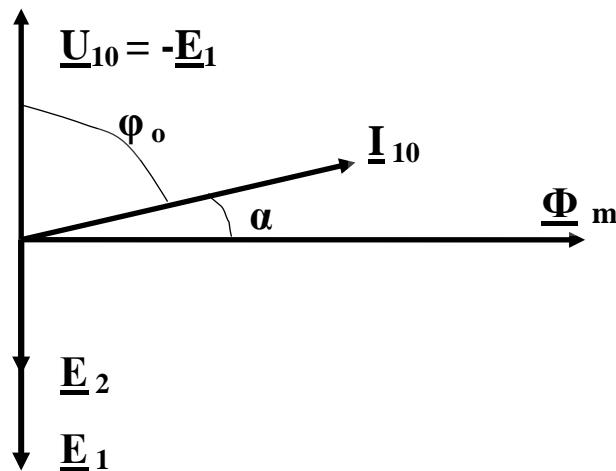


Рис. 1.1. Векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода

Эта мощность расходуется на покрытие потерь в стали магнитопровода - $p_{ст}$ (потери на гистерезис и вихревые токи) и потерь в меди первичной обмотки $I_{10}^2 \cdot r_1$. С достаточной точностью можно считать, что P_0 при $U_{10} = U_{1H}$ расходуются только на покрытие потерь в стали $p_{ст}$, так как потери в меди ввиду малости тока холостого хода практически ничтожны. Поэтому принято считать, что поте-

ри, определяемые в опыте холостого хода, равны потерям в стали магнитопровода

$$P_0 = p_{cm}. \quad (1.5)$$

Кроме того, в опыте холостого хода определяется коэффициент трансформации трансформатора как отношение напряжений на зажимах обмотки:

$$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}}, \quad (1.6)$$

Ток холостого хода в процентах от номинального тока первичной обмотки

$$I'_o = \frac{I_o}{I_{1H}} \cdot 100 \%. \quad (1.7)$$

Мощность холостого хода в процентах от номинальной мощности трансформатора и, соответственно, потери в стали в процентах (%)

$$P'_o = \frac{P_o}{S_{2H}} \cdot 100 \%, \quad (1.8) \quad P'_{CT} = \frac{P_{CT}}{S_{2H}} \cdot 100 \%. \quad (1.9)$$

Таким образом, по данным опыта холостого хода при номинальном значении первичного напряжения U_{1H} , по величине тока I_{10} и потерь P_0 , определяется коэффициент мощности $\cos \varphi_0$ и коэффициент трансформации n . По результатам эксперимента строятся графические зависимости I_0 , P_0 , p_{CT} , $\cos \varphi_0 = f(U_1)$, примерный вид которых представлен на рис.1.2. Параметры I'_o , P'_o и p_{CT} следует рассчитать для $U_{10} = 220$ В.

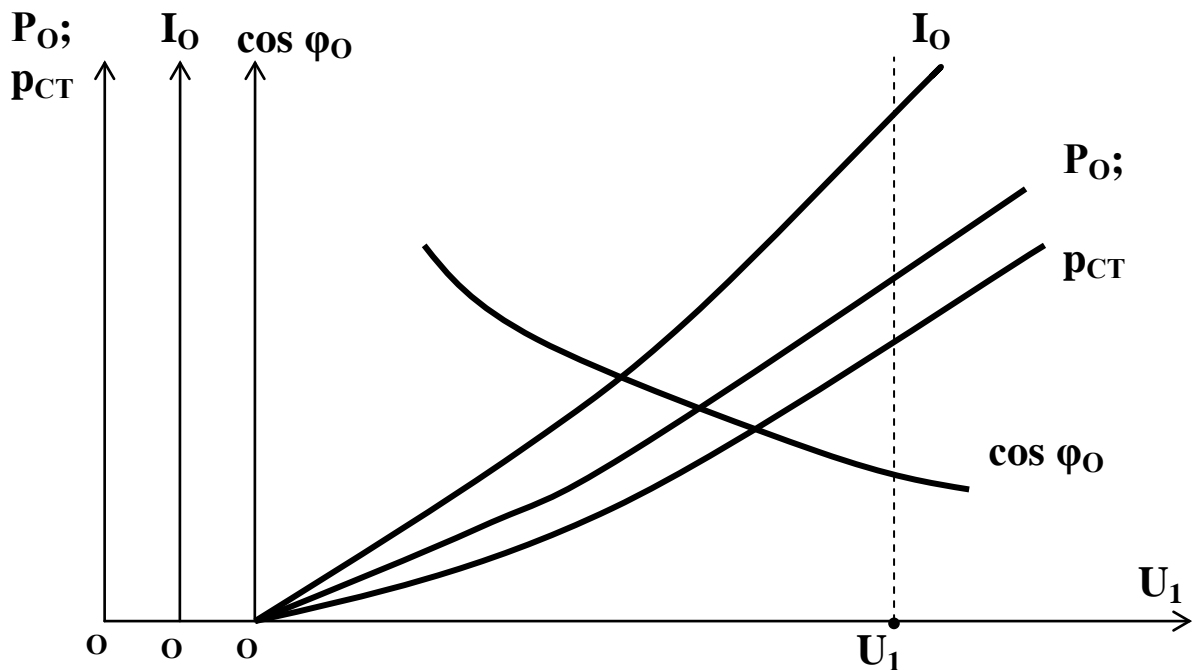


Рис. 1.2. Характеристики трансформатора в режиме холостого хода

Из графиков видно, что ток I_0 с увеличением напряжения U_1 изменяется практически пропорционально до тех пор, пока магнитопровод трансформатора не насыщен. В области насыщения ток I_0 растет более интенсивно.

Мощность, потребляемая трансформатором из сети, расходуется практически на потери в стали, т.е. $P_0 \approx p_{ст}$. При постоянной частоте тока питающей сети ($f = 50$ Гц) потери в стали пропорциональны квадрату магнитной индукции, а последняя пропорциональна индуцируемой э.д.с. самоиндукции E_1 . Так как в режиме холостого хода эта э.д.с. практически равна напряжению на зажимах первичной обмотки трансформатора, то $p_{ст} \approx B^2 \approx E_1^2 \approx U_1^2$ и поэтому P_0 и $p_{ст}$ практически пропорциональны квадрату напряжения и, следовательно, кривые $P_0 = f(U_1)$ и $p_{ст} = f(U_1)$ близки к параболе.

Кривая коэффициента мощности $\cos \varphi_0 = f(U_1)$ с увеличением напряжения питающей сети имеет падающий характер. Это объясняется тем, что по мере повышения напряжения возрастает магнитный поток и в связи с насыщением магнитопровода значительно возрастает реактивная составляющая тока холостого хода. С дальнейшим увеличением напряжения U_1 в маломощных трансформаторах

торах начинает заметно возрастать и активная составляющая этого тока вследствие увеличения потерь в меди.

ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Различают два вида короткого замыкания: эксплуатационное, или *аварийное короткое замыкание*, и испытательный режим, или *опыт короткого замыкания*.

При *аварийном коротком замыкании*, когда напряжение на зажимах первичной обмотки равно номинальному U_{1H} , токи в обмотках трансформатора в 10-20 раз превышают их номинальные значения, что опасно для целостности трансформатора как вследствие возникающих в обмотках весьма больших электромагнитных сил, так и вследствие чрезмерного их нагрева. Обычно предусматриваются быстродействующие системы защиты, обеспечивающие своевременное отключение трансформатора от источника электрической энергии при возникновении такого вида короткого замыкания.

Опыт короткого замыкания для трансформатора не опасен, и проводится он с целью определения его параметров при коротком замыкании. В этом случае при закороченной вторичной обмотке трансформатора к его первичной обмотке подводится пониженное напряжение U_{1K} такой величины, при которой токи в обмотках трансформатора равны номинальным. Величина этого напряжения, отнесенная к номинальному значению напряжения в первичной обмотке является параметром трансформатора. Его принято называть "напряжением короткого замыкания" и обозначают U_K . Обычно оно выражается в процентах от соответствующего номинального напряжения и указывается в паспортных данных трансформатора

$$U_K \% = \frac{U_{1K}}{U_{1H}} \cdot 100 \% \quad (1.10)$$

Величина U_K % согласно ГОСТу для нормальных трансформаторов находится в пределах 5,5-10,5%. Поскольку напряжение U_{1K} и э.д.с. E_{1K} малы: [$U_{1K} = (5-10\%)U_{1H}$, а $E_{1K} = 0,5U_{1K}$], следовательно, и основной магнитный поток Φ_K также незначителен. Он составляет обычно величину порядка 2-5% от магнитного потока трансформатора

при холостом ходе. Следует заметить, что в большей степени это справедливо для трансформаторов средней и большой мощности. Поэтому для этих трансформаторов в опыте короткого замыкания потерями в стали магнитопровода $p_{ст}$, пропорциональными квадрату магнитной индукции, и намагничивающим током I_{10} можно пренебречь и считать:

$$p_K = (p_{M1} + p_{M2}) + p_{ст.К} \approx p_M = I_{1K}^2 \cdot r_1 + I_{2K}^2 \cdot r_2, \quad (1.11)$$

где $I_{1K}^2 \cdot r_1 = p_{M1}$; $I_{2K}^2 \cdot r_2 = p_{M2}$.

В маломощных трансформаторах ток I_0 достигает 40-50% от номинального значения тока первичной обмотки I_{1H} . Применительно к опыту короткого замыкания для этих трансформаторов $I_{1H} = I_{1K}$, поэтому потерями в стали для этих трансформаторов пренебрегать нельзя, и следует учитывать их по формуле $p_{ст.К} = P_K - p_M$.

Зная напряжение короткого замыкания U_{1K} , при котором токи в обмотках трансформатора достигают своих номинальных значений, по величине тока $I_{1K} = I_{1H}$ и потерям P_K можно определить коэффициент мощности $\cos \varphi_K$ и параметры схемы замещения трансформатора в режиме короткого замыкания Z_K , r_K , x_K .

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_{1K} \cdot I_{1K}}, \quad (1.12) \quad r_K = \frac{P_K}{I_{1K}^2}, \quad (1.13)$$

$$Z_K = \frac{U_K}{I_{1K}}, \quad (1.14) \quad x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}, \quad (1.15)$$

Сопротивления Z_K , r_K и x_K называются соответственно полным, активным и индуктивным сопротивлениями короткого замыкания трансформатора.

По результатам эксперимента строятся графические зависимости I_{1K} , I_{2K} , P_K , p_M , $\cos \varphi_K = f(U_K)$, примерный вид которых представлен на рис.1.3.

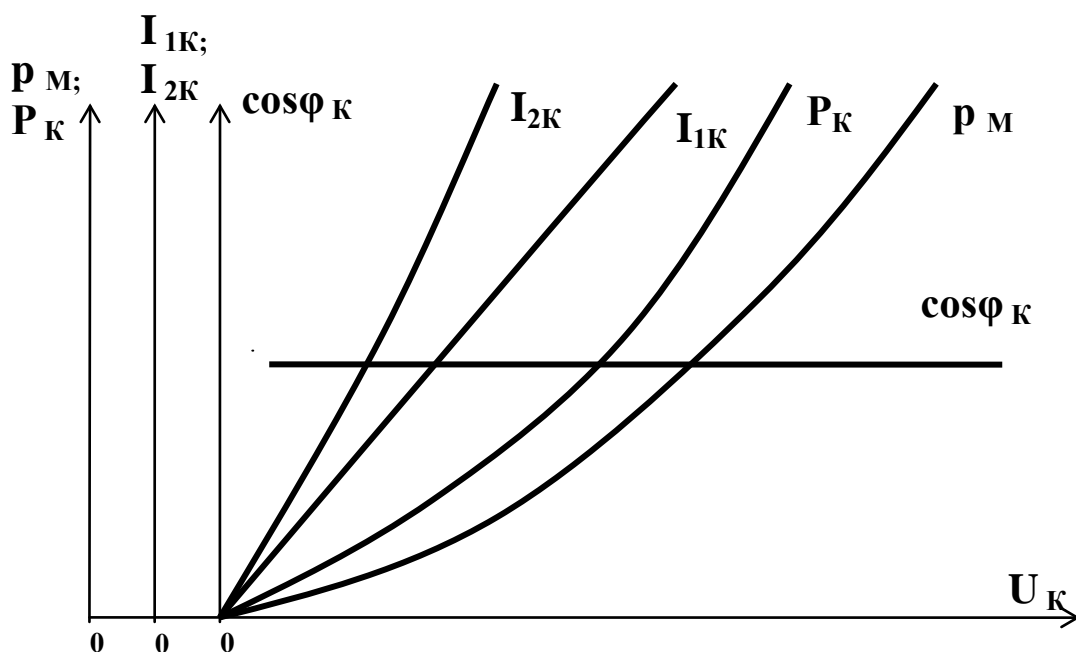


Рис. 1.3. Характеристики трансформатора в режиме короткого замыкания

Из графиков видно, что зависимости $I_{1K} = f(U_K)$ и $I_{2K} = f(U_K)$, практически прямолинейны т.к. при малом напряжении U_K магнитопровод трансформатора и токи изменяются прямопропорционально напряжению.

Мощность P_K в исследуемом маломощном трансформаторе расходуется в большей степени на нагревание проводников первичной и вторичной обмоток r_M , а в меньшей степени на потери в стали магнитопровода $r_{ст.к}$. Поэтому характер изменения P_K и r_M описывается параболами. Однако зависимость $P_K = f(U_K)$ отражается более крутвосходящей ветвью по сравнению с $r_M = f(U_K)$. Их различие объясняется долей потерь в стали $r_{ст.к}$ в составе потерь P_K .

Зависимость $\cos \varphi_K = f(U_K)$ остается почти неизменной, т.к. соотношение между активным и индуктивным сопротивлениями трансформатора почти не изменяется.

ПОСТРОЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ОТ НАГРУЗКИ

Коэффициент полезного действия исследуемого трансформатора вычисляется по данным опытов холостого хода и короткого замыкания по выражению:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + p_{ст} + p_M} \cdot 100\% =$$
$$\% = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_K} \cdot 100\% \quad (1.16)$$

где $P_2 = U_{2H} \cdot I_{2H} \cdot \cos \varphi_2$ - активная мощность, отдаваемая трансформатором в нагрузку (значения U_{2H} и I_{2H} берутся из паспортных данных трансформатора);

$p_{ст}$ - потери в стали магнитопровода трансформатора, которые определяются в опыте холостого хода: $P_0 = p_{ст}$ при $U_1 = U_{1H} = 220$ В; В дальнейшем $p_{ст}$ принимаем не зависящими от нагрузки трансформатора.

$p_M = p_{MH75}$ - потери в меди обмоток трансформатора, определяемые в опыте короткого замыкания при номинальном токе $I_{2H} = 0,2$ А, но приведенные к температуре 75 °С как этого требует ГОСТ.

Опыт короткого замыкания обычно проводится при температуре окружающей среды $t^\circ\text{C}$. Приведение к температуре 75°С осуществляется по формуле

$$p_{MH75} = p_M \cdot [1 - \alpha (75^\circ - t^\circ)],$$

где $\alpha = 0,004$ - температурный коэффициент для меди;

$t^\circ = 15$ °С.

Выражение (1.16) применимо для определения к.п.д. трансформатора только при номинальной нагрузке.

Когда требуется определить к.п.д. трансформатора в широком диапазоне нагрузок то вводят понятие о коэффициенте загрузки

трансформатора, равно отношению текущего значения вторичного тока к его номинальной величине, т.е.

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}. \quad (1.17)$$

С учетом того, что потери холостого хода практически не зависят от нагрузки ($P_0 \approx \text{const}$), а потери короткого замыкания изменяются по квадратичной зависимости от тока нагрузки ($P_k \approx p_m = \beta^2 \cdot p_{mH75}$), формула (1.16) принимает вид:

$$\eta = \frac{\beta P_{2H}}{\beta P_{2H} + P_0 + \beta^2 p_{mH75}} \cdot 100\% \quad (1.18)$$

Графики зависимостей $p_{CT} = f(\beta)$, $p_m = f(\beta)$ и $\eta = f(\beta)$ представлены на рис. 1.4. Задаваясь значениями β , равными 0,12, 0,25, 0,5; 0,75; 1,0; 1,25, $\cos \varphi_2 = 0,8$ можно вычислить к.п.д. трансформатора для указанных значений коэффициента загрузки β и построить зависимость $\eta = f(\beta)$. Результаты расчетов записываются в табл. 1.3. По данным таблицы строятся зависимости $p_{CT} = f(\beta)$, $p_m = f(\beta)$ и $\eta = f(\beta)$.

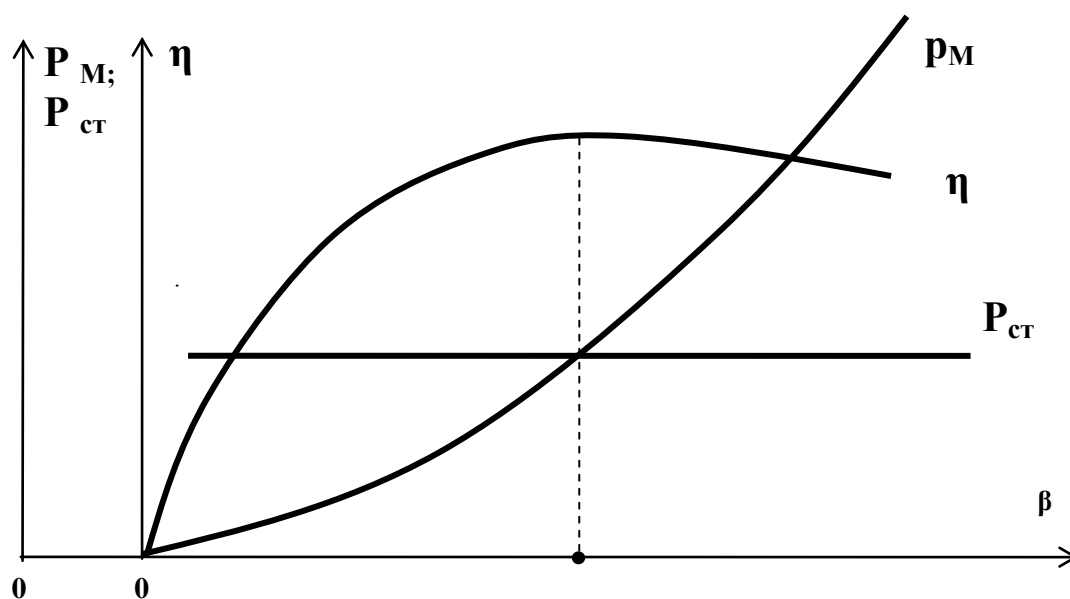


Рис. 1.4. Зависимости потерь и к.п.д. трансформатора от нагрузки

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Перед включением трансформатора в электрическую схему необходимо тщательно проверить соответствие его входных и выходных зажимов, а также соответствие измерительных приборов, необходимых для проведения исследований.

2. Перед подачей питания на схему необходимо проверить установку соответствующих данному опыту пределов измерений многопредельных приборов. Особое внимание необходимо уделить выставке ЛАТРа в исходное положение (в котором напряжение на его выходе равно нулю) в опыте короткого замыкания, ибо любое небольшое перемещение ползунка ЛАТРа вызывает значительное возрастание тока в цепи лабораторной установки, что может привести к повреждению электроизмерительных приборов и трансформатора.

3. При проведении эксперимента запрещается:

- изменять самостоятельно электрическую схему включения трансформатора;

- оставлять трансформатор во включенном состоянии на долгое время и без надзора;
- касаться зажимов трансформатора и неизолированных клемм цепи, делать переключения в схеме, находящейся под напряжением.

СОСТАВ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из исследуемого однофазного трансформатора, ЛАТРа для изменения входного напряжения и электроизмерительных приборов (как однопредельных, так и многопредельных), состав и пределы измерений которых меняются от опыта к опыту. Эти приборы в различных опытах имеют следующие пределы измерений:

а) опыт холостого хода:

- милливольтметр PV1 типа В3-38;
- милливольтметр PV2 типа В3-38;
- миллиамперметр PA1, - 0-75 mA;
- ваттметр PW1 типа Д 580.

б) опыт короткого замыкания:

- милливольтметр PV1 типа В3-38;
- амперметр PA1 - 0-0,5, 0-1 A;
- амперметр PA2 - 0-0,5, 0-1 A;
- ваттметр PW1 типа Д 580.

Во всех опытах пределы измерения ваттметра устанавливаются исходя из пределов измерения PA1, PU1 и PW1, включенных в цепь первичной обмотки трансформатора.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию трансформатора, используя стенды, макеты и образцы трансформаторов, применяющихся в технике

связи. Обратить внимание на разнообразие конструкций магнитопроводов и размещение обмоток высшего и низшего напряжений.

2. Провести опыт холостого хода, для чего:

а) собрать схему опыта (рис.1.5), обратив внимание на то, что на схему подается напряжение 220 В. Убедиться, что ползунок ЛАТРа повернут против часовой стрелки до упора;

б) подать на схему питание. Выставляя с помощью ЛАТРа напряжение на первичной обмотке трансформатора, последовательно (130, 160, 180, 200, 220, 240) В, снять показания приборов,

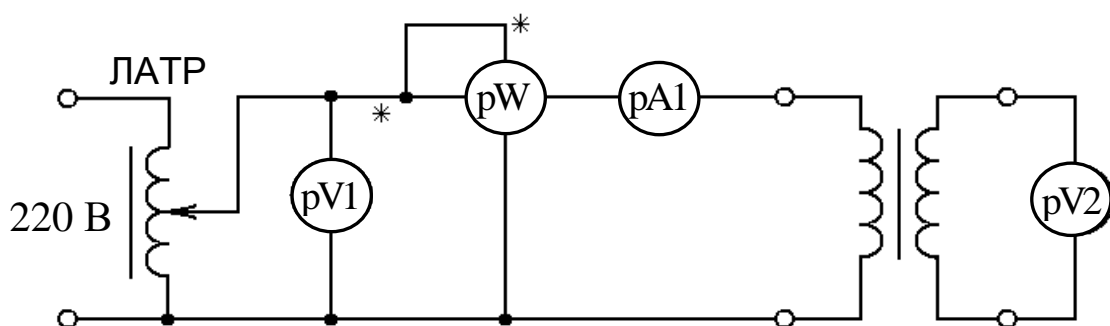


Рис. 1.5. Схема испытания трансформатора при опыте холостого хода

обратив особое внимание на правильное определение их цены деления. Показания приборов занести в табл.1.1.

Таблица 1.1

Наблюдения				Вычисления				Примечания
U_{10}	I_{10}	U_{20}	P_0	p_{M1}	p_{CT}	$\cos \varphi_0$	η	$p_{M1} = I_{1K}^2 \cdot r_1;$
В	А	В	Вт	Вт	Вт		%	

								$p_{CT} = P_0 - I_{10}^2 \cdot r_1;$ $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} \cdot I_{10}};$ $n = \frac{U_{10}}{U_{20}};$ <p>Значение r_1 берется из паспортных данных трансформатора.</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	---

в) снизить с помощью ЛАТР напряжение до нуля на первичной обмотке трансформатора, выключить питание;

г) По результатам вычислений определить и построить графические зависимости I_0 , P_0 , p_{CT} , $\cos \varphi_0 = f(U_1)$.

3. Провести опыт короткого замыкания трансформатора, для чего:

а) собрать схему опыта (рис.1.6.);

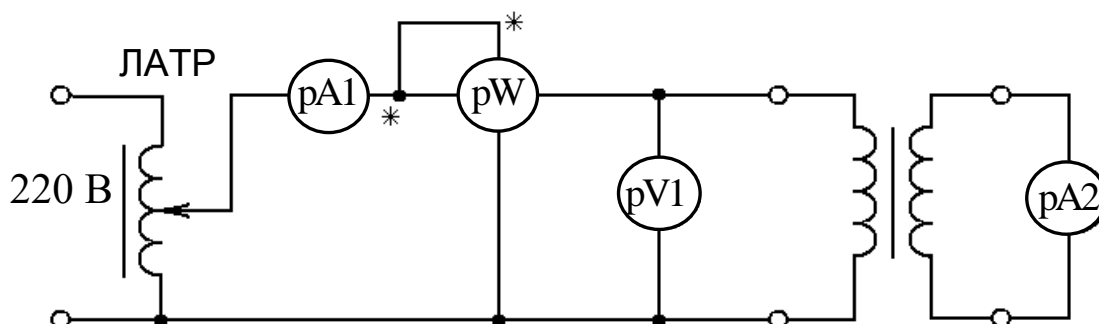


Рис. 1.6. Схема испытания трансформатора при опыте короткого замыкания

б) подать на схему питание. С помощью ЛАТРа изменять напряжение на первичной обмотке трансформатора от нуля до значения, при котором ток во вторичной обмотке трансформатора достигнет своего номинального значения ($I_{2H} = I_{2K}$). На этом интер-

вале снять показания приборов в 4-5 точках и записать их в табл.1.2. По результатам вычислений определить и построить

Наблюдения				Вычисления			Примечания
U_{1K} В	I_{1K} А	I_{1K} А	P_K Вт	p_M Вт	$p_{CT.K}$ Вт	$\cos \varphi_K$	$p_M = I_{1K}^2 \cdot r_1 + I_{2K}^2 \cdot r_2;$ $p_{CT.K} = P_K - p_M;$ $\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_{1K} \cdot I_{1K}};$ $r_K = \frac{P_K}{I_{1K}^2}; \quad z_K = \frac{U_K}{I_{1K}};$ $x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}.$ <p>Значения r_1 и r_2 берутся из паспортных данных трансформатора.</p>

графические зависимости I_{1K} , I_{2K} , P_K , p_M , $\cos \varphi_K = f(U_K)$ и параметры схемы замещения для режима холостого хода трансформатора Z_K , r_K , x_K .

в) снизить с помощью ЛАТР напряжение до нуля на первичной обмотке трансформатора, выключить питание.

4. Рассчитать коэффициент полезного действия трансформатора и построить его зависимость от нагрузки, для чего:

а) используя выражение (1.16) рассчитать к.п.д. трансформатора;

б) используя выражение (1.18) и задаваясь значениями β равными 0,12, 0,25, 0,5; 0,75; 1,0; 1,25, вычислить к.п.д. трансформатора. Результаты расчетов занести в табл. 1.3. По данным расчета построить зависимости p_{CT} , p_M , $\eta = f(\beta)$.

Таблица 1.3

Наблюдения	Вычисления
------------	------------

β	P_{2H} Вт	P_0 В	P_K Вт	$\beta^2 \cdot P_{2H}$ Вт	β^2	$\beta^2 \cdot P_K$ Вт	η %

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схемы испытаний трансформатора в опыте холостого хода и короткого замыкания.
2. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
3. Расчетные формулы.
4. Графические зависимости I_0 , P_0 , p_{CT} , $\cos \varphi_0 = f(U_1)$.
5. Графические зависимости I_{1K} , I_{2K} , P_K , p_M , $\cos \varphi_K = f(U_K)$.
6. Расчетное значение параметра U_K %.
7. Графические зависимости p_{CT} , p_M , $\eta = f(U_K)$.
8. Выводы по каждому этапу экспериментальных исследований.
9. Итоговые выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется трансформатором?
2. Нарисовать полную схему замещения трансформатора.
3. Нарисовать векторную диаграмму трансформатора, работающего на активно-индуктивную нагрузку.
4. С какой целью первичная и вторичная обмотки трансформатора размещаются на магнитопроводе одна над другой?
5. Какие существуют способы определения к.п.д. трансформатора?
6. Нарисовать векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода.
7. Что такое приведенный трансформатор? Каковы условия и формулы приведения?
8. Какова схема замещения трансформатора при коротком замыкании?

9. Какова схема замещения трансформатора при холостом ходе?

10. Пояснить характер изменения зависимостей I_0 , P_0 , $p_{ст}$, $\cos \varphi_0 = f(U_1)$.

11. Пояснить характер изменения зависимостей $I_{1к}$, $I_{2к}$, P_k , p_m , $\cos \varphi_k = f(U_k)$.

12. Пояснить графики изменения зависимостей $p_{ст}$, p_m , $\eta = f(\beta)$.

13. Трансформатор, работает в режиме холостого хода. Как изменится первая составляющая в правой части уравнения $\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \cdot (r_1 + j \cdot x_1)$ если материал магнитопровода сменить со стали на бронзу?

14. Построить векторную диаграмму вторичной цепи трансформатора для режима активно-емкостной нагрузки.

15. Как следует изменить число витков w_1 первичной обмотки трансформатора, чтобы при увеличенном в 3 раза напряжении питания U_1 выходное напряжение уменьшилось в 2 раза.

16. Трансформатор, нормальная работа которого рассчитана при $U=220$ В, $f = 50$ Гц, включают в сеть с таким же напряжением и $f = 400$ Гц. Как изменится ток в нагрузке и ток в первичной обмотке.

Список литературы

1. Бокуняев А.А. и др. "Электропитание устройств связи". Под ред. Козляева Ю.Д.-М.: Радио и связь, 1998. 328 с.

2. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. "Расчет источников электропитания устройств связи". М.: Радио и связь, 1993. 232 с.