

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Прикладные и естественнонаучные дисциплины»

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Учебно-методическое пособие к выполнению лабораторных работ,
для теоретической подготовки к итоговой аттестации,
для выполнения самостоятельной работы обучающегося

Уфа
2018

Работа посвящена изучению работы однофазного трансформатора по дисциплинам «Электроснабжение с основами электротехники» и «Электротехника и электроника» и смежным дисциплинам, изучающим вопросы функционирования электрических машин.

Учебно-методическое пособие содержит теоретический материал для подготовки к итоговой аттестации, теоретический и практический материал для выполнения лабораторной работы и самостоятельной работы обучающего по теме «Электрические машины». Пособие предназначено для обучающихся всех форм обучения (дневного, очно-заочного (вечернего) и заочного отделений) архитектурно-строительного института и горно-нефтяного факультета УГНТУ.

Публикуется в авторской редакции.

Составители: Канарейкин В.И., канд. техн. наук, доц. каф. ПЕД
Нигматуллина И.В., преподаватель каф. ПЕД

Рецензенты: Недосеко И.В., д.т.н., профессор каф. СК
Каримов Ф.Ч., канд. техн. наук, доц. каф. ПЕД

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Трансформатором называется электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Если трансформатор повышает напряжение, он называется повышающим, если понижает - понижающим.

Трансформаторы, которые применяются в сетях передачи и распределения электроэнергии, называются силовыми.

Работа трансформатора основана на использовании явления электромагнитной индукции, ее частного случая – взаимной индукции.

Трансформатор состоит из замкнутого ферромагнитного сердечника, собранного из листовой электротехнической стали на котором расположены две независимые обмотки, выполненные медным изолированным проводом. Обмотка, которая присоединяется к источнику преобразуемого напряжения, называется первичной; другая обмотка, в которой наводится э.д.с. взаимоиндукции, - вторичной. Все величины, которые относятся к этим обмоткам (токи, напряжения, э.д.с. и т.п.) называются соответственно первичными и вторичными.

Принципиальная схема трансформатора приведена на рис. 1.1.

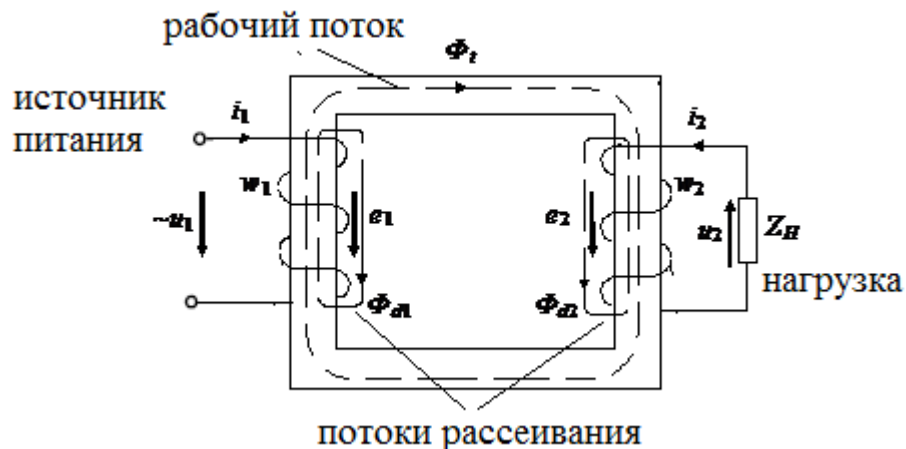


Рис. 1.1. Принципиальная схема трансформатора

Под действием подведенного переменного напряжения U_1 в первичной обмотке возникает ток i_1 , и в сердечнике возбуждается переменный магнитный поток Φ . Этот поток индуцирует э.д.с. самоиндукции e_1 и э.д.с. взаимной индукции e_2 в обмотках трансформатора. Э.д.с. e_1 уравнивает часть входного напряжения U_1 , а э.д.с. e_2 создает напряжение U_2 на выходе трансформатора. При подключении нагрузки во вторичной обмотке возникает ток i_2 , - из первичной цепи во вторичную передается электрическая энергия. Так как обмотки электрически не связаны, то эта передача происходит электромагнитным путем, т.е. посредством магнитного потока Φ .

Потоки рассеяния обуславливают наличие индуктивных сопротивлений обмоток X_1 и X_2 . Обмотки характеризуются также активными сопротивлениями R_1 и R_2 . Числа витков первичной и вторичной обмоток ω_1 и ω_2 соответственно.

Основной характеристикой трансформатора является коэффициент трансформации n , показывающий, во сколько раз трансформатор изменяет напряжение:

$$n = \frac{U_1}{U_{20}}, \quad (1)$$

где U_1 – действующее значение первичного напряжения,

U_{20} – действующее значение вторичного напряжения при отключенной нагрузке (холостом ходе).

Так как $U_1 \approx E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_m$, а $U_2 \approx E_2 = 4,44 f \omega_2 \Phi_m$, то

$$n = \frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (2)$$

Отношение напряжений примерно равно отношению чисел витков.

Здесь E_1 и E_2 – действующие значения э.д.с., индуцированных в обмотках; Φ_m – амплитуда рабочего потока; f – частота преобразуемого напряжения.

Если пренебречь потерями мощности, которые в трансформаторе относительно невелики, то можно считать, что мощность, подведенная к трансформатору, примерно равна мощности нагрузки: $S_1 \approx S_2$ или $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$. Следовательно:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{n} \quad (3)$$

т.е., если напряжение повышается, то ток в такой же степени понижается, и наоборот.

Каждый трансформатор характеризуется следующими номинальными величинами:

номинальной мощностью $S_{ном}$, кВА;

номинальным первичным напряжением $U_{1 ном}$, В;

номинальным вторичным напряжением $U_{2 ном}$, В, которое определяется при разомкнутой вторичной обмотке, т.е. при $I_2 = 0$.

Номинальные токи определяются из соотношений:

$$I_{1 ном} = \frac{S_{ном}}{U_{1 ном}}; \quad (4)$$

$$I_{2 ном} = \frac{S_{ном}}{U_{2 ном}} \text{ (без учета потерь)}. \quad (5)$$

Включение нагрузки Z_n в цепь вторичной обмотки

вызывает появление вторичного тока I_2 и увеличение первичного тока I_1 . В результате создаются потери напряжения на активных и индуктивных сопротивлениях обмоток и вторичное напряжение снижается:

$$U_2 < U_{20} = U_{2 ном} \quad (6)$$

Нагрузку трансформатора принято оценивать коэффициентом нагрузки:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2ном}}. \quad (7)$$

Зависимость $U_2 = f(I_2)$ или $U_2 = f(\beta)$ при $U_1 = \text{const}$ и неизменном характере нагрузки называется внешней характеристикой трансформатора. Из приведенных на рис.3 внешних характеристик видно, что величина вторичного напряжения зависит не только от величины тока нагрузки I_2 , но и от коэффициента мощности ($\cos\varphi$) электроприемников. Очевидно, что наименьшие значения соответствуют чисто активной нагрузке ($\cos\varphi = 1$, $\varphi_2 = 0$). Об изменении вторичного напряжения судят по величине процентного его изменения:

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Как элемент электрической цепи трансформатор можно представить эквивалентной электрической схемой (схемой замещения), состоящей из активных и индуктивных сопротивлений (см. рис.1.2):

R_1 , X_1 и $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$ - активное, индуктивное и полное сопротивления первичной обмотки;

R'_2 , X'_2 и $Z'_2 = \sqrt{R'^2_2 + X'^2_2}$ - активное, индуктивное и полное сопротивления вторичной обмотки;

R_0 , X_0 и $Z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_0^2}$ - активное, индуктивное и полное сопротивления ветви намагничивания;

R'_n , X'_n и $Z'_n = \sqrt{R'^2_n + X'^2_n}$ - активное, индуктивное и полное сопротивления нагрузки.

Схемы замещения применяются при расчетах цепей с трансформаторами.

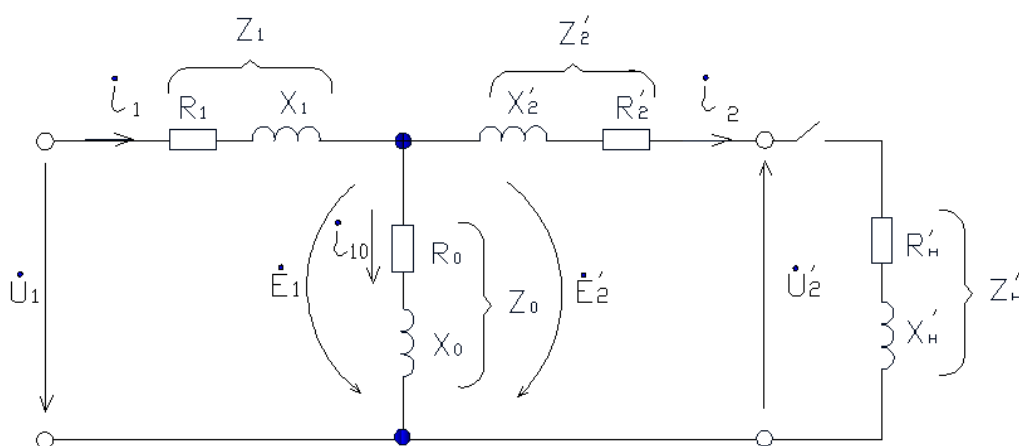


Рис. 1.2 Схема замещения трансформатора.

Сопротивления элементов схемы определяют экспериментально из опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора. Опыт

холостого хода производят при $U_1 = U_{1ном}$ и разомкнутой вторичной обмотке – $I_2 = 0$.

Измеряют:

I_{10} – ток холостого хода.

P_x – мощность холостого хода.

$U_{20} = U_{2ном}$ – номинальное вторичное напряжение.

Входное сопротивление трансформатора в режиме холостого хода равно (см.рис.1.2.):

$$Z_{вх} = \frac{U_{1ном}}{I_0} = \sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (X_1 + X_0)^2} \approx \sqrt{R_0^2 + X_0^2} = Z_0. \quad (9)$$

Так как $R_0 \gg R_1$ и $X_0 \gg X_1$, то значениями R_1 и X_1 можно пренебречь.

Следовательно,

$$Z_0 = \frac{U_{1ном}}{I_0}; \quad (10)$$

$$R_0 = Z_0 \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{I_0^2};$$

$$X_0 = Z_0 \sin \varphi_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}.$$

Коэффициент мощности трансформатора при холостом ходе:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{S_{ном}} = \frac{P_0}{U_{1ном} \cdot I_0}. \quad (11)$$

По результатам опыта холостого хода определяют коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_{1ном}}{U_{20}}. \quad (12)$$

Мощность P_0 , потребляемая трансформатором в этом режиме, равна:

$$P_0 = I_0^2 R_1 + P_{cm} \approx P_{cm}, \quad (13)$$

т.е. представляет собой потери в стали при номинальном первичном напряжении $U_{1 ном}$. Эти потери не зависят от нагрузки трансформатора и называются постоянными.

Опыт короткого замыкания производится при закороченной вторичной обмотке ($Z_2 = 0$, $U_2 = 0$) и таком пониженном первичном напряжении $U_1 = U_0$, при котором токи в обмотках равны номинальным – $I_{1 ном}$ и $I_{2 ном}$.

Не следует путать опыт короткого замыкания с аварийным коротким замыканием при номинальном первичном напряжении $U_{1 ном}$, когда токи в обмотках возрастают в десятки раз.

Напряжение U_k обычно выражают в процентах от номинального первичного напряжения $U_{1 ном}$:

$$U_k = \frac{U_{к1}}{U_{1ном}} \cdot 100 \% \quad (14)$$

и называют *напряжением короткого замыкания*.

Так как обычно $U_k \ll U_{1 ном}$ ($U_k = 5...10\%$) то пропорциональный напряжению магнитный поток Φ имеет небольшую величину, а вызываемые им потери в сердечнике незначительны. Можно считать, что мощность при

коротком замыкания расходуется только на нагрев обмоток, т.е. равна потерям в меди при номинальном режиме:

$$P_{\kappa} = I_{1НОМ}^2 R_1 + I_{2НОМ}^2 R_2 = P_{МНОМ} \quad (15)$$

Входное сопротивление трансформатора в опыте короткого замыкания равно (см.рис.1.1)

$$Z_{вх.к} = \frac{U_{\kappa}}{I_{1НОМ}} = \sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2} \approx \sqrt{R_{\kappa}^2 + X_{\kappa}^2} = Z_{\kappa}, \quad (16)$$

ГДЕ $Z_{\kappa}, R_{\kappa}, X_{\kappa}$ - сопротивления (параметры) короткого замыкания.

$$R_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{I_{1НОМ}^2} = Z_{\kappa} \cos \varphi_{\kappa}, \quad (17)$$

$$X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2} = Z_{\kappa} \sin \varphi. \quad (18)$$

С достаточной точностью можно считать, что

$$R_1 = R' = \frac{R_{\kappa}}{2}, \quad X_1 = X_2' = \frac{X_{\kappa}}{2}.$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{S_{\kappa}} = \frac{P_{\kappa}}{U_{\kappa} \cdot I_{1НОМ}}$$

Коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (19)$$

где $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ - активная мощность нагрузки; $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$ - активная мощность, потребляемая трансформатором от источника (или от сети).

$$\text{В данном случае } \cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{P_1}{S_1}. \quad (20)$$

Как видно из приведенных формул, к.п.д. можно определить опытным путем, измерив соответствующие точки напряжения и мощности. Однако такой прямой метод определения к.п.д. допустим только для трансформаторов малой мощности, у которых имеется значительная разность между подводимой и отдаваемой мощностями.

В других случаях более точный результат дает косвенный способ - по данным опытов холостого хода и короткого замыкания:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} = \frac{\beta S_{НОМ} \cos \varphi_2}{\beta S_{НОМ} \cos \varphi_2 + P_x + \beta^2 P_{\kappa}} \quad (21)$$

где β - коэффициент нагрузки трансформатора;

$\sum P$ - суммарные потери в трансформаторе, состоящие из потерь в стали и потерь в меди;

$S_{НОМ}$ - номинальная мощность трансформатора;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности нагрузки;

P_x и P_k - мощности, потребляемые трансформатором в опытах холостого хода и короткого замыкания соответственно.

Эксплуатационные, свойства однофазного трансформатора, работающего при переменной нагрузке, определяются его характеристиками:

$$U_2 = f(\beta); \eta = f(\beta); \cos\varphi_1 = f(\beta); I = f(\beta).$$

при неизменном первичном напряжении и постоянном коэффициенте мощности ($\cos\varphi_2$) нагрузки. Эти характеристики строятся по экспериментальным данным.

Принцип действия и устройство трехфазных трансформаторов

Трехфазный ток можно трансформировать 3-мя совсем отдельными однофазными трансформаторами. В данном случае обмотки всех 3-х фаз магнитно не связаны вместе: любая фаза имеет свою магнитную цепь. Но тот же трехфазный ток можно трансформировать и одним трехфазным трансформатором, у которого обмотки всех 3-х фаз магнитно связаны между собой, потому что имеют общую магнитную цепь.



Чтоб уяснить для себя принцип действия и устройства трехфазного трансформатора, представим для себя три однофазных трансформатора, приставленных один к другому так, что три стержня их образуют один общий центральный стержень (рис. 1.3). На каждом из других 3-х стержней наложены первичные и вторичные обмотки (на рис. 1.3 вторичные обмотки не изображены).

Представим, что первичные катушки всех стержней трансформатора совсем схожи и намотаны в одном направлении (на рис. 1.3 первичные катушки намотаны по часовой стрелке, если смотреть на их сверху). Соединим все верхние концы катушек в нейтраль О, а нижние концы катушек подведем к трем зажимам трехфазной сети.

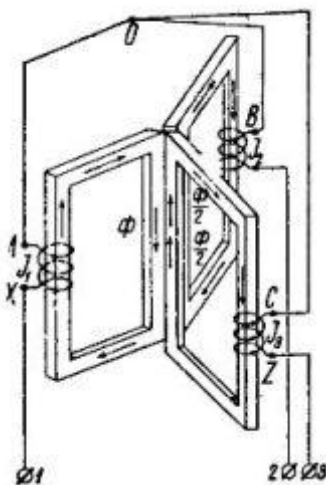


Рис. 1.3

Токи в катушках трансформатора создадут переменные во времени магнитные потоки, которые будут замыкаться каждый в собственной магнитной цепи. В центральном составном стержне магнитные потоки сложатся и в сумме дадут ноль, ибо эти потоки создаются симметричными трехфазными токами, относительно которых мы знаем, что сумма моментальных значений их равна нулю в хоть какой момент времени.

Токи в катушках трансформатора создадут переменные во времени магнитные потоки, которые будут замыкаться каждый в собственной магнитной цепи. В центральном составном стержне магнитные потоки сложатся и в сумме дадут ноль, ибо эти потоки создаются симметричными

трехфазными токами, относительно которых мы знаем, что сумма моментальных значений их равна нулю в хоть какой момент времени.

К примеру, если в катушке АХ ток I_1 был большим и проходил в обозначенном на рис. 1.3 направлении, то магнитный поток был бы равен большому собственному значению Φ и был ориентирован в центральном составном стержне сверху вниз. В 2-ух других катушках ВУ и СЗ токи I_2 и I_3 в тот же момент времени равны половине большего тока и имеют обратное направление по отношению к току в катушке АХ (таково свойство трехфазных токов). По этой причине в стержнях катушек ВУ и СЗ магнитные потоки будут равны половине большего потока и в центральном составном стержне будут иметь обратное направление по отношению к сгустку катушки АХ. Сумма потоков в рассматриваемый момент равна нулю. То же самое имеет место и для любого другого момента.

Отсутствие потока в центральном стержне не значит отсутствия потоков в других стержнях. Если бы мы убрали центральный стержень, а верхние и нижние ярма соединили в общие ярма (см. рис. 1.4), то поток катушки АХ отыскал бы для себя путь через сердечники катушек ВУ и СЗ, при этом магнитодвижущие силы этих катушек сложились бы с магнитодвижущей силой катушки АХ. В таком случае мы получили бы трехфазный трансформатор с общей магнитной цепью всех 3-х фаз.

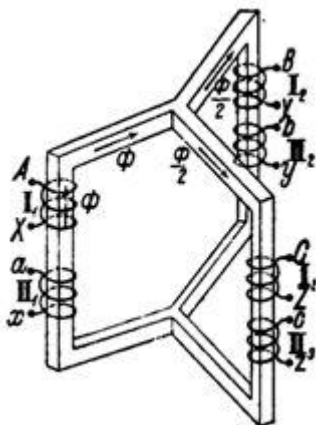


Рис. 1.4

Потому что токи в катушках сдвинуты по фазе на $1/3$ периода, то и создаваемые ими магнитные потоки также сдвинуты во времени на $1/3$ периода, т. е. самые большие значения магнитных потоков в стержнях катушек следуют последовательно через $1/3$ периода.

Следствием сдвига по фазе магнитных потоков в сердечниках на $1/3$ периода является таковой же сдвиг по фазе и электродвижущих сил, индуцируемых как в первичных, так и во вторичных катушках, наложенных на стержнях.

Электродвижущие силы первичных катушек практически уравнивают приложенное трехфазное напряжение. Электродвижущие силы вторичных катушек при правильном соединении концов катушек дают трехфазное вторичное напряжение, которое подается во вторичную цепь.

В отношении конструкции магнитной цепи трехфазные трансформаторы, как и однофазные, делятся на стержневые рис. 1.4. и броневые.



Рис. 1.4

Стержневые трехфазные трансформаторы разделяются на:

а) трансформаторы с симметричной магнитной цепью

б) трансформаторы с несимметричной магнитной цепью.

На рис. 1.4 схематически изображен стержневой трансформатор с симметричной магнитной цепью, а на рис. 4 изображен стержневой трансформатор с несимметричной магнитной

цепью. Как видно из 3-х стальных стержней 1, 2 и 3, схваченных сверху и снизу стальными накладками-ярмами, на каждом стержне находятся первичная I и вторичная II катушки одной фазы трансформатора.

На рис. 1.5 пунктиром изображены пути замыкания магнитного потока фазы стержня 2. Просто созидать, что для потоков фаз стержней 1 и 3 пути замыкания их магнитных потоков совсем схожи.

Это означает, что у рассматриваемого трансформатора магнитные сопротивления для потоков равны меж собою. Размещение стержней в одной плоскости приводит к тому, что магнитное сопротивление для потока средней фазы (на рис. 1.6 для фазы стержня 2) меньше, ежели для потоков последних фаз (на рис. 1.6 — для фаз стержней 1 и 3).

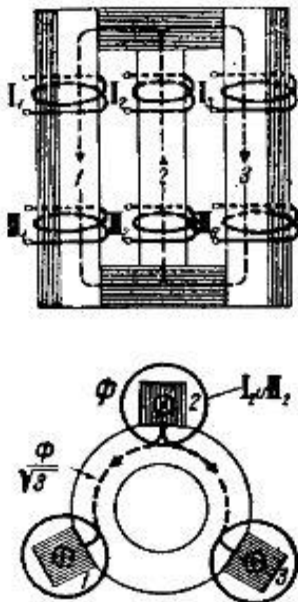


Рис. 1.5

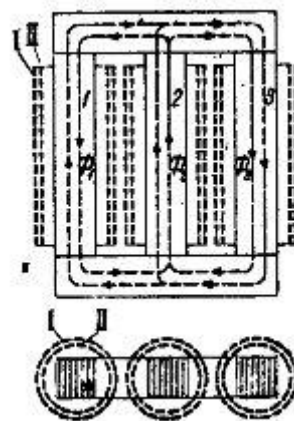


Рис. 1.6

Магнитные потоки последних фаз проходят по немного более длинным путям, чем поток средней фазы. Не считая того, поток последних фаз, выйдя из собственных стержней, проходит в одной половине ярма стопроцентно, и исключительно в другой половине (после ответвления в средний стержень)

проходит его половина. Поток же средней фазы по выходе из вертикального стержня тотчас же разветвляется на две половины, и поэтому в обеих частях ярма проходит только половина потока средней фазы.

Таким образом, потоки последних фаз насыщают ярмо в основном, чем поток средней фазы, а поэтому магнитное сопротивление для потоков последних фаз больше, чем для потока средней фазы.

Следствием неравенства магнитных сопротивлений для потоков различных фаз трехфазного трансформатора является неравенство токов холостой работы в отдельных фазах при одном и том же фазном напряжении.

Но при маленькой насыщенности железа ярма и неплохой сборке железа стержней это неравенство токов не принципиально. Потому что конструкция трансформаторов с несимметричной магнитной цепью существенно проще, чем трансформатора с симметричной магнитной цепью, то 1-ые трансформаторы и отыскивали для себя преимущественное применение. Трансформаторы с симметричной магнитной цепью встречаются редко.

Рассматривая рис. 1.5 и 1.6 и предполагая, что во всех 3-х фазах проходят токи, просто наблюдать, что все фазы магнитно связаны вместе. Это означает, что магнитодвижущие силы отдельных фаз оказывают влияние друг на друга, чего мы не имеем, когда трехфазный ток трансформируется 3-мя однофазными трансформаторами.

Вторую группу трехфазных трансформаторов составляют броневые трансформаторы. Броневой трансформатор можно рассматривать вроде бы состоящим из 3-х однофазных броневых трансформаторов, приставленных один к другому своими ярмами.

На рис. 1.7 схематически изображен броневой трехфазный трансформатор с вертикально размещенным внутренним стержнем. Из рисунка видно, что плоскостями АВ и CD он может быть разбит на три однофазных броневых трансформатора, магнитные потоки которых могут замыкаться каждый по собственной магнитной цепи. Пути прохождения магнитных потоков на рис. 1.7 указаны пунктирными линиями.

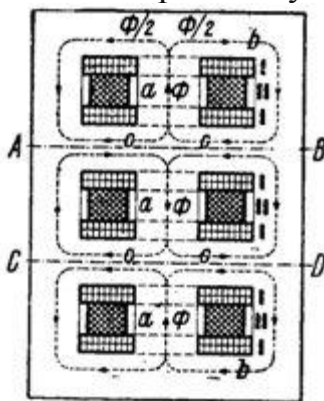


Рис. 1.7

Как видно из рисунка, в средних вертикальных стержнях а, на которых наложены первичная I и вторичная II обмотки одной фазы, проходит полный поток, тогда как в ярмах b-b и боковых стенах проходит по половине потока. При одной и той же индукции сечения ярма и боковых стен должны быть в два раза меньше сечения среднего стержня а.

Что касается магнитного потока в промежуточных частях с-с, то его величина, как мы увидим дальше, находится в зависимости от метода включения средней фазы.

Основным преимуществом броневых трансформаторов перед стержневыми трансформаторами являются короткие пути замыкания

магнитных потоков, а как следует, маленькие токи холостой работы. К недостаткам броневых трансформаторов можно отнести, во-1-х, малую доступность обмоток для ремонта, в виду того, что они окружены железом, и, во-2-х, худшие условия остывания обмотки — по той же причине.

У стержневых трансформаторов обмотки практически полностью открыты и поэтому более доступны для осмотра и ремонта, также и для охлаждающей среды.

2. ПОДГОТОВКА К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ

2.1 Краткое описание учебно-лабораторного оборудования

Комплект учебно-лабораторных оборудования «Электрические цепи переменного тока» предназначен для проведения лабораторно-практических занятий по дисциплине «Электрические цепи», обеспечивает изучение и исследования электрических цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей, переходных процессов в линейных электрических цепях, полупроводниковых приборов, выпрямителей и сглаживающих фильтров.

Лабораторный стенд представляет собой изделие настольного модульного исполнения.

Оборудование может применяться для обучения в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального профессионального, среднего профессионального и высшего профессионального образования для получения базовых, и углубленных профессиональных знаний, и навыков по дисциплине «Электрические цепи». Также оборудование может быть использовано на семинарах и курсах повышения квалификации электротехнического персонала, предприятий и организаций. Комплект оборудования представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Наименование	Кол-во ,шт.
Лабораторные модули комплекта учебно-лабораторного оборудования «Электрические цепи»:	
«Функциональный генератор»	1
«Источник питания»	1
«Измерительные приборы»	1
«Автотрансформатор»	1
«Мультиметры»	1
«Нелинейные элементы. Реактивные элементы. Сопротивления добавочные» (совмещенный)	1
«Диоды, резисторы, конденсаторы»	1
«Трансформатор однофазный»	1
Стол лабораторный	1
Рама двухуровневая двухрядная	1
Комплект соединительных проводов и силовых кабелей	1к
Светодиодная вывеска с названием стенда	1

2.2.Общий вид комплекта оборудования

Общий вид комплекта учебно-лабораторного оборудования «электрические машины» представлен на рис.2.1, Вид передних панелей модулей показан на рис. 2.2а-в.

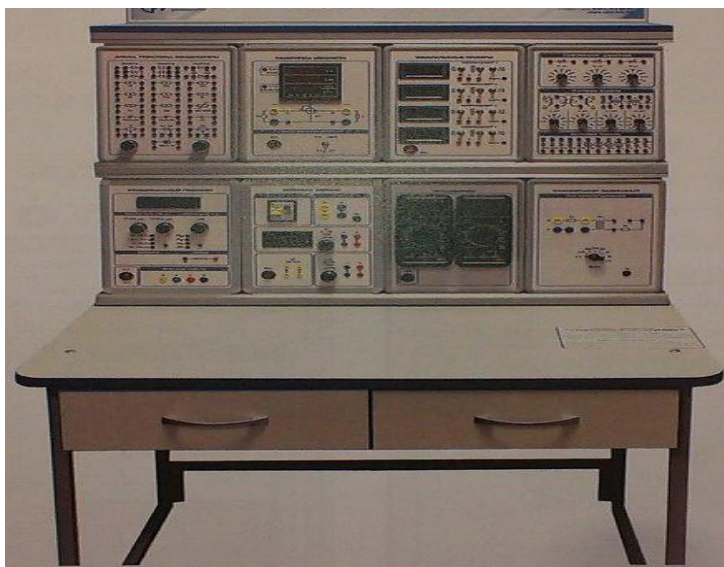


Рис.2.1. Общий вид

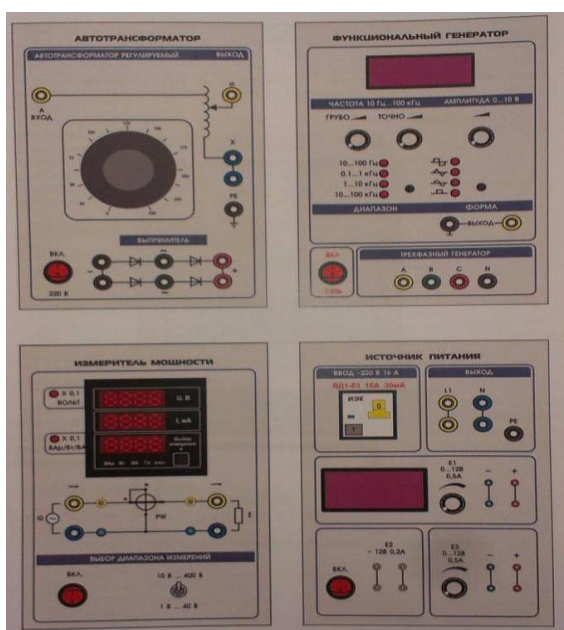


Рис. 2.2а. Сменные модули стенда

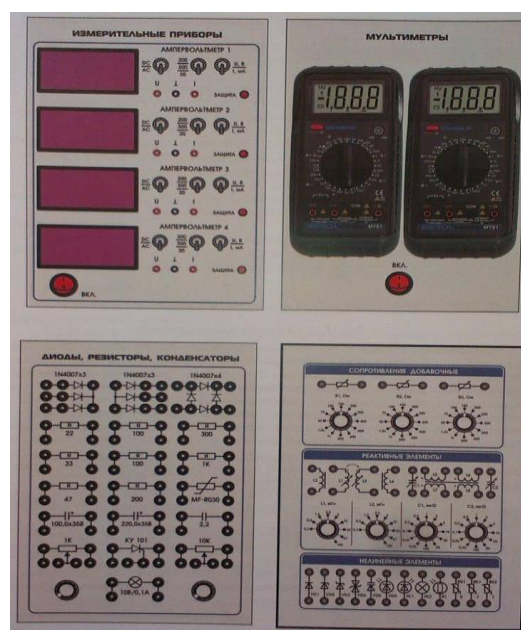


Рис.2.2б. Сменные модули стенда

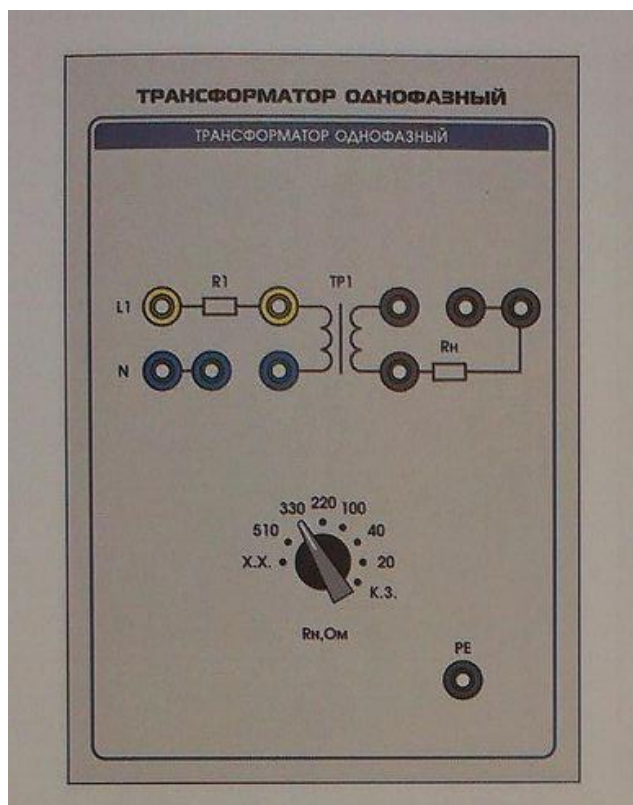


Рис.2.2в. Сменные модули стенда

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель работы: Ознакомиться с назначением и основными характеристиками однофазного трансформатора, работой трансформатора при различном характере нагрузки.

3.1. Порядок выполнения работы

1. Изучить главу «Описание оборудования».
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. По указанию преподавателя, выбрать модули для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки.
4. Соединить модули согласно принципиальной электрической схеме соединений (рис. 3.1).
5. Провести эксперимент.
6. Составить отчет по лабораторной работе.

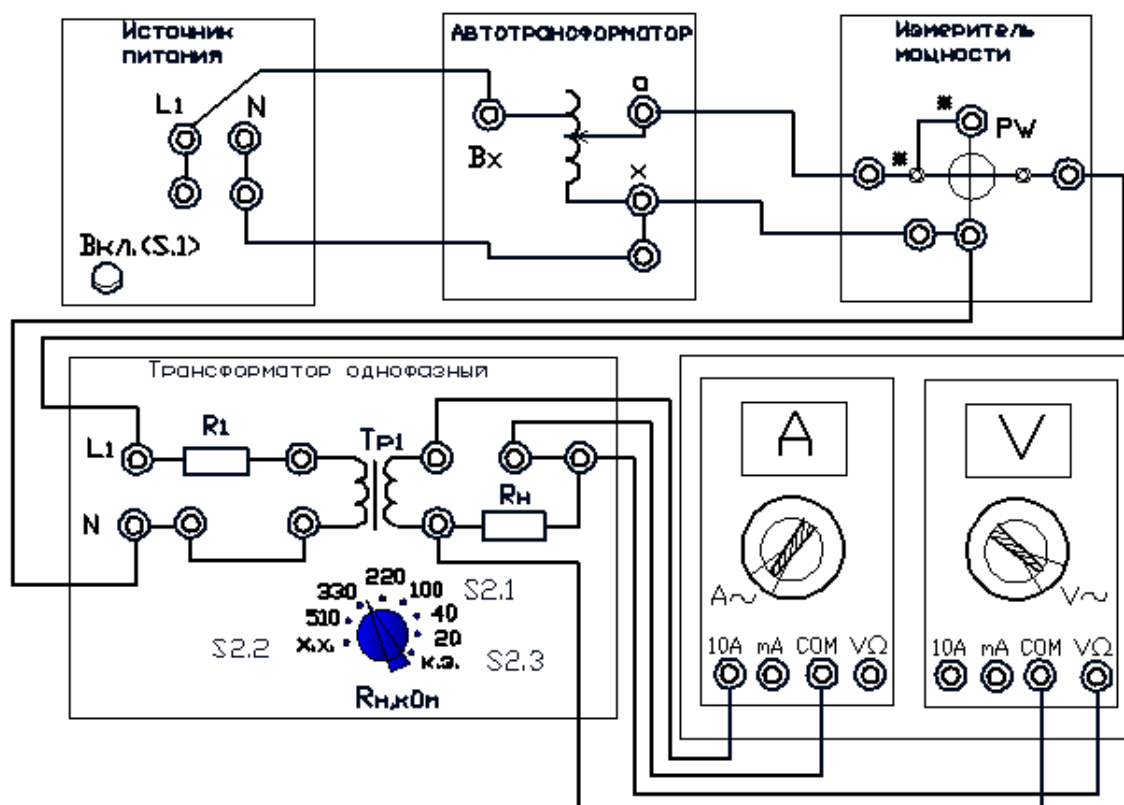


Рис. 3.1. Блок-схема (схема соединений отдельных функциональных блоков) лабораторного стенда

3.2. Порядок проведения эксперимента

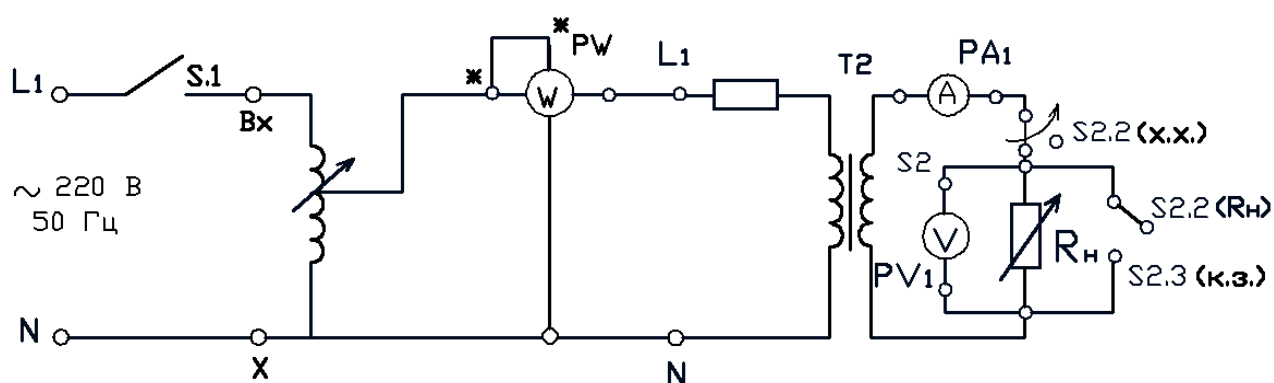


Рис. 3.2. Схема включения исследуемого трансформатора T2 (согласно блок-схеме): S.1 – выключатель питания «Вкл» на блоке «Источник питания»; S.2 – галетный переключатель режимов работы трансформатора T2 на блоке «Трансформатор однофазный»; T1 – автотрансформатор; T2 – исследуемый трансформатор; PA1 – мультиметр для измерения тока в цепи нагрузки (Rн); PV2 – мультиметр для измерения напряжения на нагрузке (Rн); PW – измеритель мощности (активной P, реактивной Q и полной S)

В работе используются модули: «Источник питания», «Автотрансформатор», Нелинейные и реактивные элементы», «Измеритель мощности», «трансформатор однофазный», «Мультиметры».

1. Пользуясь схемой соединений (рис. 3.2) начертить принципиальные схемы исследуемых цепей с включенными измерительными приборами.

2. Ознакомиться с характеристиками исследуемого трансформатора (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Тип	U_{1H}	U_{2H}	I_{1H}	I_{10}
ТП 114-7	220 В	16,5 В	1,0 А	< 0,04 А

3. Собрать электрическую цепь (рис. 3.2). Установить переключатель « $R_n, \text{Ом}$ » модуля «Однофазный трансформатор» в положение «X.X.». В блоке «Измеритель мощности» установить пределы измерений $U = 500 \text{ В}$, $I = 0,1 \text{ А}$. Переключатель « $C, \text{мкФ}$ » модуля «Реактивные элементы» установить в позицию «0».

4. **Опыт холостого хода.** Включить электропитание модулей стенда. Вращая ручку автотрансформатора, установить на его выходе напряжение 220 В. Провести измерения первичного напряжения U_{10} , тока холостого хода I_{10} и активной мощности трансформатора P_{10} в режиме холостого хода. Результаты измерений занести в табл. 4.2. Выключить электропитание модулей стенда. По результатам измерений рассчитать коэффициент трансформации трансформатора K и параметры ветви холостого хода схемы замещения трансформатора (Z_0, R_0, X_0). Учитывая, что номинальный вторичный ток трансформатора 0,1 А, рассчитать номинальный первичный ток трансформатора I_{1H} .

Таблица 3.2

Измерено						Вычислено			
$U_{10}, \text{В}$	$I_{10}, \text{мА}$	$P_{10}, \text{Вт}$	$U_{20}, \text{В}$	$I_{20}, \text{А}$	$\cos\varphi_{10}$	$Z_0, \text{Ом}$	$R_0, \text{Ом}$	$X_0, \text{Ом}$	K

5. **Внешняя и рабочие характеристики при активном характере нагрузки.** Переключатель « $C, \text{мкФ}$ » модуля «Реактивные элементы» установить в позицию «0». Включить электропитание модулей стенда. Вращая ручку автотрансформатора, установить на его выходе напряжение 220 В. Измеряя величину сопротивления нагрузки R_n с помощью переключателя « $R_n, \text{Ом}$ » модуля «Однофазный трансформатор» в пределах 20...510 Ом, измерять величины, указанные в табл. 3.3. Выключить электропитание модулей стенда. Используя результаты измерений рассчитать активную мощность P_2 , отдаваемую нагрузке и КПД трансформатора η . По результатам исследования построить внешнюю и рабочие характеристики трансформатора при активном характере нагрузки – $I_2 = f(R_n)$; $P_1 = f(R_n)$; $\eta = f(R_n)$; $\cos\varphi_1 = f(R_n)$.

Таблица 3.3

Сопротивление нагрузки	Измерено						Вычислено	
	Сторона вторичного напряжения		Сторона первичного напряжения					
R _н , Ом	U ₂ , В	I ₂ , А	U ₁ , В	I ₁ , mA	P ₁ , Вт	cosφ ₁	P ₂ , Вт	η
20								
40								
100								
220								
330								
510								

6. Режим короткого замыкания. Установить переключатель « $R_n, \text{Ом}$ » модуля «Однофазный трансформатор» в положение «К.З.». Включить электропитание модулей стенда. Установить ручку автотрансформатора в крайнее левое положение. Замкнуть вторичную обмотку накоротко (рис. 3.2). Измерить величины напряжения короткого замыкания $U_{1К}$, первичного тока $I_{1К}$ и активную мощность P_K . Результаты измерений занести в таблицу 3.4. Выключить электропитание модулей стенда. Рассчитать величину напряжения короткого замыкания U_K и параметры схемы замещения Z_K, R_K, X_K .

Таблица 3.4

Измерено						Вычислено			
$U_{1К}, \text{В}$	$I_{1К}, \text{мА}$	$P_K, \text{Вт}$	$U_{2К}, \text{В}$	$I_{2К}, \text{А}$	$\cos\varphi_K$	$U_K, \%$	$Z_K, \text{Ом}$	$R_K, \text{Ом}$	$X_K, \text{Ом}$

3.3. Правила оформления отчёта по лабораторной работе

Лабораторная работа представляет собой небольшое, но вполне законченное учебное научное исследование. Отчёт по лабораторной работе является документом, отражающим результаты выполненного исследования с максимальной полнотой и объективностью.

Требования к оформлению отчёта

Отчет должен быть выполнен на бумаге стандартного размера (формат А4) с полями по обеим сторонам текста. Материал отчёта должен иметь четкую рубрикацию, каждый раздел необходимо снабдить заголовком.

Примерный состав отчёта по лабораторной работе:

- цель работы;
- порядок выполнения лабораторной работы;

- принципиальные электрические схемы и (или) схемы соединений;
- перечень измерительных приборов и электрооборудования с указанием паспортных данных;
- таблицы экспериментальных измерений (исследований) и выполненных вычислений;
- диаграммы и графики характеристик функциональных зависимостей;
- выводы или заключение о проделанной работе.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На каком физическом явлении основана работа трансформаторов?
2. Для чего нужно повышать и понижать напряжение?
3. По каким внешним признакам можно различить в трансформаторе обмотки низшего и высшего напряжений?
4. Какие напряжения на первичной и вторичной обмотках называются номинальными?
5. С какой целью проводится опыт холостого хода?
6. Чем отличается испытательный режим короткого замыкания от аварийного короткого замыкания?
7. Какие потери имеют место в трансформаторе и как они зависят от нагрузки?
8. Почему с изменением нагрузки изменяется вторичное напряжение при неизменности первичного?
9. Что такое схема замещения трансформатора, для чего её составляют?
10. При каких нагрузках трансформатор работает с наименьшими экономическими показателями (η и $\cos\varphi$)?
11. Начертите схему короткого замыкания трансформатора и объясните какие величины определяются в этом опыте?
12. Почему магнитный поток практически не зависит от нагрузки?
13. Какие потери в трансформаторе являются постоянными и какие переменными?
14. Объясните работу однофазного трансформатора
15. Объясните работу трёхфазного трансформатора
16. Как определить коэффициенты трансформации и мощности трансформатора?
17. Как определить полное, активное и индуктивное сопротивления элементов электрической схемы?
18. Что такое P_1 , P_2 , η трансформатора?
19. Изобразите векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода
20. Из каких модулей состоит комплект учебно-лабораторного оборудования «Испытание однофазного трансформатора»?
21. Что означает термин: «Ток холостого хода 5%»?
22. Как влияет коэффициент загрузки на КПД?

23. Как изменится вторичное напряжение трансформатора при уменьшении сопротивления индуктивного приемника?

24. Как изменится магнитный поток в сердечнике при увеличении нагрузки?

25. Запишите уравнение трансформаторной ЭДС.

26. Как вычислить изменение напряжения трансформатора при нагрузке?

27. Что такое полная мощность трансформатора?

28. Что такое номинальное напряжение трансформатора?

29. Как изменится вторичное напряжение при уменьшении числа витков первичной обмотки?

5. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

До начала работ каждый **студент ДОЛЖЕН** внимательно ознакомиться с настоящими правилами и расписаться в журнале учета инструктажа по технике безопасности.

Студент ОБЯЗАН выполнять следующие правила:

1. **Перед включением** лабораторного комплекса в сеть **220 В** убедитесь, что тумблер включения находится в положении «**ВЫКЛ.**».

2. **При сборке** электрической цепи используйте провода с исправной изоляцией. Подключая приборы, проверяйте соблюдение норм нагрузки (рабочее напряжение конденсатора, максимальный ток для катушек индуктивности и т.п.).

3. Сборку электрической цепи ведите **по контурам**, начиная с основного (содержащего **источник питания**); мультиметр, образующий вспомогательный контур, подключайте в последнюю очередь.

4. **Включайте** источники питания **только после проверки цепи преподавателем.**

5. **Для проведения любых переключений** в электрической цепи **отключите источник питания**, чтобы избежать короткого замыкания участка цепи.

6. **Отключите питание по завершению измерений.**

ЗАПРЕЩАЕТСЯ

1) касаться токоведущих частей схемы металлическими предметами, работать мокрыми руками;

2) без разрешения преподавателя включать лабораторные стенды в сеть 220 В и подавать напряжение на схему;

3) перемещать лабораторные стенды с одного стола на другой или вскрывать их;

4) курить в лаборатории, находиться в верхней одежде или головных уборах.

По всем возникающим вопросам студентам следует обращаться к преподавателю или лаборанту. За порчу оборудования студенты несут материальную ответственность.

6. ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Вариант 1

1. Сердечник трансформатора предназначен для ...
2. КПД трансформатора с $P_{10}=4,9$ Вт и $P_k=10$ Вт максимален при коэффициенте загрузки ...
3. Номинальным напряжением обмотки называется ...
4. Холостой ход-это такой режим, при котором ...
5. Термин: «Ток холостого хода 5%.» означает ...
6. Для экспериментального определения коэффициента трансформации необходимо ...
7. В сердечнике трансформатора с $w_1/U_1=20$ витков/В, поставленного под напряжение 36 В, возникает магнитный поток равный ...
8. Первичная обмотка трансформатора, имеющая 200 витков, поставлена под напряжение 20 В. Напряжение на вторичной обмотке 100 В, а число витков ...
9. У трехфазного трансформатора, включенного по схеме звезда/треугольник $U_{1н}=380$ В, $U_{2н}=220$ В, а коэффициент трансформации ...
10. Принцип действия трансформатора основан на законе ...
11. Сердечник трансформатора изготовлен из ...
12. Трансформатор предназначен для ...
13. Связь между обмотками трансформатора осуществляется ...
14. При увеличении числа витков первичной обмотки вторичное напряжение ...
15. Коэффициентом трансформации называется ...
16. При увеличении активной нагрузки коэффициент мощности трансформатора ...
17. Коэффициентом загрузки трансформатора называется ...
18. ЭДС, возникающую в обмотке трансформатора, вычисляют по формуле ...
19. При проведении опыта короткого замыкания напряжение устанавливают таким, чтобы ...
20. При уменьшении нагрузки трансформатора поток в сердечнике ...
21. При увеличении тока индуктивного приемника вторичное напряжение ...
22. Внешнюю характеристику трансформатора изображают графиком зависимости ...
23. При увеличении нагрузки потери в сердечнике ...
24. Магнитной цепью называется ...
25. Закон полного тока гласит ...

Вариант 2

1. Потери холостого хода трансформатора 3 Вт, максимальное значение КПД достигается при коэффициенте загрузки 0,775, а потери короткого замыкания равны ...
2. У трансформатора с $w_1/U_1=10$ витков/В на зажимах вторичной обмотки имеющей 360 витков действует напряжение ...
3. У трехфазного трансформатора, включенного по схеме треугольник/звезда $U_{1H}=380$ В, $U_{2H}=220$ В, а коэффициент трансформации ...
4. В катушке, имеющей 1000 витков протекает ток 2 А, а ее намагничивающая сила равна ...
5. Сердечник трансформатора изготавливается из отдельных листов стали для ...
6. Номинальной мощностью трансформатора называется ...
7. Термин: «Напряжение короткого замыкания 7%» означает ...
8. Для экспериментального определения потерь в сердечнике необходимо ...
9. Закон электромагнитной индукции гласит ...
10. При проведении опыта холостого хода необходимо ...
11. При уменьшении числа витков первичной обмотки, вторичное напряжение ...
12. При увеличении нагрузки КПД трансформатора ...
13. При проведении опыта короткого замыкания необходимо ...
14. При увеличении нагрузки поток в сердечнике ...
15. При уменьшении тока индуктивного приемника вторичное напряжение ...
16. При увеличении нагрузки потери в обмотках ...
17. КПД трансформатора вычисляют по формуле ...
18. Передача энергии из первичной обмотки во вторичную осуществляется ...
19. Расчет потерь в обмотках производится по формуле ...
20. Электрическое состояние первичной обмотки описывается уравнением ...
21. Магнитная цепь состоит из ...
22. Относительная магнитная проницаемость показывает ...
23. Трансформатор предназначен для ...
24. Для экспериментального определения номинальных потерь в обмотках необходимо ...
25. КПД трансформатора достигает максимума, когда ...

Вариант 3

1. При увеличении тока резистивного приемника вторичное напряжение ...
2. Номинальным током называется ...
3. При уменьшении нагрузки КПД трансформатора ...
4. Опыт короткого замыкания проводят для ...

5. При пониженном напряжении проводят опыт ...
6. Магнитная цепь однородна, если ...
7. При уменьшении нагрузки коэффициент мощности ...
8. В сердечнике сечением 4см^2 магнитная индукция $0,6\text{ Тл}$, а ЭДС, возникающая в обмотке имеющей 720 витков равна ...
9. У трехфазного трансформатора, включенного по схеме звезда/звезда $U_{1H}=380\text{ В}$, $U_{2H}=22\text{ В}$, а коэффициент трансформации ...
10. Первичная обмотка трансформатора, имеющая 2200 витков, поставлена под напряжение 220 В , на вторичной обмотке 360 витков, а напряжение ...
11. В катушке, имеющей 2500 витков, протекает ток 2 А и создается намагничивающая сила ...
12. При увеличении нагрузки намагничивающий ток трансформатора ...
13. Электрическое состояние вторичной обмотки описывается уравнением ...
14. Опыт холостого хода проводят для ...
15. Годовой КПД трансформатора рассчитывается по формуле ...
16. Связь между обмотками трансформатора осуществляется ...
17. Уравнение трансформаторной ЭДС имеет вид ...
18. При увеличении тока емкостного приемника вторичное напряжение ...
19. Номинальные потери мощности в обмотках находят по результатам опыта ...
20. Закон полного тока гласит ...
21. Работа трансформатора основана на законе ...
22. Коэффициент загрузки вычисляют по формуле ...
23. Коэффициент трансформации рассчитывают по результатам опыта ...
24. Ваттметр в опыте холостого хода показывает мощность ...
25. При уменьшении нагрузки потери в обмотках ...

Вариант 4

1. При уменьшении тока резистивного приемника вторичное напряжение ...
2. Ваттметр в опыте короткого замыкания показывает мощность ...
3. Коэффициент загрузки, соответствующий максимуму КПД, вычисляют по формуле ...
4. При уменьшении нагрузки магнитный поток в сердечнике ...
5. У трехфазного трансформатора, включенного по схеме треугольник/треугольник, $U_{1H}=380\text{ В}$, $U_{2H}=220\text{ В}$, а коэффициент трансформации ...
6. У трансформатора $S_H=0,220\text{ кВА}$, $I_{1H}=1\text{ А}$, $u_K=5\%$, а сопротивление короткого замыкания ...
7. Потери в сердечнике трансформатора 5 Вт , потери короткого замыкания 10 Вт , при коэффициенте загрузки $0,7$ суммарные потери равны ...
8. Напряжение на зажимах вторичной обмотки 36 В , поток в сердечнике $0,225\text{ мВб}$, а число витков обмотки ...

9. Коэффициентом трансформации трехфазного трансформатора называется ...
10. При уменьшении нагрузки коэффициент мощности трансформатора ...
11. Для экспериментального определения номинальных потерь в обмотках необходимо ...
12. При увеличении нагрузки потери в сердечнике ...
13. Потери в сердечнике равны потерям в обмотках, а КПД ...
14. Уравнение первичного тока имеет вид ...
15. Трансформатор предназначен для ...
16. Внешняя характеристика трансформатора показывает ...
17. При увеличении нагрузки КПД трансформатора ...
18. Сердечник трансформатора изготавливается из отдельных листов стали для ...
19. По закону электромагнитной индукции, ЭДС, возникающие в обмотках трансформатора, пропорциональны ...
20. Магнитная цепь неоднородна, если ...
21. Закон полного тока гласит ...
22. Коэффициент трансформации показывает ...
23. Передача энергии из первичной обмотки во вторичную осуществляется ...
24. Термин: «Ток холостого хода 5%» означает ...
25. Параметры намагничивающей цепи в схеме замещения рассчитывают по данным опыта ...

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебное. Электрон. дан.– СПб.: Лань, 2009. – 592 с.
2. Касаткин А.С. Электротехника [Текст] : учебник / А.С. Касаткина, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
3. Лопатин В. П. Электротехника, основы электроники и электрооборудование [Текст]: учебное пособие/ В. П. Лопатин ; УГНТУ, каф. ЭЭП. - 2-е изд., доп. - Уфа : Изд-во УГНТУ, 2013. - 190 с.
4. Общая электротехника, электроснабжение и вертикальный транспорт [Электронный ресурс] : учебное пособие для самостоятельной работы студентов / УГНТУ, каф. ПХиФ ; сост.: Р. Г. Рахматуллина, Ф. Ч. Каримов. - Уфа : УГНТУ, 2014. - 1,77 Мб.
5. Современный справочник электрика: Справочник / Суворин А.В., - 5-е изд., стер. - Рн/Д:Феникс, 2014. - 510 с. (Профессиональное мастерство) ISBN 978-5-222-22021-4 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/908834>
6. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. — 415 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/939294>

7. Электрические аппараты: Учебник / Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 304 с.: 60х90 1/16 (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-91134-929-5 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/466595>

СОДЕРЖАНИЕ

1. Теоретическая часть	1
2. Подготовка к экспериментальной части.....	10
2.1. Краткое описание учебно-лабораторного оборудования.....	10
2.2. Общий вид комплекта оборудования.....	11
3. Экспериментальная часть.....	12
3.1. Порядок выполнения работы.....	12
3.2. Порядок проведения эксперимента.....	13
3.3. Правила оформления отчёта по лабораторной работе.....	15
4. Контрольные вопросы.....	16
5. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ по электротехнике.....	17
6. Тестовые вопросы для самостоятельной работы обучающихся.....	18
Список использованных источников	21