

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Имени Н.Э. Баумана

Факультет «Фундаментальные науки»

Кафедра «Электротехника и промышленная электроника»

В.А. Соловьев, А.В. Степанов

Исследование однофазного трансформатора в среде *Multisim*

Методические указания по выполнению лабораторной работы
«Исследование однофазного трансформатора в среде *Multisim*» по
дисциплине
«Электротехника»

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2015

УДК 621.313

ББК 31.261

Соловьев В.А., Степанов А.В. Исследование однофазного трансформатора в среде *Multisim*: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Электротехника». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана 2015. –

В методических указаниях к лабораторной работе по курсу «Электротехника» приведены краткие теоретические сведения о уравнениях, математической модели и характеристиках однофазного трансформатора. Изложен порядок исследования режимов работы и характеристик однофазного трансформатора в среде *Multisim*.

Лабораторная работа

«Исследование однофазного трансформатора в среде Multisim»

Цель работы: исследование режимов работы и характеристик однофазного трансформатора в среде Multisim.

1. Основные теоретические сведения

Трансформатор - статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно-связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока. Трехфазные силовые трансформаторы широко используются для повышения и понижения напряжения при передаче электрической энергии от источников к приемникам (потребителям), что позволяет сократить потери электрической энергии в электрических сетях. В приборостроении используются трансформаторы малой мощности (≤ 4 кВА) в блоках питания электронной аппаратуры (источники вторичного питания), для преобразования непрерывных и импульсных сигналов, для согласования каскадов электронной аппаратуры, для гальванической развязки электрических цепей.

Однофазный трансформатор состоит из двух обмоток, размещаемых на замкнутом ферромагнитном сердечнике (магнитопроводе), собираемом из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга слоем лака для уменьшения вихревых токов (рис. 1). Обмотка, подключаемая к источнику питания, называется первичной, а обмотка, к которой подключается нагрузка, вторичной. Первичная обмотка характеризуется параметрами: w_1 – число витков, u_1 – напряжение, i_1 – ток первичной обмотки; вторичная обмотка соответственно: w_2 – число витков, u_2 – напряжение, i_2 – ток вторичной обмотки. Ток i_1 , протекающий по первичной обмотке, создает магнитный поток, состоящий из двух составляющих. Одна составляющая этого магнитного потока замыкается по воздуху и называется магнитным потоком рассеивания – $\Phi_{s1}(t)$. Другая составляющая этого

магнитного потока замыкается по сердечнику и пересекает витки вторичной обмотки – $\Phi_{21}(t)$. Ток i_2 , протекающий по вторичной обмотке, также создает магнитный поток, состоящий из двух составляющих: магнитного потока рассеивания – $\Phi_{s2}(t)$ и магнитного потока, пересекающего витки вторичной обмотки $\Phi_{12}(t)$. Таким образом, основной магнитный поток $\Phi_0(t)$, замыкающийся по сердечнику, равен алгебраической сумме магнитных потоков $\Phi_{21}(t)$ и $\Phi_{12}(t)$.

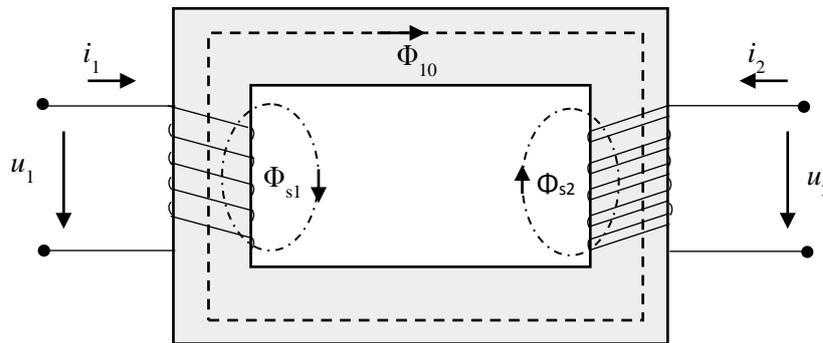


Рис. 1. Однофазный двухобмоточный трансформатор

Под действием синусоидального напряжения $u_1(t) = U_{1m}\sin\omega t$ токи в первичной и вторичной обмотках создают магнитные потоки, которые приближенно можно заменить эквивалентными синусоидами. Тогда основной магнитный поток соответственно равен

$$\Phi_0(t) = \Phi_m \sin(\omega t).$$

Основной магнитный поток индуцирует в первичной и вторичной обмотках ЭДС, действующие значения которых равны

$$E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f w_1 \Phi_m = 4.44 f w_1 \Phi_m,$$

$$E_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f w_2 \Phi_m = 4.44 f w_2 \Phi_m.$$

Коэффициент трансформации равен отношению напряжения на первичной обмотке к напряжению на вторичной обмотке при холостом ходе $k = U_{1x}/U_{2x}$. В режиме холостого хода (XX) $U_{2x} = E_2$, $U_{1x} \approx E_1$ тогда $k = w_1/w_2$.

Синусоидальный электрический ток вызывает переменный магнитный поток с частотой f . Магнитные потери в магнитопроводе подразделяются на потери на гистерезис (потери на перемагничивание) и на потери от вихревых токов. При этом ток по фазе опережает магнитный поток на угол магнитных потерь δ . Активная составляющая тока холостого хода $I_{0a} = I_0 \sin \delta$ (I_0 – ток холостого тока) определяется магнитными потерями, а реактивная составляющая тока $I_{0p} = I_0 \cos \delta$ идет на создание основного магнитного потока Φ_0 .

Уравнения трансформатора в комплексной форме имеют вид

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + (R_1 + jX_{s1})\dot{I}_1,$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - (R_2 + jX_{s2})\dot{I}_2,$$

где \dot{U}_1, \dot{U}_2 – напряжения на первичной и вторичной обмотках; \dot{I}_1, \dot{I}_2 – токи в первичной и вторичной обмотках; \dot{E}_1, \dot{E}_2 – ЭДС индуцируемые основным магнитным потоком в первичной и вторичных обмотках; R_1, R_2 – активные сопротивления первичной и вторичной обмоток; X_{s1}, X_{s2} – реактивные сопротивления индуктивностей рассеивания первичной и вторичной обмоток.

При подключении к первичной обмотке источника питания с напряжением $u_1(t)$, напряжение источника питания уравновешивается ЭДС, индуцируемой основным магнитным потоком. Если напряжение неизменно, то приближенно можно считать неизменным и магнитный поток при холостом ходе и при нагрузке. Поэтому для трансформатора справедливо уравнение баланса магнитодвижущих сил

$$w_1 \dot{I}_{10} = w_1 \dot{I}_1 + w_2 \dot{I}_2,$$

где \dot{I}_{10} – ток холостого хода, \dot{I}_1, \dot{I}_2 – токи первичной и вторичной обмоток при нагрузке трансформатора. Для упрощения расчетов трансформатора и построения электрической схемы замещения параметры вторичной обмотки приводятся к параметрам первичной обмотки. Это позволяет реальный трансформатор заменить эквивалентным трансформатором с числом витков вторичной обмотки равным числу витков первичной обмотки $w_1 = w_2$, при

этом должны выполняться следующие условия. МДС вторичной обмотки должна сохраняться $w_2 i_2 = w_2 i'_2$, тогда $i'_2 = \frac{w_2}{w_1} i_2$. Также должна сохраняться и электромагнитная мощность, передаваемая во вторичную обмотку $\dot{E}'_2 i'_2 = \dot{E}_2 i_2$, тогда ЭДС во вторичной обмотке равна $\dot{E}'_2 = k \dot{E}_2$. Электромагнитная мощность, передаваемая в нагрузку трансформатора, также должна сохраняться $\dot{U}'_2 i'_2 = \dot{U}_2 i_2$, тогда $\dot{U}'_2 = k \dot{U}_2$.

Из условия равенства активной и реактивной мощностей, передаваемых в нагрузку, следует, что комплексное сопротивление нагрузки должно быть равно $Z'_H = k^2 Z_H$.

Также должна сохраняться активная мощность, потребляемая резистивным сопротивлением вторичной обмотки, и реактивная мощность на индуктивном сопротивлении рассеивания вторичной обмотки, откуда следует $R'_2 = k^2 R_2$ и $X'_{s2} = k^2 X_{s2}$.

Для эквивалентного трансформатора справедливы следующие уравнения

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + (R_1 + jX_{s1})\dot{I}_1,$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - (R'_2 + jX'_{s2})\dot{I}'_2,$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + (-\dot{I}'_2),$$

$$\dot{U}'_2 = -Z'_H \dot{I}'_2, Z'_H = R'_H + jX'_H.$$

Схема замещения эквивалентного трансформатора и векторная диаграмма изображены на рис. 2,3. Определение параметров схемы замещения производится по опытам холостого хода и короткого замыкания.

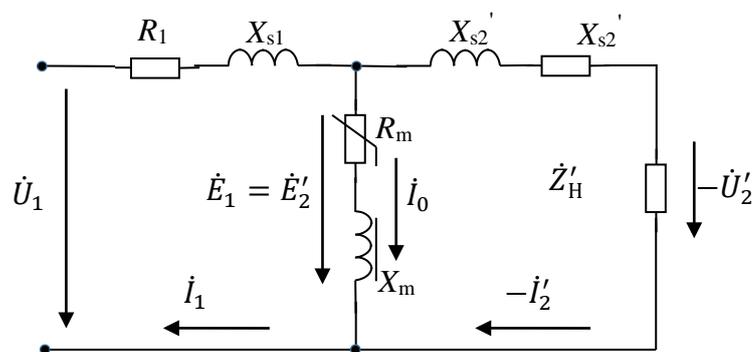


Рис. 2. Электрическая схема замещения трансформатора

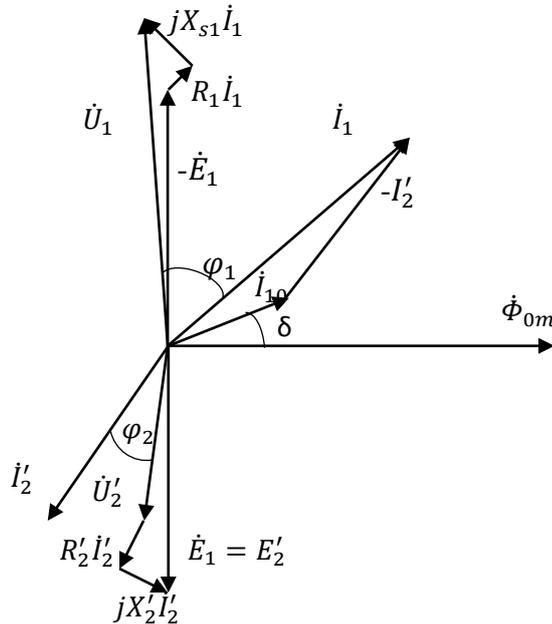


Рис. 3. Векторная диаграмма трансформатора

Схема для проведения опытов холостого хода и короткого замыкания изображена на рис. 4.

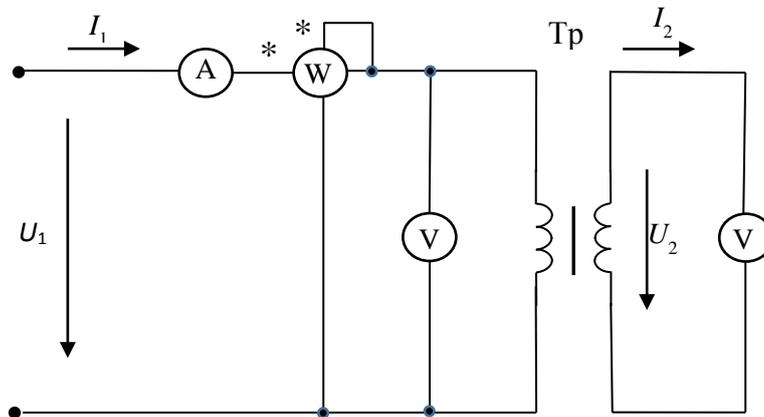


Рис.4. Схема для проведения опытов холостого хода и короткого замыкания.

Опыт холостого хода. В опыте холостого хода к первичной обмотке подводят номинальное напряжение $U_{1н}$. К вторичной разомкнутой обмотке подключают вольтметр, которым измеряют напряжение U_{20} . Амперметром и

ваттметром, подключенными к первичной обмотке, измеряют ток первичной обмотки I_{10} и активную мощность, потребляемую трансформатором P_{10} .

По измеренным параметрам, полученным в опыте холостого хода, вычисляют коэффициент трансформации

$$k \approx \frac{U_{1H}}{U_{20}}.$$

Полное входное сопротивление равно

$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}.$$

Активная мощность P_{10} , потребляемая трансформатором в режиме холостого хода, определяется потерями в сердечнике, поскольку электрические потери малы (потери в стали P_c)

$$P_{10} \approx P_c = R_m I_{10}^2,$$

тогда активное сопротивление ветви намагничивания равно

$$R_m = \frac{P_{10}}{I_{10}^2}.$$

Магнитный поток рассеяния намного меньше по сравнению с основным магнитным потоком, поэтому индуктивное сопротивление ветви намагничивания равно

$$X_m \approx \sqrt{Z_0^2 - R_m^2}.$$

Опыт короткого замыкания. Опыт короткого замыкания проводят при коротко замкнутой вторичной обмотке. К первичной обмотке подключают источник напряжения, действующее значение которого равно такому значению, при котором токи в обмотках равны номинальным значениям. В этом случае измеряют напряжение первичной обмотки U_{1k} и активную мощность P_{1k} . По измеренным значениям определяют полное входное сопротивление и активное сопротивление короткого замыкания

$$Z_k = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}, R_k = \frac{P_k}{I_{1k}^2}.$$

Пренебрегая током через ветвь намагничивания, который при пониженном напряжении мал, вычисляют активные сопротивления R_1 и R_2' первичной и вторичной обмоток

$$R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2}.$$

Реактивные сопротивления индуктивностей рассеяния первичной и вторичной обмоток равны

$$X_{s1} = X_{s2}' = \frac{X_k}{2},$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}.$$

Внешняя характеристика трансформатора. Внешняя характеристика трансформатора — это зависимость вторичного напряжения от тока вторичной обмотки $U_2 = f(I_2)$ или от коэффициента загрузки ($\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$) $U_2 = f(\beta)$ при $U_1 = U_{1H} = const$, $f = const$ и $\varphi_2 = \arctg(X_H'/R_H')$. Внешние характеристики трансформатора зависят от характера нагрузки. При активной нагрузке напряжение U_2 уменьшается с увеличением I_2 . Более интенсивно напряжение U_2 снижается с увеличением I_2 при активно-индуктивной нагрузке. При активно-емкостной нагрузке напряжение U_2 с увеличением I_2 может увеличиваться.

Коэффициент полезного действия трансформатора. Коэффициент полезного действия трансформатора (КПД) равен

$$\eta = P_2/P_1 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 / (U_1 I_1 \cos\varphi_2),$$

где P_2 — активная мощность, поступающая в нагрузку; P_1 — активная мощность, поступающая из сети. Активную мощность, поступающую в нагрузку, можно выразить с использованием коэффициента загрузки

$$P_2 = \beta S_{2H} \cos\varphi_2.$$

Электрические потери в меди трансформатора равны

$$P_{MH} = \beta^2 P_K.$$

Потери в стали приближенно равны потерям активной мощности в трансформаторе при холостом ходе и номинальном напряжении $P_C \approx P_0$. Тогда полные потери трансформатора равны $\Delta P = P_0 + \beta^2 P_K$.

Используя, приведенные выше формулы, получаем

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_K}{\beta S_{2H} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K}.$$

Максимальное значение КПД соответствует нагрузке, при которой магнитные потери равны электрическим

$$\beta_{\text{опт}} = \sqrt{P_0 / P_K}.$$

Рабочие характеристики трансформатора — это зависимость η (КПД), P_1 , $\cos \varphi_1$, U_2 , ΔU_2 от коэффициента загрузки трансформатора β . Вид рабочих характеристик трансформатора приведен на рис. 5.

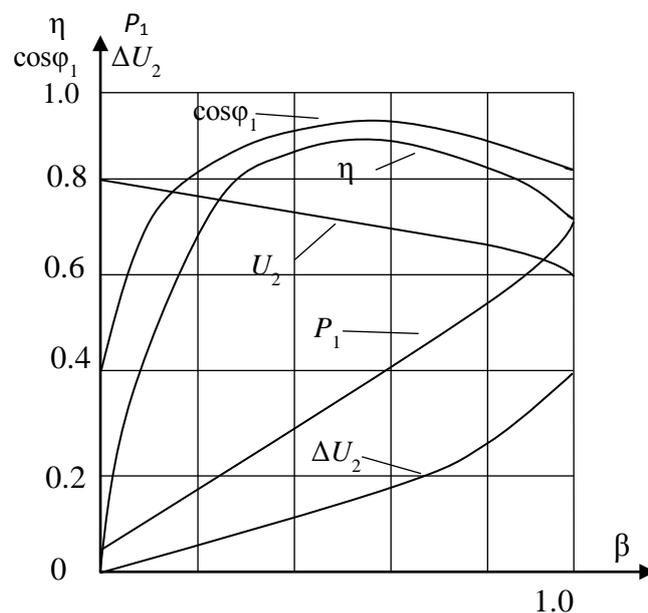


Рис. 5. Рабочие характеристики трансформатора

Основные расчетные соотношения.

Коэффициент загрузки трансформатора $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$.

Коэффициент полезного действия трансформатора $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Потери активной мощности в меди $\Delta P_M = \beta^2 \Delta P_{MH}$.

Общие потери в трансформаторе равны сумме магнитных потерь и потерь в меди $\Delta P = \Delta P_{CT} + \Delta P_M$.

Отклонение напряжения на вторичной обмотке от напряжения холостого хода (%) $\Delta u_2 = \frac{u_{2x} - u_2}{u_{2x}} 100\%$.

Паспортные данные однофазного трансформатора ОСМ1 – 0,63 – 220/42: $U_{1H} = 220 \text{ В}$, $I_{1H} = 2,86 \text{ А}$, $S_H = 630 \text{ ВА}$, $U_{2H} = 42 \text{ В}$, $I_{2H} = 15 \text{ А}$.

2. Описание схмотехнической модели лабораторного стенда для испытания однофазного трансформатора

Схмотехническая модель лабораторного стенда для испытания однофазного трансформатора с включенными в его цепи виртуальными электроизмерительными приборами и нагрузочными устройствами находится в файле <Однофазный трансформатор_ОСМ1-0,63> среды NI Multisim 10.1. Ее изображение после открытия этого файла показано на рис.6.

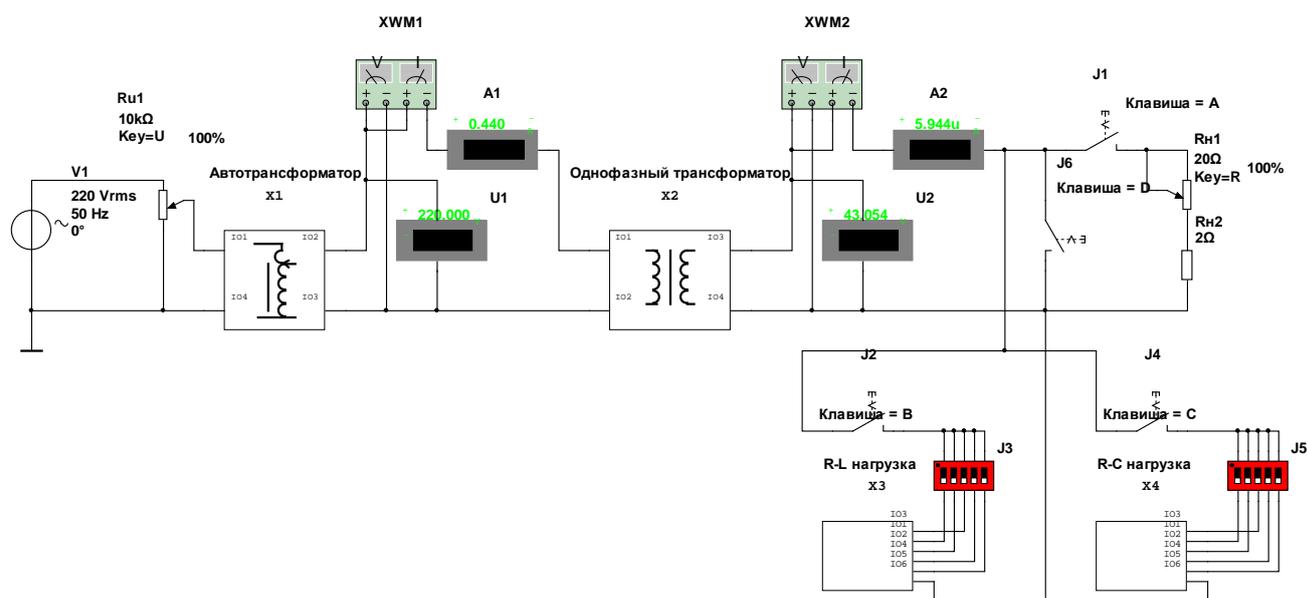


Рис.6. Схмотехническая модель лабораторного стенда для испытания однофазного трансформатора

В схмотехнической модели лабораторного стенда исследуемый трансформатор представлен субмоделью «Однофазный трансформатор», содержащей четыре вывода. Из них два вывода являются выводами первичной обмотки трансформатора, а два других выводами вторичной

обмотки. В цепи обеих обмоток трансформатора включены электроизмерительные приборы. Вольтметр U_1 показывает напряжение на первичной обмотке трансформатора U_1 , амперметр I_1 ее ток I_1 , а ваттметр $XWM1$ потребляемую трансформатором активную мощность P_1 и его коэффициент мощности $\cos\varphi_1$. Подобные электроизмерительные приборы включены и в цепь вторичной обмотки трансформатора. Напряжение на этой обмотке U_2 измеряет вольтметр U_2 , ток ее нагрузки I_2 показывает амперметр I_2 , а потребляемую нагрузкой активную мощность P_2 и ее коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ ваттметр $XWM2$.

Электропитание первичной обмотки трансформатора осуществляется от регулируемого источника переменного напряжения. Он состоит из источника переменного напряжения $V1$ с напряжением $U=220V$ и частотой $f=50$ Гц, субмодели автотрансформатора «Автотрансформатор» и потенциометра $Ru1$, при помощи которого регулируют выходное напряжение автотрансформатора, подаваемое на первичную обмотку исследуемого трансформатора. Необходимое напряжение на первичной обмотке трансформатора устанавливают перемещением мышью движка слайдера около потенциометра $Ru1$ или поочередным нажатием клавиши «U» («Shift +U»).

В режиме нагрузки к вторичной обмотке трансформатора могут быть подключены нагрузочные устройства с активным, активно-индуктивным и активно-емкостным характером сопротивления. Нагрузочное устройство с активным характером сопротивления состоит из последовательно соединенных реостата $Rn1$ и резистора $Rn2$. Сопротивление реостата можно изменять перемещением мышью движка слайдера около этого резистора или поочередным нажатием клавиши «R» («Shift +R»). Цепь $Rn1$, $Rn2$ подключают к вторичной обмотке трансформатора замыканием кнопочного выключателя $J1$. Изменение положения этого выключателя может быть произведено нажатием клавиши «A» или наведением курсора мыши на его изображение и последующим нажатием левой кнопки мыши.

Для подключения к вторичной обмотке трансформатора нагрузочных устройств с активно-индуктивным и активно-емкостным характером сопротивления используют кнопочные выключатели J2 и J4, а замыкание вторичной обмотки накоротко выполняют кнопочным выключателем J6. Изменение положения этих выключателей осуществляют нажатием клавишей, соответственно, «B», «C» и «D» или мышью, как указано для кнопочного выключателя J1.

Нагрузочное устройство с активно-индуктивным характером сопротивления состоит из субмодели «RL – нагрузка» и пакетного выключателя J3, а нагрузочное устройство с активно-емкостным характером сопротивления из субмодели «RC – нагрузка» и пакетного выключателя J5. Субмодель «RL – нагрузка» содержит пять электрических цепей с последовательно соединенными активным и индуктивным элементами. Общая точка соединения этих цепей подключена к одному из выводов вторичной обмотки трансформатора, а их свободные выводы присоединены к независимым однополюсным выключателям пакетного выключателя J3, подключающих их к кнопочному выключателю J2. Субмодель «RC – нагрузка» содержит пять электрических цепей с последовательно соединенными активным и емкостным элементами, общая точка соединения которых подключена к одному из выводов вторичной обмотки трансформатора. Свободные выводы этих цепей присоединены к независимым однополюсным выключателям пакетного выключателя J5, при помощи которых они подключаются к кнопочному выключателю J4.

Независимые однополюсные выключатели пакетных выключателей J3, J5, используемые для дискретного изменения сопротивления нагрузки трансформатора, находятся в отключенном состоянии при расположении их движков около черной точки на изображении соответствующего пакетного выключателя. Для перевода отдельного однополюсного выключателя во включенное состояние необходимо поместить на этот однополюсный выключатель курсор мыши, принимающий форму руки, и, нажав левую

кнопку мыши, переместить движок выключателя в другое положение. Подобные действия выполняют и при отключении однополюсного выключателя.

3. Задания и порядок выполнения лабораторной работы

Открыть файл <Однофазный трансформатор_ОСМ1-0,63>.

Задание 1. Провести опыт холостого хода трансформатора

1. Разомкнуть кнопочные выключатели J1, J2, J4 и J6.
2. Включить режим моделирования. Для этого необходимо навести на кнопку с треугольником, расположенную в панели меню, курсор мыши и нажать ее левую кнопку или навести курсор на изображение выключателя в правом верхнем углу рабочего окна, и нажать левую кнопку мыши.
3. Установить потенциометром Ru1 на первичной обмотке трансформатора напряжение $U_1 = U_{1н}$.
4. После окончания процесса моделирования записать показания приборов в табл.1.
5. Рассчитать параметры трансформатора K_{12} , $i_{1х}$, $\Delta P_{ст}$ и его схемы замещения Z_x , R_x , X_x . Полученные результаты записать в табл.1.

Таблица 1

Результаты опыта холостого хода трансформатора

Результаты измерений					Результаты вычислений					
$U_{1х}$	$I_{1х}$	$P_{1х}$	$\cos\varphi_{1х}$	$U_{2х}$	K_{12}	$i_{1х}$	$\Delta P_{ст}$	Z_x	R_x	X_x
В	А	Вт	–	В	–	%	Вт	Ом	Ом	Ом

Задание 2. Провести опыт короткого замыкания трансформатора

1. Установить потенциометром Ru1 на первичной обмотке трансформатора напряжение $U_1 = 0$ В.

2. Замкнуть кнопочный выключатель J6.
3. Постепенно увеличивая потенциометром Ru1 напряжение на первичной обмотке трансформатора установить такое его значение, при котором токи в обмотках трансформатора примут значения $I_{1к} \approx I_{1н}$ и $I_{2к} \approx I_{2н}$.
4. Записать полученные показания приборов в табл. 2.
5. Отключить кнопочный выключатель J6.
6. Рассчитать параметры трансформатора $u_{1к}$, $\Delta P_{мн}$ и его схемы замещения Z_k , R_k , X_k . Полученные результаты записать в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опыта короткого замыкания трансформатора

Результаты измерений					Результаты вычислений				
$U_{1к}$	$I_{1к}$	$P_{1к}$	$\cos\varphi_{1к}$	$I_{2к}$	$u_{1к}$	$\Delta P_{мн}$	Z_k	R_k	X_k
В	А	Вт	–	А	%	Вт	Ом	Ом	Ом

Задание 3. Провести испытание трансформатора при нагрузке

1. Установить потенциометром Ru1 на первичной обмотке трансформатора напряжение $U_1 = U_{1н} = 220$ В.
2. Записать показания приборов в табл.3.
3. Замкнуть кнопочный выключатель J1.
4. Перевести слайдер реостата Rн1 в положение 100 %. Записать показания приборов при этом значении реостата Rн1 в табл.3. Затем, изменяя положение слайдера реостата Rн1, поочередно записывать в табл.3 показания приборов при разных значениях сопротивления этого реостата. Последнее измерение показаний приборов выполнить при положении 0 % слайдера реостата Rн1.
5. Отключить кнопочный выключатель J1.

6. По показаниям приборов табл. 3 рассчитать значения η , β , ΔP_m , ΔP и ΔU_2 трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 1$. Полученные результаты записать в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытания трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 1$

Результаты измерений							Результаты вычислений				
U_1	I_1	P_1	$\cos\varphi_1$	U_2	I_2	P_2	η	β	ΔP_m	ΔP	ΔU_2
В	А	Вт	–	В	А	Вт	–	–	Вт	Вт	%
					0	0	0	0			0

7. По данным табл. 3 построить рабочие характеристики трансформатора I_1 , U_2 , $\cos\varphi_1$, $\eta = f(P_2)$ при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 1$.

8. По данным табл. 3 построить графики $\Delta P_{ст}$, ΔP_m , ΔP , $\eta = f(\beta)$.

9. Замкнуть кнопочный выключатель J2 и разомкнуть однополюсные выключатели пакетного выключателя J3.

10. Записать показания приборов в табл. 4.

11. Замыкать поочередно однополюсные выключатели пакетного выключателя J3, изменяя тем самым сопротивление нагрузочного устройства с активно-индуктивным характером сопротивления. Полученные показания приборов записывать в табл. 4.

12. Отключить кнопочный выключатель J2 и однополюсные выключатели пакетного выключателя J3.

13. По показаниям приборов в табл. 4 рассчитать значения η , β , ΔP_m , ΔP и ΔU_2 трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 0,8$ и $\varphi_2 > 0$. Полученные результаты записать в табл. 4.

14. По данным табл. 4 построить рабочие характеристики трансформатора I_1 , U_2 , $\cos\varphi_1$, $\eta=f(P_2)$ при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 0,8$ и $\varphi_2 > 0$.

Таблица 4

Результаты испытания трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 0,8$, $\varphi_2 > 0$

Результаты измерений							Результаты вычислений				
U_1	I_1	P_1	$\cos\varphi_1$	U_2	I_2	P_2	η	β	ΔP_m	ΔP	ΔU_2
В	А	Вт	–	В	А	Вт	–	–	Вт	Вт	%
					0	0	0	0			0

15. Замкнуть кнопочный выключатель J4 и разомкнуть однополюсные выключатели пакетного выключателя J5.

16. Записать показания приборов в табл. 5.

17. Замыкать поочередно однополюсные выключатели пакетного выключателя J5, и, тем самым, изменять сопротивление нагрузочного устройства с активно-емкостным характером сопротивления. Полученные показания приборов записывать в табл. 5.

Результаты испытания трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 0,8$, $\varphi_2 < 0$

Результаты измерений							Результаты вычислений				
U_1	I_1	P_1	$\cos\varphi_1$	U_2	I_2	P_2	η	β	ΔP_m	ΔP	ΔU_2
В	А	Вт	–	В	А	Вт	–	–	Вт	Вт	%
					0	0	0	0			0

18. Отключить кнопочный выключатель J4 и однополюсные выключатели пакетного выключателя J5.

19. По показаниям приборов в табл. 5 рассчитать значения $\eta, \beta, \Delta P_m, \Delta P$ и ΔU_2 трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 0,8$ и $\varphi_2 < 0$. Полученные результаты записать в табл. 5.

20. По данным табл. 3 – 5 построить графики зависимостей $\Delta U_2 = f(\beta)$ при активном, активно-индуктивном и активно-емкостном характере сопротивления нагрузки трансформатора.

4. Содержание отчета

1. Паспортные данные исследуемого однофазного трансформатора.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда для испытания однофазного трансформатора (и/или его схемотехническая модель).
3. Схема замещения однофазного трансформатора.
4. Формулы для расчета параметров однофазного трансформатора и его схемы замещения.

5. Таблицы с результатами измерения и расчета при проведении опытов холостого хода, короткого замыкания и испытания однофазного трансформатора с нагрузкой при активном, активно-индуктивном и активно-емкостном характере ее сопротивления.

6. Графики рабочих характеристик I_1 , U_2 , $\cos\varphi_1$, $\eta = f(P_2)$ трансформатора при нагрузке с $\cos\varphi_2 = 1$ и с $\cos\varphi_2 = 0,8$, $\varphi_2 > 0$.

7. Графики зависимостей $\Delta P_{ст}$, ΔP_m , ΔP , $\eta = f(\beta)$ при активном сопротивлении нагрузки трансформатора.

8. Графики зависимостей $\Delta U_2 = f(\beta)$ при активном, активно-индуктивном и активно-емкостном характере сопротивления нагрузки трансформатора.

**Изменения в схмотехнической модели
не сохранять!**

5. Список литературы

1. Немцов М.В., Светлакова И.И. Электротехника. – Ростов-н/Д: Феникс, 2004. – 567 с.

2. Стрелков Б.В., Шерстняков Ю.Г. Трансформаторы и асинхронные электрические двигатели. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 36 с.

Содержание

1. Основные теоретические сведения
 2. Описание схмотехнической модели лабораторного стенда для испытания однофазного трансформатора
 3. Задания и порядок выполнения лабораторной работы
 4. Содержание отчета
 5. Список литературы
 6. Контрольные вопросы
 7. Список литературы
- Приложение 1. Заготовки для выполнения графиков

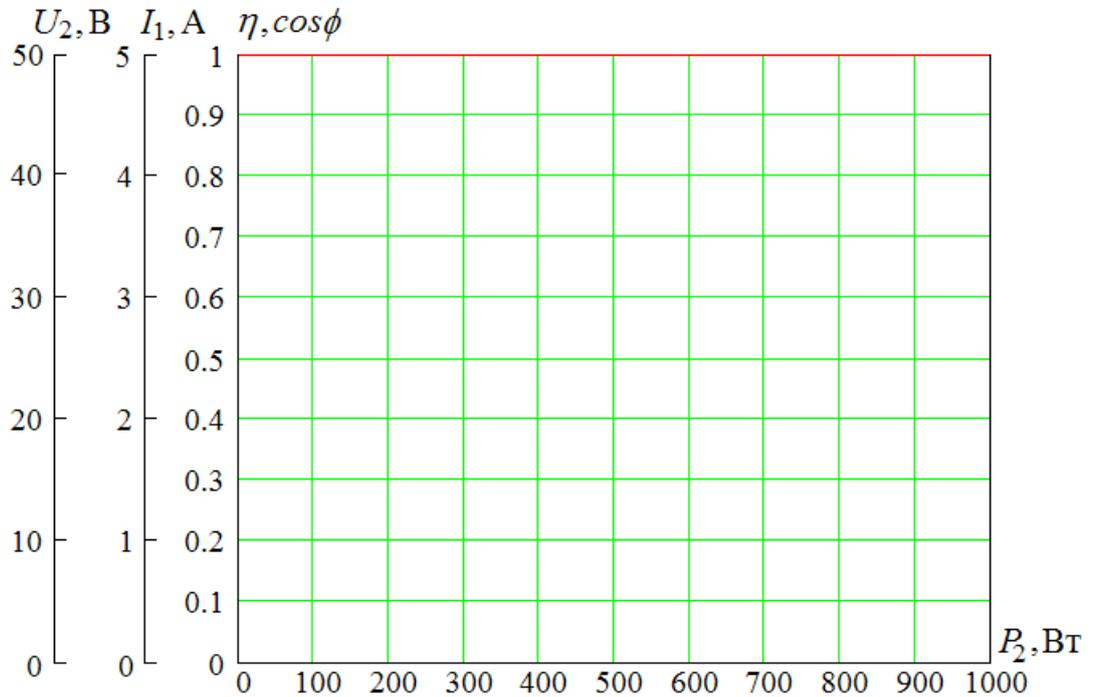
Контрольные вопросы

1. Как устроен однофазный трансформатор и его принцип действия?
2. Какой режим работы трансформатора называется номинальным?
3. Что называется коэффициентом трансформации и как он определяется коэффициент?
4. Какой физический смысл сопротивлений R_x и X_x в схеме замещения трансформатора?
5. По результатам каких опытов можно определить параметры схемы замещения трансформатора?
6. Какие потери мощности определяются из опыта холостого хода?
7. Какие потери мощности определяются из опыта короткого замыкания?
8. Какие параметры можно определить по результатам опыта холостого хода?
9. Какие параметры можно определить по результатам опыта короткого замыкания?
10. От чего зависит коэффициент полезного действия трансформатора?

Приложение 1. Заготовки для графиков

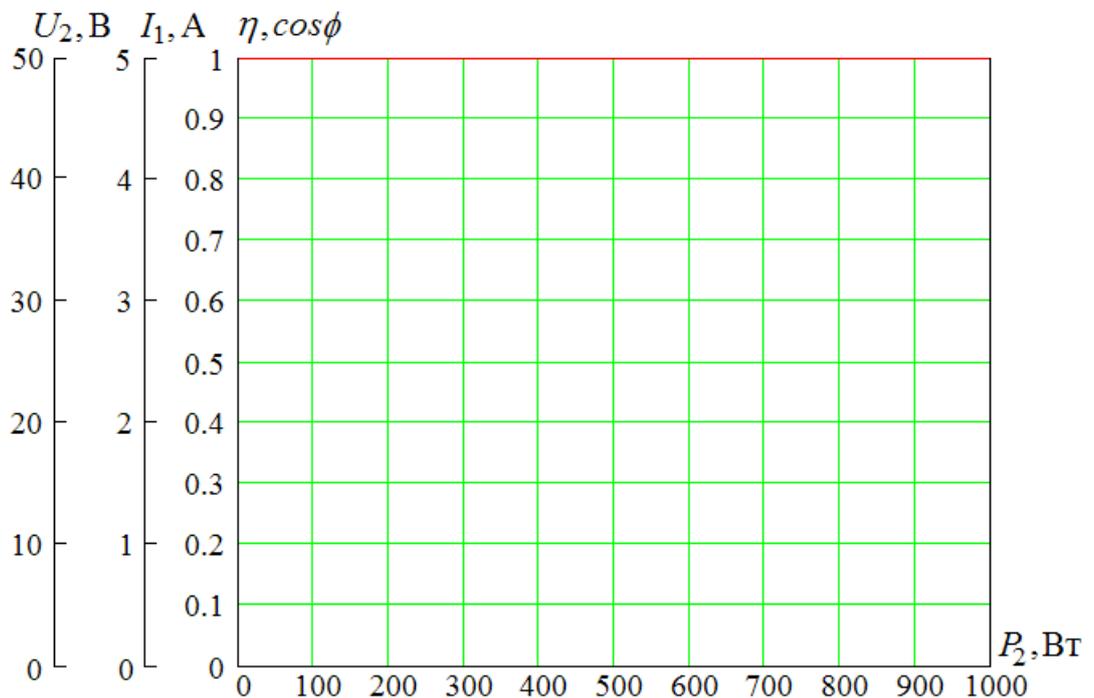
Рабочие характеристики $I_1, U_2, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$

трансформатора ОСМ1-0,63-220/42 при $\cos \varphi_2 = 1$

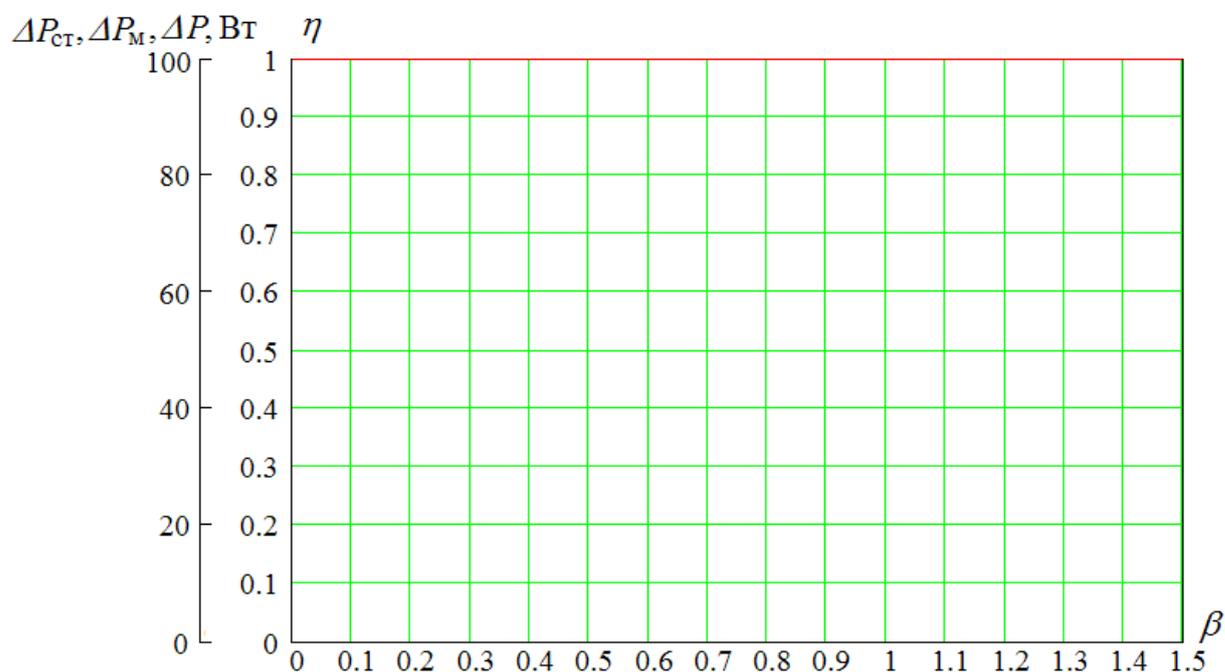


Рабочие характеристики $I_1, U_2, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$

трансформатора ОСМ1-0,63-220/42 при $\cos \varphi_2 = 0,8, \varphi_2 > 0$



Зависимости мощностей потерь $\Delta P_{ст}$, $\Delta P_{м}$, ΔP и КПД η трансформатора
ОСМ1-0,63-220/42 от коэффициента загрузки β



Зависимости относительного изменения напряжения ΔU_2 на вторичной
обмотке трансформатора ОСМ1-0,63-220/42 от коэффициента загрузки β

