

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра энергетики и технологии металлов

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Методические указания к выполнению
лабораторной работы по курсу «Электромеханика»
для студентов специальности 140211 «Электроснабжение»

Курган 2010

Кафедра: «Энергетики и технология металлов»

Дисциплина: «Электромеханика» (специальность 140211)

Составили: доцент, канд. техн. наук Ю.П. Агафонов,
доцент, канд. техн. наук В.И. Мошкин

Составлены на основе переработанных и дополненных методических указаний
«Электрические машины» / Агафонов Ю.П. – Курган: Изд-во КГУ, 1995. – 43 с.

Утверждены на заседании кафедры 3 декабря 2009 г.

Рекомендованы методическим советом университета
 «24» декабря 2009 г.

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: Ознакомиться с устройством, основными элементами конструкции и методами испытания однофазного трансформатора небольшой мощности; опытным путем определить параметры упрощенной схемы замещения; изучить рабочие свойства трансформатора.

В паспорте силового трансформатора приводятся следующие технические данные:

S_H – полная номинальная мощность, кВ·А;

U_{1H}, U_{2H} – номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток, кВ (под номинальным напряжением понимают напряжение в режиме холостого хода);

f – частота, Гц;

$u_K \%$ – процентное напряжение короткого замыкания

$$u_K \% = \frac{U_{1K}}{U_{1H}} \cdot 100, \quad (1.1)$$

где U_{1K} – напряжение короткого замыкания, кВ;

P_0 – потери в стали, обусловленные гистерезисом и вихревыми токами в сердечнике при номинальном напряжении, кВт;

P_K – потери в обмотках – электрические потери при номинальных токах в обмотках трансформатора, кВт;

I_{1H}, I_{2H} – номинальные токи первичной и вторичной обмоток, А:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{U_{1H}}, \quad I_{2H} = \frac{S_H}{U_{2H}}. \quad (1.2)$$

Важными эксплуатационными показателями трансформатора являются:

- $\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности трансформатора:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}, \quad (1.3)$$

где P_1 – активная мощность первичной обмотки трансформатора;

- η – коэффициент полезного действия (КПД):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} = \frac{K \cdot S_H \cdot \cos\varphi_2}{K \cdot S_H \cdot \cos\varphi_2 + K^2 \cdot P_K + P_0}, \quad (1.4)$$

где $K = \frac{I_2}{I_{2H}}$ – коэффициент нагрузки трансформатора;

$\cos\varphi_2$ – коэффициент мощности нагрузки (в данной работе $\cos\varphi_2 = 1$);

- $\Delta U \%$ – процентное изменение вторичного напряжения при нагрузке трансформатора:

$$\Delta U\% = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}} \cdot 100 = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100. \quad (1.5)$$

При испытании трансформатора производят опыты холостого хода, нагрузки и короткого замыкания.

Схема включения трансформатора для проведения указанных опытов приведена на рис. 1.1. Необходимый режим работы трансформатора создают с помощью переключателя QS1 (B1 на стенде) и изменения сопротивления нагрузочного реостата $R_{НГ}$.

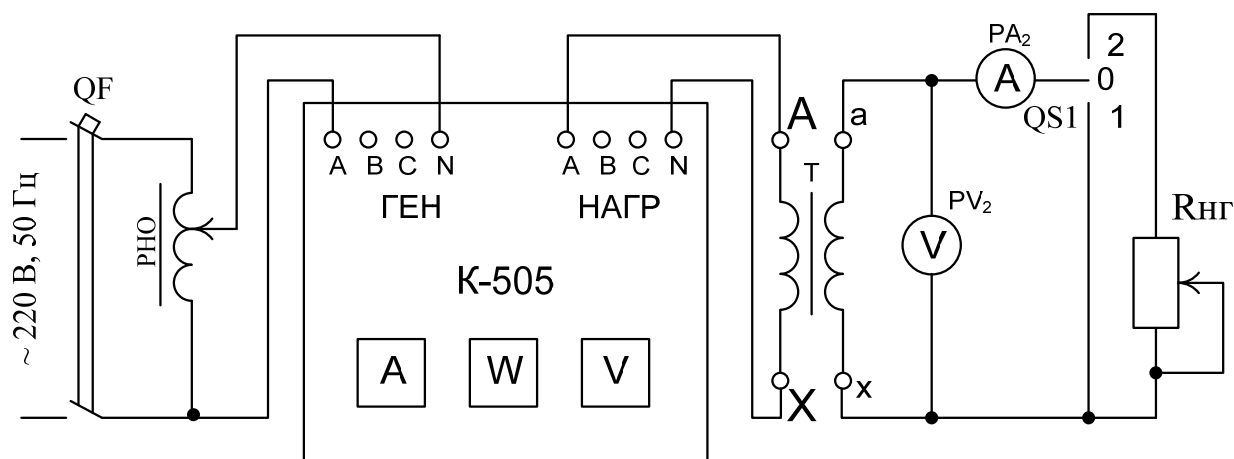


Рис. 1.1. Схема экспериментальной установки для испытания трансформатора

Измерения в первичной цепи трансформатора производят с помощью измерительного комплекта К-505. Приборы, входящие в комплект – многопредельные, имеют неизменные шкалы. Пределы измерения изменяют с помощью имеющихся в измерительном комплекте переключателей, там же указаны цены делений для каждого прибора. Результаты измерения получают путем умножения показания прибора в делениях шкалы на цену деления.

Опыт холостого хода производят при разомкнутой вторичной обмотке, когда $I_2 = 0$, $I_1 = I_{10}$, а $U_{10} = U_{1H}$.

По данным опыта определяют:

– ток холостого хода $i_0\% = \frac{I_{10}}{I_{1H}} \cdot 100$ в % от номинального первичного тока при

$$U_{10} = U_{1H};$$

– коэффициент трансформации

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_{1H}}{U_{20}}; \quad (1.6)$$

– коэффициент мощности холостого хода

$$\cos\varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_{1H} \cdot I_{10}}; \quad (1.7)$$

– потери в стали (в магнитопроводе), которые принимают равными мощности холостого хода трансформатора P_{10} :

$$P_0 = P_{10} - P_{M0} \cong P_{10}. \quad (1.8)$$

– зависимость тока холостого хода от напряжения $I_{10} = f(U_{10})$;

Потери в обмотках («в меди») при холостом ходе $P_{10} = R_1 \cdot I_{10}^2$ очень малы по сравнению с потерями в стали, так как ток холостого хода I_{10} трансформатора обычно невелик и составляет 0,5...7 % от номинального тока первичной обмотки I_{1H} . Напряжение холостого хода $U_{10} = U_{1H}$ мало отличается от ЭДС первичной обмотки E_1 , поэтому:

$$\dot{U}_{1H} = -\dot{E}_1 + \underline{Z}_1 \cdot \dot{I}_{10} \cong -\dot{E}_1. \quad (1.9)$$

Опыт нагрузки трансформатора проводят при номинальном первичном напряжении U_{1H} . По данным опыта определяют внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(I_2)$, изменение вторичного напряжения при нагрузке $\Delta U\%$, а также зависимость η и $\cos\phi_1$ от тока нагрузки I_2 .

Опыт короткого замыкания проводят при напряжении U_{1K} , пониженном до такой величины, при которой ток в режиме короткого замыкания (к.з.) равен номинальному, т.е. $I_{1K} = I_{1H}$.

Обычно напряжение короткого замыкания не превышает 5 - 15 % от номинального U_{1H} .

Потребляемая из сети активная мощность при опыте короткого замыкания расходуется на потери в стали сердечника и потери в меди обмоток. Потери в стали при этом очень малы по сравнению с потерями в меди, и поэтому принимают, что вся мощность P_{1K} расходуется на потери в меди двух обмоток:

$$P_{1K} \cong P_K = R_1 \cdot I_{1H}^2 + R_2 \cdot I_{2H}^2 = (R_1 + R_2') I_{1H}^2 = R_K \cdot I_{1H}^2, \quad (1.10)$$

где R_1 и R_2' – соответственно активные сопротивления первичной и приведенное вторичной обмоток.

По данным опыта короткого замыкания определяют параметры упрощенной схемы замещения трансформатора (R_K, X_K) и процентное напряжение короткого замыкания $u_{\dot{E}}\%$.

Активное сопротивление короткого замыкания трансформатора R_K приводят к рабочей температуре $+75^\circ\text{C}$:

$$R_K = R_{K\Theta} \cdot \frac{234,5 + 75}{234,5 + \Theta}, \quad (1.11)$$

где $R_{K\Theta} = \frac{P_{1K}}{I_{1H}^2},$

Θ – температура обмоток при опыте короткого замыкания (в данной работе принимать Θ равной температуре окружающей среды).

Индуктивное сопротивление короткого замыкания трансформатора:

$$X_K = \sqrt{\left(\frac{U_{1K}}{I_{1H}}\right)^2 - R_{K\Theta}^2}. \quad (1.12)$$

Полное сопротивление короткого замыкания трансформатора:

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}. \quad (1.13)$$

Напряжение короткого замыкания, приведенное к температуре $+75^\circ\text{C}$, равно:

$$U_{1K} = Z_{1K} \cdot I_{1H}. \quad (1.14)$$

Коэффициент мощности короткого замыкания трансформатора:

$$\cos\varphi_{1K} = \frac{P_{1K}}{U_{1K} \cdot I_{1H}}. \quad (1.15)$$

Порядок выполнения работы

I. Ознакомиться с устройством, основными элементами конструкции и паспортными данными трансформатора. Паспортные данные записать в табл. 1.1, номинальные токи определить по формулам (1.1).

Таблица 1.1

Дано			Вычислено	
$S_H, \text{В} \cdot \text{А}$	$U_{1H}, \text{В}$	$U_{2H}, \text{В}$	$I_{1H}, \text{А}$	$I_{2H}, \text{А}$

II. Провести опыт холостого хода трансформатора

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 1.1, переключатель QS1 (B1) разомкнуть.

Примечания: а) во всех опытах трансформатор следует использовать как понижающий;

б) установку пределов измерения приборов комплекта К-505 производить в соответствии с паспортными данными

трансформатора и ожидаемыми значениями измеряемых величин в различных режимах работы.

2. После проверки схемы цепи преподавателем включить автоматический выключатель QF и снять зависимость $I_{10} = f(U_{10})$, для чего, изменяя с помощью регулятора РНО напряжение на зажимах А-Х первичной обмотки от 0 до номинального, записать в табл. 1.2 5...6 значений тока холостого хода I_{10} и соответствующих им напряжений U_{10} .

Таблица 1.2

$U_{10}, В$					220	230
$I_{10}, А$						

Показания всех приборов при номинальном напряжении $U_{1Н} = 220 В$ записать в табл. 1.3, а также в табл. 1.4 для тока $I_2 = 0$.

Таблица 1.3

Измерено				Вычислено				
$U_{10} = U_{1Н},$ В	$I_{10},$ А	$U_{20},$ В	$P_{10},$ Вт	$\cos\varphi_{10}$	$\varphi_{10},$ град.	$P_{М0},$ Вт	$P_0,$ Вт	k

После этого опыта уменьшить напряжение до нуля и выключить автомат QF.

III. Провести опыт нагрузки трансформатора

1. В электрической цепи (рис. 1.1) замкнуть переключатель QS1 в положение 2 и полностью ввести нагрузочный реостат $R_{НГ}$ ($R_{НГ}$ – максимальное).

2. После проверки схемы преподавателем включить автоматический выключатель QF и с помощью регулятора напряжения РНО установить на клеммах А-Х трансформатора номинальное напряжение $U_{1Н}$, которое поддерживать постоянным в течение всего опыта.

3. С помощью реостата $R_{НГ}$ поочередно устанавливая различные нагрузки через 1 А, начиная от минимального значения тока I_2 , соответствующего полностью введенному реостату $R_{НГ}$, до величины тока $I_2 = 1,2 \cdot I_{2Н}$.

Показания приборов записать в табл. 1.4 (ориентировочно, 5-6 строк).

Таблица 1.4

Измерено					Вычислено				
$U_1,$ В	$I_1,$ А	$P_1,$ Вт	$U_2,$ В	$I_2,$ А	$\cos\varphi_1$	$\varphi_1,$ град.	$P_2,$ Вт	$\Delta U\%,$ %	η

После выполнения опыта уменьшить напряжение до нуля и выключить автомат QF.

IV. Провести опыт короткого замыкания трансформатора

1. В электрической цепи (рис. 1.1) замкнуть переключатель QS1 в положение 1 (короткое замыкание).

2. Установить штурвал регулятора напряжения РНО в нулевое положение и включить автоматический выключатель QF. Плавно повышая напряжение, установить в первичной цепи ток, равный номинальному $I_{1К} = I_{1Н}$. Показания приборов записать в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Измерено				Вычислено					
$U_{1К}$, В	$I_{1К} = I_{1Н}$, А	$P_{1К}$, Вт	$I_{2К}$, А	$\cos\varphi_{1К}$	$\varphi_{1К}$, град.	R_K , Ом	X_K , Ом	Z_K , Ом	$u_K\%$, %

Методические рекомендации по обработке результатов эксперимента

1. По данным опыта холостого хода с помощью уравнений (1.6; 1.7; 1.8) определить коэффициент трансформации, коэффициент мощности $\cos\varphi_{10}$, потери в меди P_{M0} (принять $R_1 = \frac{R_K}{2}$) и потери в стали P_0 .

Результаты записать в табл. 1.3.

2. Построить в масштабе упрощенную векторную диаграмму холостого хода трансформатора и график зависимости $I_{10} = f(U_{10})$.

3. По данным опыта короткого замыкания с помощью уравнений (1.2; 1.11; 1.12; 1.14; 1.15) определить процентное напряжение короткого замыкания $u_K\%$, параметры упрощенной схемы замещения трансформатора (R_K, X_K, Z_K) и коэффициент мощности $\cos\varphi_{1К}$. Результаты расчетов записать в табл. 1.5.

4. Построить в масштабе упрощенную векторную диаграмму и треугольник сопротивлений короткого замыкания трансформатора.

5. По данным опыта нагрузки с помощью уравнений (1.3; 1.4; 1.5) определить коэффициент мощности $\cos\varphi_1$, мощность нагрузки трансформатора P_2 , процентное изменение вторичного напряжения $\Delta U\%$ и КПД трансформатора η при различных нагрузках. Результаты расчетов записать в табл. 1.4. Пример строки расчета привести в отчете.

6. Построить в масштабе векторную диаграмму загруженного трансформатора.

7. В одних координатных осях построить пять зависимостей: $\cos\varphi_1 = f_1(I_2)$; $\eta = f_2(I_2)$; $U_2 = f_3(I_2)$; $P_1 = f_4(I_2)$; $\Delta U\% = f_5(I_2)$.

Контрольные вопросы

1. Для чего магнитопровод трансформатора выполняют из электротехнической стали, а не из ферромагнитного материала?
2. Для чего магнитопровод трансформатора собирают из отдельных тонких изолированных друг от друга пластин электротехнической стали, а не делают сплошными?
3. С какой целью проводят опыт холостого хода трансформатора?
4. Чем объяснить резкое увеличение тока холостого хода трансформатора с увеличением напряжения выше определенной, близкой к номинальной, величины?
5. С какой целью проводят опыт короткого замыкания трансформатора?
6. Что называют внешней характеристикой трансформатор?
7. Что такое схема замещения трансформатора и как экспериментально можно определить параметры упрощенной схемы замещения?
8. Как изменяются коэффициент мощности и коэффициент полезного действия трансформатора при увеличении нагрузки от холостого хода до номинальной?
9. Как определить составляющие тока холостого хода и что они собой характеризуют?
10. Как определить из опытов потери в стали трансформатора? Как определить эти же потери расчетным путем?
11. Почему в режиме холостого хода с ростом напряжения коэффициент мощности падает?
12. Как определить параметры Т-образной схемы замещения трансформатора?
13. Что такое процентное напряжение $\Delta U\%$ и как оно определяется опытным путем?
14. Как определить потери в обмотках опытным и расчетным путем?
15. Какие потери энергии имеют место в трансформаторе и от чего они зависят?
16. Какой вид имеет зависимость КПД от нагрузки и $\cos\varphi_1$ от нагрузки при неизменном напряжении питания?
17. Как определить номинальные токи обмоток однофазного трансформатора?

Список литературы

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – С.59-87.
2. Беспалов В.Я. Электрические машины: Учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2006. – С. 37-56.
3. Брускин Д.Э. и др. Электрические машины и микромашины. – М.: Высшая школа, 1990. – С. 74-112.

Юрий Петрович Агафонов
Владимир Иванович Мошкин

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Методические указания к выполнению
лабораторной работы по курсу «Электромеханика»
для студентов специальности 140211 «Электроснабжение»

Редактор Н.М. Устюгова

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 0,75	Уч.-изд. л.0,75
Заказ	Тираж 50	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.