

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

кафедра электрооборудования судов и автоматизации производства

Коваленко Г.А., Комиссаров Д.Р.

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
Часть 1

Практикум
по выполнению лабораторных работ
для курсантов специальности 26.05.07 Эксплуатация судового электро-
оборудования и средств автоматики
и направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
очной и заочной форм обучения

Керчь, 2020 г.

УДК 621.3
Составители:

Коваленко Г.А. старший преподаватель кафедры «Электрооборудования судов и автоматизация производства» (ЭСиАП) ФГБОУ ВО «КГМТУ»

Подпись _____

Комиссаров Д.Р., аспирант, инженер-электрик кафедры «Электрооборудование судов и автоматизация производства» (ЭСиАП) ФГБОУ ВО «КГМТУ»

Подпись _____

Рецензент: Железняк А.А. канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование судов и автоматизация производства» (ЭСиАП) ФГБОУ ВО «КГМТУ»

Подпись _____

Практикум рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ЭСиАП ФГБОУ ВО «КГМТУ», протокол № 12 от 10.06 2020 г.

Зав. кафедрой _____ С.Г. Чёрный

Подпись _____

Практикум утвержден и рекомендованы к публикации на заседании методической комиссии МФ ФГБОУ ВО «КГМТУ», протокол № ___ от _____ 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Правила выполнения экспериментальных исследований по СЭМ	5
Указания по технической безопасности при выполнении экспериментальных исследований	6
Подготовка к лабораторному занятию	8
Проведение эксперимента	10
Обработка результатов и оформление отчета	10
1 Лабораторная работа № 1. Испытание однофазного трансформатора (Часть 1)	12
1.1 Цель работы	12
1.2 Задание и методические указания	12
1.3 Учебное оборудование	13
1.4 Экспериментальное исследование	13
1.5 Обработка результатов, выводы	15
1.6 Содержание отчета	19
1.7 Контрольные вопросы	19
1.8 Литература для самоподготовки	20
2 Лабораторная работа № 2. Испытание однофазного трансформатора (Часть 2)	21
2.1 Цель работы	21
2.2 Задание и методические указания	21
2.3 Учебное оборудование	22
2.4 Экспериментальное исследование	23
2.5 Обработка результатов, выводы	24
2.6 Содержание отчета	24
2.7 Контрольные вопросы	24
2.8 Литература для самоподготовки	25
3 Лабораторная работа № 3. Расчет энергетических показателей и определение числа витков обмоток силового трансформатора по паспортным данным	26
3.1 Цель работы	26
3.2 Задание и методические указания	26
3.3 Программа работы	27
3.4 Теоретический материал	29
3.5 Содержание отчета	30
3.6 Контрольные вопросы	30
3.7 Литература для самоподготовки	31

4	Лабораторная работа №4. Испытание трехфазного трансформатора.....	32
4.1	Цель работы	32
4.2	Задание и методические указания.....	32
4.3	Учебное оборудование	33
4.4	Экспериментальное исследование	33
4.5	Обработка результатов, выводы	34
4.6	Содержание отчета.....	35
4.7	Контрольные вопросы	35
4.8	Литература для самоподготовки.....	36
5	Лабораторная работа № 5. Опыт холостого хода асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	37
5.1	Цель работы	37
5.2	Задание и методические указания.....	37
5.3	Учебное оборудование	39
5.4	Экспериментальное исследование	39
5.5	Обработка результатов, выводы	39
5.6	Содержание отчета.....	41
5.7	Контрольные вопросы	41
5.8	Литература для самоподготовки.....	43
6	Лабораторная работа №6. Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	44
6.1	Цель работы	44
6.2	Задание и методические указания.....	44
6.3	Учебное оборудование	46
6.4	Экспериментальное исследование	46
6.5	Обработка результатов, выводы	47
6.6	Содержание отчета.....	47
6.7	Контрольные вопросы	48
6.8	Литература для самоподготовки.....	49
7	Лабораторная работа № 7. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в режиме нагрузки	50
7.1	Цель работы	50
7.2	Задание и методические указания.....	50
7.3	Учебное оборудование	52
7.4	Экспериментальное исследование	52
7.5	Обработка результатов, выводы	53
7.6	Содержание отчета.....	56
7.7	Контрольные вопросы	56
7.8	Литература для самоподготовки.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Данный практикум по выполнению лабораторных работ предназначен для студентов, изучающих курс «Судовые электрические машины» на дневной и заочной формах обучения и являются первой частью лабораторного практикума, рассчитанного согласно учебному плану на 14 часов.

В первой части представлены лабораторные работы по темам: «Силовые трансформаторы» и «Асинхронные электрические двигатели».

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СЭМ»

1. Экспериментальные исследования по курсу "Электрические машины" выполняются фронтально бригадами в составе 3-4 человек.

2. Студенты, которые не подготовились к экспериментальному исследованию, не допускаются к его выполнению.

3. По каждому экспериментальному исследованию студент оформляет отчет.

4. Структура отчета экспериментального исследования приведена в методических указаниях.

5. Указания для построения графиков:

5.1. Графики должны быть, выполнены на миллиметровке или на листах в клеточку.

5.2. При построении графиков масштаб выбирается таким образом, чтобы построение разместилось на площади не менее 100 x 100 мм.

5.3. Масштабы для величин, которые откладываются по оси абсцисс и оси ординат, могут быть разными, однако необходимо, чтобы в масштабной единице (в 1 мм или в одной клеточке сетки) находилось целое число этих величин. Например, такие числа, как $1 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$, $5 \cdot 10^n$, где n - любое

целое число.

5.4. Графики могут выполняться карандашом, но обязательно с использованием чертежных принадлежностей. Если на одном рисунке наносятся несколько графиков, то они вычерчиваются карандашами разного цвета. Вдоль координатных осей наносятся масштабные шкалы, разметка которых должна быть равномерной.

5.5. После нанесения экспериментально полученных точек, используя линейку или лекало, проводится плавная линия таким образом, чтобы она проходила, возможно, ближе к полученным точкам, которые должны быть на графике оставлены.

6. Оформленный отчет экспериментального исследования должен быть защищен каждым студентом.

7. Принципиальные схемы исследуемых электрических цепей могут выполняться карандашом, но обязательно с использованием чертежных принадлежностей и условных обозначений элементов цепи и электрических величин, предусмотренных ЕСКД.

УКАЗАНИЯ по технической безопасности при выполнении экспериментальных исследований

Учебно-лабораторные стенды в лаборатории электрических машин относятся к действующим электроустановкам, отдельные элементы находятся под напряжением 220 – 380 В. Поэтому при выполнении экспериментальных исследований по дисциплине "Электрические машины" необходимо придерживаться требований, изложенных в "Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правилах техники безопасности при эксплуатации электропотребителей".

1. Студенты, которые впервые приступают к выполнению экспериментальных исследований проходят первичный инструктаж по технике безопасности с отметкой в журнале регистрации инструктажей. Инструктаж проводит преподаватель, проводящий лабораторные работы. Студенты, которые не прошли инструктаж по технике безопасности к экспериментальным исследованиям не допускаются.

2. Присоединение рабочей схемы к электрической сети без разрешения преподавателя или лаборанта категорически запрещается.

3. Обзор, подтяжку контактов, замену элементов экспериментальной установки делать только при снятом напряжении, для чего необходимо выключить автоматический выключатель, через который подается питание.

4. После присоединения рабочей схемы к сети запрещается прикасаться до оголенных токоведущих частей.

5. После любого изменения в рабочей схеме, включение ее опять под напряжение может выполняться только с разрешения преподавателя или лаборанта.

6. Категорически запрещается оставлять без надзора лабораторную установку, которая находится под напряжением.

7. Проверку наличия напряжения, подведенного к схеме, допускается делать только с помощью соответствующих приборов.

8. При выявлении неисправного состояния оборудования, аппаратов, измерительных приборов, соединительных проводников необходимо немедленно отключить схему от сети и известить об этом преподавателя или лаборанта.

9. В случае прекращения опыта или перерыва в работе необходимо обязательно отключить установку от электрической сети.

ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНОМУ ЗАНЯТИЮ

Экспериментальные задачи, предлагаемые на лабораторных занятиях, могут быть успешно решены в отведенное в соответствии с расписанием занятий время только при условии тщательной предварительной подготовки к каждой из них.

Студент, в первую очередь, должен твердо уяснить цель задания и четко представлять назначение устройства, его условное обозначение на электрических схемах, принцип действия и основные характеристики

Затем, по материалам руководства необходимо ознакомиться с основными параметрами объекта исследования, источников питания и других используемых в стенде преобразователей и пускорегулирующих аппаратов. Эти сведения нужны для определения диапазона возможного изменения величин и необходимого режима работы объекта исследования. Требуемые расчетные соотношения и формулы следует найти и записать самостоятельно на основе изучения учебных пособий.

Особое внимание следует уделить измерительным приборам. В соответствии с каждым этапом рабочего задания необходимо проанализировать схему соединений, состоящую из элементов объекта исследования и электроизмерительных приборов. При этом рекомендуется заготовить таблицы для записи показаний приборов.

Одним из важных этапов подготовки к выполнению лабораторной работы является изучение технологии проведения эксперимента, используя методические рекомендации к выполнению рабочего задания.

Завершает этап подготовки к выполнению лабораторной работы составление ответов на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Бригада 3-4 человека подходит к рабочему месту. Берется электрическая схема принципиальной экспериментальной установки, происходит ее разбор, определяются приборы соответствующее электрической схеме, определяется цена деления приборов, какие величины они измеряют.

Этот прием позволяет сознательно подойти к оценке назначения каждого элемента цепи. В избежание возможного возникновения больших токов в цепи элементы регулирования потенциометров необходимо установить в положение соответствующее минимуму напряжения на входе. Только с разрешения преподавателя можно включить источник питания, подключить стенд и произвести предварительное опробование работы цепи, что бы убедиться в возможности проведения опыта при заданных пределах измерения величин.

При снятии характеристик недопустимо превышать номинальные значения токов и напряжений испытываемого электронного устройства, если нет особых указаний в руководстве по лабораторному эксперименту. В случае, если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно отключить цепь от источника питания, доложить преподавателю.

После предварительного опробования цепи, проверки или оценки диапазона изменения переменного параметра необходимо наметить последовательность отдельных манипуляций и отсчетов, а затем приступить к наблюдениям.

Отсчеты рекомендуется проводить по возможности одновременно по всем приборам. Следует избегать перерыва начатой серии наблюдений и во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных наблюдений, их необходимо повторить несколько раз.

Результаты всех первичных наблюдений и отсчетов записывают в таблицу протокола испытаний. Запись отсчетов должна вестись в точном соответствии с показаниями измерительных приборов. Протоколы наблюдений являются единственным документальным следом, остающимся от измерений, поэтому от точной и своевременной фиксации в таблицах результатов отсчета в значительной степени зависит успех экспериментальной работы.

При переходе от одного этапа исследования к другому необходимо каждый раз обращаться к преподавателю за проверкой правильности полученных результатов, которые представляют в виде таблиц или графиков,

К следующему этапу работы разрешается приступать только после проверки и визирования протокола преподавателем.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Каждый студент самостоятельно должен обрабатывать данные опытов и подготовить отчет по каждой проделанной работе.

В отчете на титульном листе указываются название учебного заведения, кафедры. Номер и наименование работы, фамилия и инициалы студента, выполнившего работу, номер его академической группы,

Отчет должен содержать, паспортные данные объекта исследования, схемы соединения элементов объекта исследования с включенными измерительными приборами, таблицы с записью результатов эксперимента, обработанные осциллограммы, графики зависимостей и векторные диаграммы.

После проведения эксперимента должны быть сделаны основные выводы, полученные в результате исследования.

Каждая схема должна быть сопровождена соответствующей таблицей записей результатов измерений и графиком, иллюстрирующим изучаемые зависимости. В таблице обязательно следует указывать, в каких единицах измерены исследуемые величины. Все таблице необходимо снабдить заголовками, характеризующими проводимый опыт.

На основании результатов измерений проводится их окончательная обработка. Измеренные и вычисленные величины заносятся в соответствующие колонки одной и той же таблицы.

Вычерчивание схем и таблиц рекомендуется производить карандашом обязательно с помощью линейки.

Особое внимание надо уделить графикам зависимостей между величинами, т.к. они являются наглядным результатом работы, графическим ответом на вопросы, поставленные в лабораторной работе.

При построении графиков по осям приводят стандартные буквенные обозначения величин и единиц их измерения, указывают деления с одинаковыми интервалами, соответствующие откладываемым величинам в принятых единицах измерения или в десятичных кратных либо дольных единицах.

Каждый график обязательно должен быть снабжен лаконичным текстом, чтобы любой достаточно подготовленный читатель мог легко понять, какую зависимость характеризует построенный график.

На последней странице отчета следует указать дату оформления и поставить подпись.

Отчет в целом должен быть составлен таким образом, чтобы для понимания содержания и результатов проведенной работы не требовалось дополнительных устных пояснений. Составление подобных отчетов - первый шаг к оформлению технических отчетов по экспериментальным исследованиям, которые предстоит проводить будущему инженеру.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА»

1.1 Цель работы: освоение методики определения параметров схемы замещения, потерь активной мощности, коэффициента трансформации по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

1.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задания для домашней подготовки:

1.2.1 Подготовить теоретический материал по теме «Однофазные трансформаторы» [1,2,3]

1.2.2 Составить схему электрическую принципиальную экспериментальной установки, подготовить таблицы для записи показаний приборов, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

Описание схемы электрической принципиальной.

Схема электрическая принципиальная состоит из однофазного трансформатора (T); нагрузочного реостата (R_2); лабораторного автотрансформатора (AT); электроизмерительных приборов: для измерения силы

тока в первичной цепи – амперметр ($pA1$), для измерения силы тока во вторичной цепи – амперметр ($pA2$); для измерения напряжения на зажимах первичной цепи – вольтметр ($pV1$), для измерения напряжения на зажимах вторичной цепи – вольтметр ($pV2$); для измерения активной мощности, которую потребляет трансформатор из сети – ваттметр (pW). Для коммутации электрической цепи предусмотрены однополюсные переключатели: $S1.1$ – для включения трансформатора на пониженное напряжение в опыте короткого замыкания; $S1.2$ – для замыкания на коротко вторичной цепи в опыте короткого замыкания; $S2$ – для размыкания вторичной цепи в опыте холостого хода. Для включения установки предусмотрен автоматический выключатель (QF).

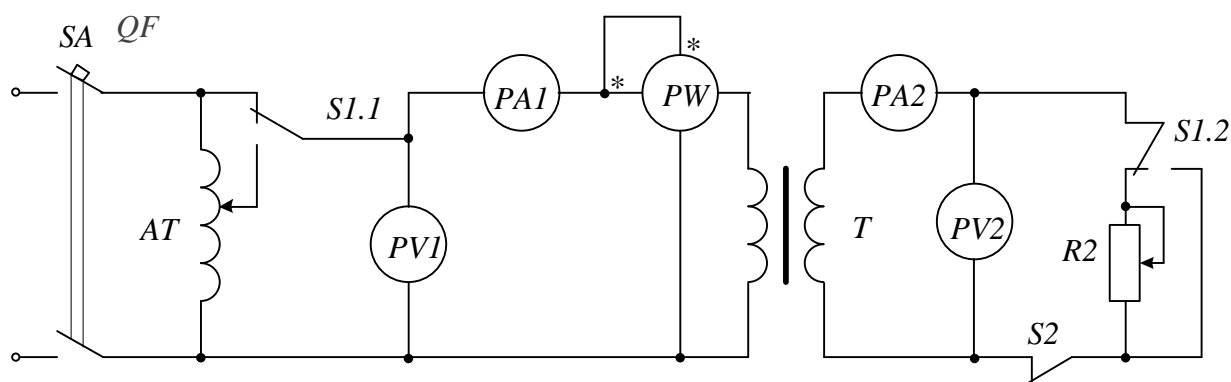


Рисунок 1.1 – Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки

1.3 Учебное оборудование

Для выполнения лабораторной работы используется стенд «Исследование трансформаторов».

1.4 Экспериментальное исследование

1.4.1 Ознакомьтесь с устройством испытуемого трансформатора и запишите его паспортные данные, определите цену делений измерительных приборов, используемых в опытах.

1.4.2 Выполните опыт холостого хода ($I_2 = 0$). Для этого разомкните переключатель **S2** (вторичная цепь разомкнута), подайте питание на схему, замкнув автоматический выключатель **QF**. Установите номинальное напряжение на зажимах первичной цепи ($U_1 = U_{1н}$).

1.4.3 Показания приборов запишите в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты опыта холостого хода

Измерить					Вычислить					
$U_{1x},$ <i>B</i>	$I_{1x},$ <i>A</i>	$P_{1x},$ <i>Bm</i>	$I_{2x},$ <i>A</i>	$U_{2x},$ <i>B</i>	$\cos\varphi_0$	$P_0,$ <i>Bm</i>	k	$Z_M,$ <i>Ом</i>	$R_M,$ <i>Ом</i>	$X_M,$ <i>Ом</i>

В таблице 1 приведено:

U_{1x}, U_{2x} – напряжения на зажимах, соответственно первичной и вторичной цепей, В;

I_{1x}, I_{2x} – сила тока в первичной и вторичной цепях, А;

$P_{1x} = P_0$ – активная мощность, потребляемая трансформатором из сети в режиме холостого хода, номинальные потери в стали, Вт;

$\cos\varphi_x$ – коэффициент мощности;

k – коэффициент трансформации;

Z_M – полное сопротивление намагничивающего контура схемы замещения трансформатора, Ом;

R_M – активное сопротивление намагничивающего контура схемы замещения трансформатора, Ом;

X_M – реактивное сопротивление намагничивающего контура схемы замещения трансформатора, Ом.

1.4.4 Выполните опыт короткого замыкания ($Z_2 = 0$). Для этого замкните переключатели **S1** и **S2** (вторичная цепь замкнута накоротко), подайте питание на схему, замкнув автоматический выключатель **QF**. Установите пониженное напряжение на зажимах первичной цепи ($U_1 =$

(5...10%) $U_{1н}$). При этом токи в первичной и во вторичной цепях будут номинальным ($I_{1к} = I_{1н}$; $I_{2к} = I_{2н}$).

1.4.5 Показания приборов запишите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты опыта короткого замыкания

Измерить					Вычислить					
$U_{1к},$ <i>B</i>	$I_{1к},$ <i>A</i>	$P_{1к},$ <i>Bm</i>	$I_{2к},$ <i>A</i>	$U_{2к},$ <i>B</i>	$\cos\varphi_k$	$P_k,$ <i>Bm</i>	$Z_k,$ <i>Om</i>	$Z_{k75},$ <i>Om</i>	$R_k,$ <i>Om</i>	$X_k,$ <i>Om</i>

В таблице 2 приведено:

$U_{1к}, U_{2к}$ – напряжения на зажимах, соответственно первичной и вторичной цепей, В;

$I_{1к}, I_{2к}$ – сила тока в первичной и вторичной цепях, А;

$P_{1к} = P_k$ – активная мощность, потребляемая трансформатором из сети в опыте короткого замыкания, номинальные потери с меди, Вт;

$\cos\varphi_k$ – коэффициент мощности;

Z_k – полное сопротивление короткого замыкания, параметр схемы замещения трансформатора, Ом;

Z_{k75} – полное сопротивление короткого замыкания, параметр схемы замещения трансформатора приведенный к 75 °С, Ом;

R_k – активное сопротивление короткого замыкания, параметр схемы замещения трансформатора, Ом;

X_k – реактивное сопротивление короткого замыкания, параметр схемы замещения трансформатора, Ом.

1.5 Обработка результатов, выводы

1.5.1 По данным таблицы 1.1 определить коэффициент трансформации (k).

Коэффициент трансформации определяется как отношение напряжения на зажимах высокой стороны к напряжению на зажимах низкой стороны в режиме холостого хода.

$$k = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$$

1.5.2 По данным таблицы 1.1 определить параметры холостого хода схемы замещения трансформатора.

Уравнения для определения параметров холостого хода схемы замещения могут быть получены на основе следующих схем замещения рисунок 1.2 [1].

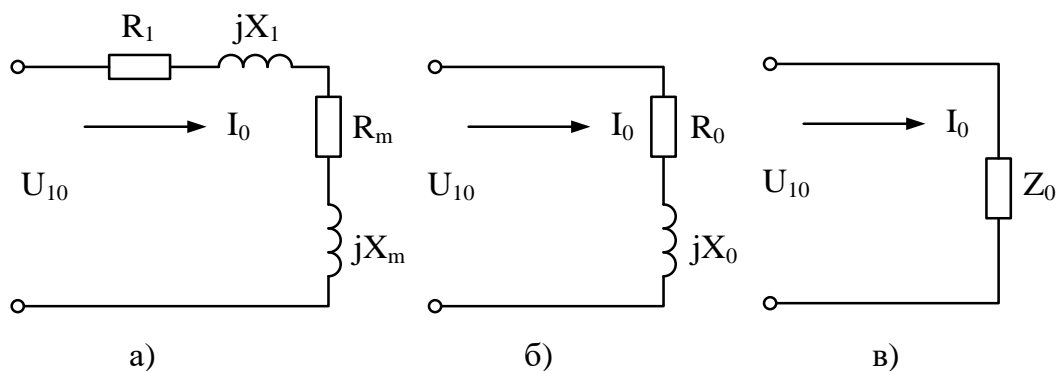


Рисунок 1.2 - Схема замещения трансформатора в опыте холостого хода:

- а) точная схема замещения трансформатора в опыте холостого хода;
- б) расчетная схема замещения трансформатора в опыте холостого хода;
- в) упрощенная схема замещения трансформатора в опыте холостого хода

Из упрощенной схемы замещения находим (рис.1.2. в)

$$Z_0 = \frac{U_{10}}{I_0}, \text{ при этом } Z_0 = R_0 + jX_0.$$

Из рис. 1.2. б, можно определить $R_m = R_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}$.

Значение индуктивного сопротивления определяем по формуле:

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

1.5.3 По данным таблицы 1.2 определить параметры короткого замыкания схемы замещения трансформатора. Уравнения для определения параметров холостого хода схемы замещения могут быть получены на основе следующих схем замещения рисунок 1.3 [1].

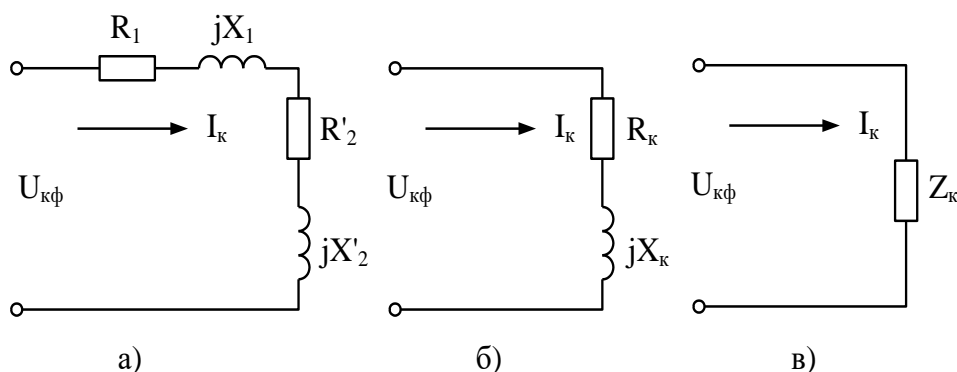


Рисунок 1.3 - Схема замещения трансформатора в опыте короткого замыкания: а) точная схема замещения трансформатора в опыте короткого замыкания; б) расчетная схема замещения трансформатора в опыте короткого замыкания; в) упрощенная схема замещения трансформатора в опыте короткого замыкания

$$I_{\kappa}$$

Из рис. 1.3. б, можно определить $R_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{I_{\kappa}^2}$.

Значение индуктивного сопротивления определяем по формуле:

$$X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2}.$$

Сопротивления короткого замыкания приводятся к температуре 75 °С. С этой целью можно воспользоваться приближенной формулой

$$R_{\kappa 75} = 1,2 \cdot R_{\kappa}.$$

Тогда, с учетом приведения, полное сопротивление будет равно:

$$Z_{\kappa 75} = \sqrt{R_{\kappa 75}^2 + X_{\kappa}^2}.$$

1.5.4 Определить параметры схемы замещения трансформатора и составить схему замещения трансформатора.

Параметры схемы замещения трансформатора определяются по формулам:

$$R_1 = R_2' = \frac{R_{к75}}{2}; \quad X_1 = X_2' = \frac{X_{к}}{2};$$

$$R_{м} = R_0 - R_1; \quad X_{м} = X_0 - X_1.$$

1.5.5 Определить напряжение короткого замыкания трансформатора $u_{к}\%$ по данным таблицы 2.

$$u_{к}\% = \frac{U_{к}}{U_{н}} \cdot 100\%.$$

1.5.6 Используя данные опытов холостого хода и короткого замыкания (табл. 1.1, табл.1.2) и задавшись рядом значений коэффициента нагрузки β , необходимо рассчитать коэффициент полезного действия трансформатора при заданном значении коэффициента мощности. Результаты расчетов свести в таблицу 1.3.

Коэффициент полезного действия трансформатора для любой нагрузки определяется по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 \cdot P_{кн}}{\beta \cdot S_{н} \cdot \cos \varphi_{н} + P_0 + \beta^2 \cdot P_{кн}},$$

где β – коэффициент нагрузки трансформатора;

$S_{н}$ – номинальная полная мощность трансформатора, ВА.

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1н}}.$$

Таблица 1.3 – Результаты расчетов

β			,05	,1	,25	,5	,75	,0	,25
	$\cos \varphi = 1$								
	$\cos \varphi = 0,8$								

1.5.7 Построить зависимость $\eta = f(\beta)$ по расчетным данным (табл. 1.3).

1.6 Содержание отчета

1.6.1 Наименование лабораторной работы.

1.6.2 Учебная цель лабораторной работы.

1.6.3 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки.

1.6.4 Экспериментальные данные таблица 1.1.

1.6.5 Экспериментальные данные таблица 1.2.

1.6.6 Схема замещения трансформатора.

1.6.7 Расчетные данные коэффициент полезного действия трансформатора таблица 1.3.

1.6.8 Графики зависимостей $\eta = f(\beta)$.

1.6.9 Выводы.

1.7 Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение, устройство и принцип действия трансформатора.

2. Что такое коэффициент трансформации?

3. Объясните методику проведения опыта холостого хода.

4. Привести и объяснить схему замещения трансформатора в режиме холостого хода.

5. Чем обусловлена необходимость проведения опытов холостого хода и короткого замыкания при испытаниях силовых трансформаторов?

6. Объясните методику проведения опыта короткого замыкания.

7. Привести и объяснить схему замещения трансформатора в опыте короткого замыкания.

8. Дать понятие напряжения короткого замыкания трансформатора и пояснить его важность для практики.

9. Почему мощность, потребляемую из сети в режиме холостого хода, принимают за магнитные потери.

10. Почему мощность, потребляемую из сети в режиме короткого замыкания, принимают за электрические потери?

11. Какие потери для трансформатора считаются постоянными, а какие –

12. переменными?

13. Дать понятие о коэффициенте полезного действия и коэффициенте

14. мощности трансформатора. Сопоставить эти коэффициенты.

15. Привести и объяснить методику определения параметров схемы замещения.

16. Привести и объяснить схему замещения трансформатора.

1.8 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.

2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.

3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА»

2.1 Цель работы: освоить практические методы проведения опытов под нагрузкой; построение внешней и рабочих характеристик трансформатора.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

2.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задание для домашней подготовки:

2.2.1 Подготовить теоретический материал по теме «Однофазные трансформаторы» [1, 2, 3].

2.2.2 Составить схему электрическую принципиальную экспериментальной установки, подготовить таблицы для записи показаний приборов, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

Описание схемы электрической принципиальной.

Схема электрическая принципиальная состоит из однофазного трансформатора (T); нагрузочного реостата ($R2$); лабораторного автотрансформатора (AT); электроизмерительных приборов: для измерения силы тока в первичной цепи – амперметр ($pA1$), для измерения силы тока во вторичной цепи – амперметр ($pA2$); для измерения напряжения на зажимах первичной цепи – вольтметр ($pV1$), для измерения напряжения на зажимах вторичной цепи – вольтметр ($pV2$); для измерения активной мощности, которую потребляет трансформатор из сети – ваттметр (pW). Для коммутации электрической цепи предусмотрены однополюсные переключатели: $SI.1$ – для включения трансформатора на пониженное напряжение в опыте короткого замыкания; $SI.2$ – для замыкания на коротко вторичной цепи в опыте короткого замыкания; $S2$ – для размыкания вторичной цепи в опыте холостого хода. Для включения установки предусмотрен автоматический выключатель (QF).

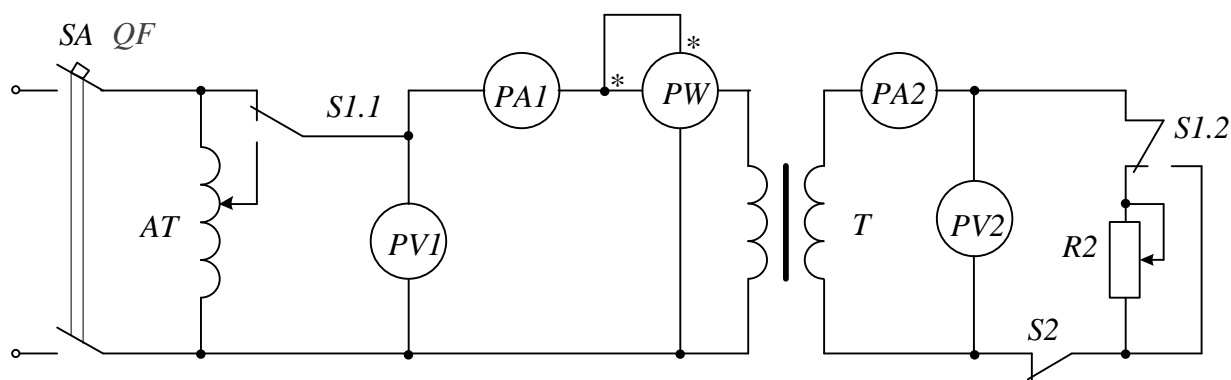


Рисунок 2.1 – Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки

2.3 Учебное оборудования

Для выполнения лабораторной работы используется стенд «Исследование трансформаторов».

2.4 Экспериментальные исследования

2.4.1 Ознакомьтесь с устройством испытуемого трансформатора и запишите его паспортные данные, определите цену делений измерительных приборов, используемых в опытах.

2.4.2 *Исследование трансформатора под нагрузкой.* Для этого замкните переключатель **S2**, подайте питание на схему, замкнув автоматический выключатель **QF**. Установите номинальное напряжение на зажимах первичной цепи ($U_1 = U_{1н}$).

2.4.3 Затем трансформатор загружайте реостатом **R2**, постепенно меняя ток I_2 от 0 до $I_{2н}$.

2.3.4 Результаты опытов (5... 6 точек) заносите в таблицу 2.1.

Таблица 2.1– Результаты опыта под нагрузкой

Измерить					Вычислить				
U_1, B	I_1, A	$P_1, Вт$	I_2, A	U_2, B	$\cos\varphi_1$	$P_2, Вт$	ΔU	β	η

В таблице 1 приведено:

U_1, U_2 – напряжения на зажимах, соответственно первичной и вторичной цепей, В;

I_1, I_2 – сила тока соответственно в первичной и вторичной цепях, А;

P_1, P_2 – активная мощность, потребляемая трансформатором соответственно, первичной и вторичной цепями, Вт;

ΔU – изменение напряжения вторичной обмотки;

$\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности первичной цепи;

β – коэффициент нагрузки;

η – коэффициент полезного действия.

2.5 Обработка результатов, выводы

2.5.1 По экспериментальным данным таблицы 2.1 определите: коэффициент мощности первичной цепи ($\cos\varphi_1$), коэффициент нагрузки (β), коэффициент полезного действия (η), активную мощность, потребляемую нагрузкой (P_2) изменение напряжения вторичной обмотки (ΔU). Данные расчетов запишите в таблицу 2.1.

2.5.2 По данным таблицы 2.1 постройте характеристики: $\cos\varphi_1 = f(\beta)$; $\eta = f(\beta)$; $I_1 = f(\beta)$; $U_2 = f(\beta)$.

2.6 Содержание отчета

2.6.1 Наименование лабораторной работы.

2.6.2 Учебная цель лабораторной работы.

2.6.3 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки.

2.6.4 Экспериментальные данные таблица 2.1.

2.6.5 Графики зависимостей $\cos\varphi_1 = f(\beta)$; $\eta = f(\beta)$; $I_1 = f(\beta)$; $U_2 = f(\beta)$.

2.6.6 Выводы.

2.7 Контрольные вопросы

1. Поясните, что значит режим нагрузки силового трансформатора?

2. Дать определение номинальному режиму нагрузки силового трансформатора.

3. Привести номинальные величины, которые указываются в паспорте силового трансформатора.

4. Как определить номинальный ток обмоток трансформатора по паспортным данным?

5. Привести графические зависимости, которые называются рабочими характеристиками силового трансформатора.
6. Привести и пояснить вид внешней характеристик трансформатора при различных характерах нагрузки.
7. Пояснить, что называется изменением вторичного напряжения силовых трансформаторов? Как определяется эта величина?
8. Пояснить, какое напряжение принимается за номинальное вторичной обмотки силового трансформатора?
9. Пояснить условия получения максимального КПД трансформатора.
10. Пояснить, почему при изменении тока нагрузки вторичной цепи силового трансформатора изменяется величина тока первичной обмотки трансформатора.
11. Поясните методику проведения опыта нагрузки силового трансформатора.

2.8 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.
2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.
3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ВИТКОВ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ»

3.1 Цель работы: изучить методику определения энергетических показателей и числа витков обмоток трансформатора по паспортным данным.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

3.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задание для домашней подготовки:

3.2.1 Подготовить теоретический материал по литературе [1. с. 244-261; 2. с. 98-100; 3. с. 128 - 131], относящийся к конструкции силового трансформатора. Рассмотреть основные конструктивные элементы трансформатора: магнитопровод; обмотки высокого напряжения; обмотки низкого напряжения; кожух (бак); систему охлаждения; изоляторы; газовое реле; регулятор напряжения; расширительный бак.

3.2.2 Подготовить теоретический материал по литературе [1. с. 240-244; 2. с. 96-98; 3. с. 127 - 128], относящийся к принципу действия силового трансформатора.

3.2.3 Изучить по рекомендованной литературе [1. с. 300–301; 2. с. 113–114; 3. с. 151 - 153] методику определения номинальных токов первичной и вторичной обмоток, номинального значения КПД, активную и реактивную мощность, потребляемую трансформатором при заданных коэффициентах мощности, суммарные потери мощности.

3.2.4 Ответить на контрольные вопросы.

3.2.5 Подготовить материал для оформления отчета по лабораторной работе.

3.3 Программа работы

3.3.1 Выберите для заданного варианта паспортные данные для силового трансформатора, таблица 3.1.

Таблица 3.1– Паспортные данные силовых трансформаторов

№ вар.	Тип трансформатора	f , Гц	S_n , кВА	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	Схема группа соединен.	Потери, Вт		$u_k\%$, %	$i_{0\%}$, %	d , м
							P_o	$P_{кн}$			
1	ТСВ 1,5	50	1,5	220	133	Δ / Δ	130	230	5,45	21,0	0,04
2	ТСВ 2,5	50	2,5	220	133	Δ / Δ	135	250	3,78	17,7	0,04
3	ТСЗ 4,0	50	4,0	380	230	Y/Y-0	175	380	3,13	14,6	0,06
4	ТСЗ 6,3	400	6,3	380	133	Y/ Δ	190	540	4,22	9,5	0,06
5	ТСЗ 6,3	400	6,3	380	230	Y/Y-0	170	430	4,25	9,54	0,06
6	ТСВ 10	50	10,0	220	133	Δ / Δ	230	450	2,55	9,98	0,09
7	ТСВ 16	50	16,0	220	133	Δ / Δ	365	570	2,76	13,7	0,1

8	ТСВ 16	400	16,0	220	133	Δ / Δ	365	570	2,76	13,7	0,1
9	ТМ 160/10	50	160	10	0,4	Y/Y-0	510	2650	4,5	2,4	0,16
10	ТМ 160/10	50	160	10	0,69	Δ/Y	565	3100	4,5	2,4	0,16
11	ТМ 250/10	50	250	10	0,4	Y/Y	740	3700	4,5	2,3	0,16
12	ТМ 250/35	50	250	35	0,4	Y/Y	900	3700	6,5	2,3	0,18
13	ТМ 400/10	50	400	10	0,4	Y/Y	950	5500	4,5	2,1	0,18
14	ТМ 400/10	50	400	10	0,69	Δ/Y	1050	5900	4,5	2,1	0,18
15	ТСЗ 40	400	40,0	380	230	Y/Y	370	630	3,39	10,5	0,11

3.3.2 По паспортным данным силового трансформатора определить:

– номинальные токи в обмотках высокого и низкого напряжений;

– значения активной и реактивной мощности, потребляемые из сети при номинальной нагрузке и коэффициенте мощности $\cos \varphi_n = 0,8$ [1. с. 300 – 301];

– силу тока холостого хода трансформатора в амперах [1. с. 294];

– напряжение короткого замыкания трансформатора в вольтах [1. с. 295];

– суммарные потери активной мощности при номинальной нагрузке [1. с. 308].

3.3.3 Используя данные таблицы 3.2 определить величину основного магнитного потока.

Таблица 3.2 – Значения магнитной индукции в магнитопроводе трансформаторов

Марка стали	Мощность трансформатора S_n , кВА	
	25 – 100	160 – 630
3413, 3414	1,5 – 1,6 Тл	1,6 – 1,7 Тл

3.3.4 Определить число витков обмоток высокого и низкого напряжений, приняв, что $E_{1нф} = U_{1нф}$ и $E_{2нф} = U_{2нф}$ [1. с. 298].

3.3.5 Определить коэффициент трансформации.

3.4 Теоретический материал

Номинальный ток в обмотках высокого и низкого напряжения определяется из уравнения полной мощности:

$$S_H = 3 \cdot U_{Нф} \cdot I_{Нф};$$

$$S_H = \sqrt{3} \cdot U_{Нл} \cdot I_{Нл}.$$

Значения активных и реактивных мощностей, потребляемых из сети, при номинальной нагрузке и заданном коэффициенте мощности определяются по уравнениям:

$$P_H = S_H \cdot \cos \varphi;$$

$$Q_H = S_H \cdot \sin \varphi.$$

Сила тока холостого хода трансформатора определяется из уравнения:

$$i_{0\%} = \frac{I_0}{I_H} \cdot 100\%.$$

Напряжение короткого замыкания трансформатора определяется из уравнения:

$$u_{к\%} = \frac{U_K}{U_H} \cdot 100\%.$$

Суммарные потери активной мощности при номинальной нагрузке определяются по уравнению:

$$\sum \Delta P = P_0 + P_{кн}.$$

Число витков обмоток высокого и низкого напряжений определяется из уравнений:

$$E_{1H} = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_m;$$

$$E_{2H} = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_m,$$

где f – циклическая частота сети, Гц;

w_1, w_2 – число витков соответственно первичной и вторичной обмоток;

Φ_m – амплитудное значение магнитного потока, Вб.

Магнитный поток равен

$$\Phi_m = B \cdot S,$$

где B – магнитная индукция в магнитопроводе трансформатора, Тл;

S – площадь поперечного сечения стержней магнитопровода, м².

Площадь поперечного сечения стержней магнитопровода равна

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 0,92.$$

3.5 Содержание отчета

3.5.1 Наименование лабораторной работы.

3.5.2 Учебная цель лабораторной работы.

3.5.3 Конструктивная схема трансформатора.

3.5.4 Структуру условных обозначений трансформатора.

3.5.5 Технические характеристики трансформатора.

3.5.6 Расчет технических показателей трансформатора.

3.5.7 Выводы.

3.6 Контрольные вопросы

1. В чём суть явления электромагнитной индукции?
2. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
3. Запишите математически и расшифруйте закон электромагнитной индукции.
4. Какая электрическая машина называется трансформаторами?
Классификация трансформаторов.
5. Составьте и опишите конструктивную схему силового трансформатора.

6. Назовите режимы работы силового трансформатора.
7. Характеристика номинального режима.
8. Как определить номинальную силу тока по паспортным данным силового трансформатора?
9. Как определить активную и реактивную мощности силового трансформатора?
10. Как определить суммарные потери активной мощности силового трансформатора?
11. Составьте энергетическую диаграмму силового трансформатора с расшифровкой буквенных обозначений.
12. Запишите и расшифруйте уравнение электрических потерь.
13. Запишите и расшифруйте уравнение потерь в магнитопроводе.
14. Как определить коэффициент полезного действия силового трансформатора?

3.7 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.
2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.
3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«ИСПЫТАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА»

4.1 Цель работы: освоить практические методы проведения опытов холостого хода (ХХ), короткого замыкания (КЗ) и под нагрузкой, а также использования опытных данных для получения параметров трансформатора и основных характеристик.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

4.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задание для домашней подготовки

4.2.1 Во время домашней подготовки уяснить цель лабораторной работы, изучить теоретический материал по теме «Силовые трансформаторы» [1, 2, 3]. Составить схему электрическую принципиальную исследуемой цепи, подготовить таблицы для записи показаний приборов, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

4.2.2 Составьте схему электрическую принципиальную.

Описание схемы электрической принципиальной (рис. 4.1).

Схема электрическая принципиальная состоит из трехфазного трансформатора ТСТ-0,25/380-140 (T); нагрузочных реостатов ($R1, R2, R3$); электроизмерительных приборов: для измерения силы тока в первичной цепи – амперметр ($pA1$), для измерения силы тока во вторичной цепи – амперметр ($pA2$); для измерения напряжения на зажимах первичной цепи – вольтметр ($pV1$), для измерения напряжения на зажимах вторичной цепи – вольтметр ($pV2$); для измерения активной мощности, которую потребляет трансформатор из сети – ваттметр (pW). Для коммутации электрической цепи предусмотрены однополюсные переключатели: $S1, S2, S3$. Для включения установки предусмотрен автоматический выключатель (QF).

4.3 Учебное оборудования

Для выполнения лабораторной работы используется стенд «Исследование трехфазного трансформатора».

4.4 Экспериментальное исследование

4.4.1 Проверьте работоспособность экспериментальной установки.

4.4.2 Замкните автоматический выключатель QF , установите номинальное напряжение на зажимах первичной цепи ($U_1 = U_{1н}$).

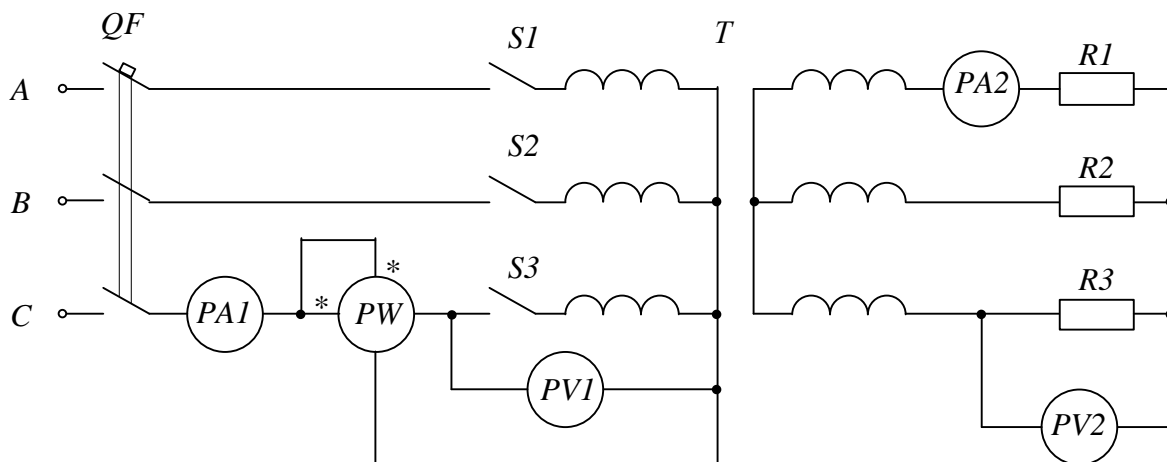


Рисунок 4.1 – Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки

4.4.3 Затем трансформатор равномерно, по фазам, загружайте реостатами ***R1, R2, R3***, постепенно меняя ток I_2 от 0 до $I_{2н}$.

4.4.4 Результаты опытов (5... 6 точек) заносите в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты опытов

Режим работы	Измерить					Вычислить					
	U_{C1} , <i>B</i>	U_{C2} , <i>B</i>	I_{C1} , <i>A</i>	I_{a2} , <i>A</i>	P_1 , <i>B</i> <i>m</i>	U_{AC} , <i>B</i>	U_{ac} , <i>B</i>	P_2 , <i>Bm</i>	$\cos\varphi_1$	β	η

В таблице приведено:

U_{C1}, U_{C2} – напряжения на зажимах фазы «С», соответственно первичной и вторичной цепей, *B*;

I_{C1}, I_{a2} – сила тока в фазах соответственно в первичной и вторичной цепях, *A*;

P_1, P_2 – активная мощность, потребляемая трансформатором соответственно, первичной и вторичной цепями, *Вт*;

U_{AC}, U_{ac} – линейные напряжения соответственно первичной и вторичной цепей, *B*;

$\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности первичной цепи;

β – коэффициент нагрузки;

η – коэффициент полезного действия.

4.5 Обработка результатов, выводы

4.5.1 По экспериментальным данным таблицы 4.1 определите: линейные напряжения (U_{AC}, U_{ac}), коэффициент мощности первичной цепи ($\cos\varphi_1$), коэффициент нагрузки (β), коэффициент полезного действия (η),

активную мощность, потребляемую нагрузкой (P_2). Данные расчетов запишите в таблицу 4.1.

4.5.2 По данным таблицы 4.1 постройте рабочие характеристики: $\cos\varphi_1 = f(\beta)$; $\eta = f(\beta)$; $I_1 = f(\beta)$; $U_2 = f(\beta)$.

4.6 Содержание отчета

4.6.1 Наименование лабораторной работы.

4.6.2 Учебная цель лабораторной работы.

4.6.3 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки.

4.6.4 Экспериментальные данные таблица 2.1.

4.6.5 Графики зависимостей $\cos\varphi_1 = f(\beta)$; $\eta = f(\beta)$; $I_1 = f(\beta)$; $U_2 = f(\beta)$.

4.4.6 Выводы.

4.7 Контрольные вопросы

1. Поясните, что значит режим нагрузки силового трансформатора?

2. Дать определение номинальному режиму нагрузки силового трансформатора.

3. Привести номинальные величины, которые указываются в паспорте силового трансформатора.

4. Как определить номинальный ток обмоток трансформатора по паспортным данным?

5. Привести графические зависимости, которые называются рабочими характеристиками силового трансформатора.

6. Привести и пояснить вид внешней характеристик трансформатора при различных характерах нагрузки.

7. Пояснить, что называется изменением вторичного напряжения силовых трансформаторов? Как определяется эта величина?

8. Пояснити, какое напряжение принимается за номинальное вторичной обмотки силового трансформатора?
9. Пояснити условия получения максимального КПД трансформатора.
10. Пояснити, почему при изменении тока нагрузки вторичной цепи силового трансформатора изменяется величина тока первичной обмотки трансформатора.
11. Поясните методику проведения опыта нагрузки силового трансформатора.

4.8 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.
2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.
3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

«ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ»

5.1 Цель работы: освоить методики проведения опыта холостого хода (х.х.) и анализа опытных данных.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

5.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задание для домашней подготовки:

5.2.1 Во время домашней подготовки уяснить цель лабораторной работы, изучить теоретический материал по теме «Асинхронные электродвигатели» [1, 2, 3]. Составить схему электрическую принципиальную исследуемой цепи, подготовить таблицы для записи показаний приборов, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

5.2.2 Составьте схему электрическую принципиальную.

Описание схемы электрической принципиальной (рис. 5.1).

Схема электрическая принципиальная состоит из асинхронного электродвигателя (*АД*) и механически связанного с ним генератора постоянного тока (*ГПТ*), который предназначен для создания момента нагрузки на валу АД; электроизмерительных приборов: для измерения силы тока в фазе АД – амперметр (*рА1*); для измерения линейного напряжения АД – вольтметр (*рV1*); для измерения активной мощности, которую потребляет асинхронный двигатель из сети – ваттметр (*рW*); для измерения частоты вращения АД – тахогенератор (*BR*); для измерения силы тока в цепи нагрузки ГПТ – амперметр (*рА2*); для измерения напряжения на зажимах генератора постоянного тока – вольтметр (*рV3*). Для создания момента сопротивления предусмотрен рамповый реостат (*HL1-HL5*), который включается выключателями (*S1-S5*).

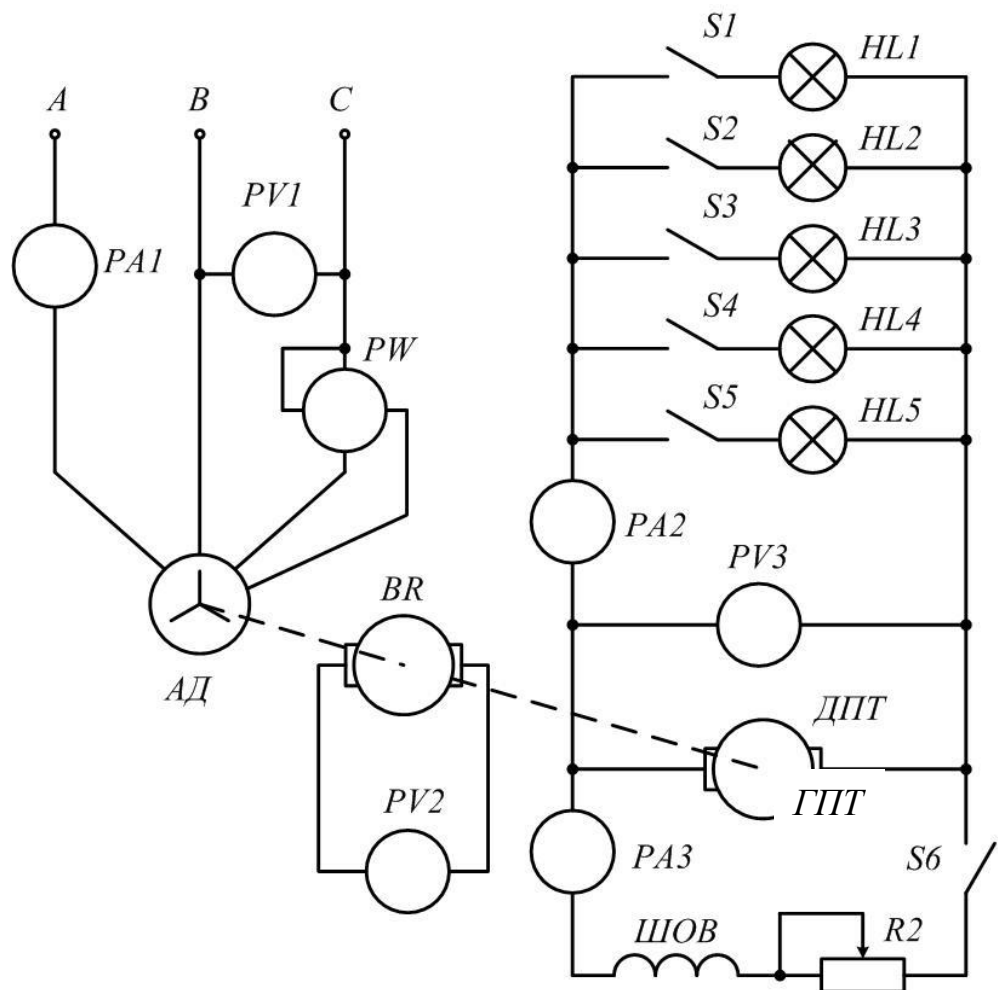


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема лабораторной установки

5.3 Учебное оборудования

Для выполнения лабораторной работы используется стенд «Исследование асинхронного двигателя».

5.4 Экспериментальное исследование

5.4.1 Проверьте работоспособность экспериментальной установки.

5.4.2 Проведите опыт холостого хода. Опыт проводится без нагрузки на валу (выключатели *SI-S5* выключены). Замкните автоматический выключатель *QF*, установите номинальное напряжение на зажимах асинхронного двигателя ($U_1 = U_{1н}$).

5.4.3 Запишите показания приборов в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты опыта холостого хода

Измерено				Вычислено				
U_{BC}, B	I_A, A	$P_C, Вт$	$n_0, об/мин$	U_{10}, B	I_{10}, A	$P_{10}, Вт$	$\cos\varphi_0$	$M_0, Нм$

В таблице обозначено:

U_{10} – значение линейного напряжения холостого хода, *B*;

I_{10} – значение фазного (линейного) тока холостого хода, *A*;

P_{10} – мощность трехфазного холостого ходу АД, *Вт*;

$\cos\varphi_0$ – коэффициент мощности АД при холостом ходе;

n_0 – частота вращения АД на холостом ходу, при номинальном напряжении, *об/мин*;

M_0 – момент АД на холостом ходу, *Нм*.

5.5 Обработка результатов, выводы

5.5.1 По экспериментальным данным таблицы 5.1 определите параметры схемы замещения при холостом ходе АД.

Параметрами холостого хода АД называются активное R_0 , индуктивное X_0 и полное сопротивление Z_0 АД при холостом ходе.

Полное сопротивление $Z_0 = \frac{U_{10}}{I_{10}}$;

$$Z_0 = \frac{U_{10}}{I_{10}}; \quad R_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}.$$

5.5.2 Рассчитайте значение момента при холостом ходе.

Момент при холостом ходе определяем по формуле:

$$M_0 = \frac{P_{10}}{\omega_0},$$

где ω_0 – угловая скорость вращения АД, рад/с.

Угловая скорость вращения АД равна

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}.$$

5.5.3 Для оценки электромагнитных данных АД, определите:

– Отношение тока холостого хода к номинальному току ($I_{0\%}$).

$$I_{0\%} = \frac{I_{10}}{I_{1н}} \cdot 100.$$

Номинальное значение тока определяется по паспортным данным АД.

$$I_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \eta_{н} \cdot \cos\varphi_{н}}.$$

– Определите отношение активной мощности при холостом ходе к номинальной мощности ($P_{0\%}$).

$$P_{0\%} = \frac{P_{10}}{P_{н}} \cdot 100.$$

Номинальное значение активной мощности определяется по паспортным данным АД.

– Определите отношение момента при холостом ходе к номинальному моменту ($M_{0\%}$).

$$M_{0\%} = \frac{M_0}{M_n} \cdot 100.$$

Номинальное значение момента определяется по паспортным данным АД.

$$M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n}; \quad \omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}.$$

5.6 Содержание отчета

5.6.1 Наименование лабораторной работы.

5.6.2 Учебная цель лабораторной работы.

5.6.3 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки.

5.6.4 Паспортные данные исследуемого АД.

5.6.5 Экспериментальные и расчетные данные таблица 5.1.

5.6.6 Значения параметров схемы замещения АД при холостом ходе.

5.6.7 Значения $I_{0\%}$, $P_{0\%}$, $M_{0\%}$.

5.6.8 Выводы.

5.7 Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы конструкции АД короткозамкнутым ротором.

2. Объясните принцип действия АД.

3. Привести номинальные величины, которые указываются в паспорте АД.

4. Как определить номинальный ток АД по паспортным данным?

5. Что такое скольжение асинхронного двигателя и от чего оно зависит?

6. Как создается вращающий момент на валу асинхронного двигателя?
7. Как определяются и как маркируются начала и концы катушек обмотки статора?
8. Как производится реверсирование асинхронного двигателя?
9. Чем отличается короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя от фазного?
10. Определить скорость вращения магнитного поля статора и скорость вращения ротора, если частота тока $f = 50$ Гц, число пар полюсов $p = 2$, номинальное скольжение $S_n = 5\%$.
11. Магнитное поле статора асинхронного двигателя вращается с частотой $n = 1500$ об/мин. Номинальное скольжение $S = 5\%$. Определить частоту вращения ротора.
12. Асинхронный двигатель с номинальной частотой вращения ротора $n = 980$ об/мин работает при номинальной частоте сети $f = 50$ Гц. Определить число пар полюсов статора и номинальное скольжение.
13. Асинхронный двигатель включен в трехфазную сеть с линейным напряжением $U = 380$ В. Потребляемая мощность двигателя 30 кВт, $\cos\phi = 0,87$. Определить потребляемый двигателем ток при соединении обмотки статора по схеме "звезда".
14. Трехфазный асинхронный двигатель с мощностью на валу 4 кВт включен в сеть с напряжением 380/220 В. Определить фазные токи в обмотках статора, соединенных по схеме "треугольник", если к.п.д. двигателя $\eta = 0,68$, а $\cos\phi = 0,8$.
15. Поясните методику проведения опыта холостого хода.

5.8 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.
2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.
3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

«ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ»

6.1 Цель работы: освоить методики проведения опыта короткого замыкания (к.з.) и анализа опытных данных.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

6.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задание для домашней подготовки:

6.2.1 Во время домашней подготовки уяснить цель лабораторной работы, изучить теоретический материал по теме «Асинхронные электродвигатели» [1, 2, 3]. Составить схему электрическую принципиальную исследуемой цепи, подготовить таблицы для записи показаний приборов, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

6.2.2 Составьте схему электрическую принципиальную.

Описание схемы электрической принципиальной (рис. 6.1).

Схема электрическая принципиальная состоит из асинхронного электродвигателя (*АД*) и механически связанного с ним генератора постоянного тока (*ГПТ*), который предназначен для создания момента нагрузки на валу АД; электроизмерительных приборов: для измерения силы тока в фазе АД – амперметр (*pA1*); для измерения линейного напряжения АД – вольтметр (*pV1*); для измерения активной мощности, которую потребляет асинхронный двигатель из сети – ваттметр (*pW*); для измерения частоты вращения АД – тахогенератор (*BR*); для измерения силы тока в цепи нагрузки ГПТ – амперметр (*pA2*); для измерения напряжения на зажимах генератора постоянного тока – вольтметр (*pV3*). Для создания момента сопротивления предусмотрен рамповый реостат (*HL1-HL5*), который включается выключателями (*S1-S5*).

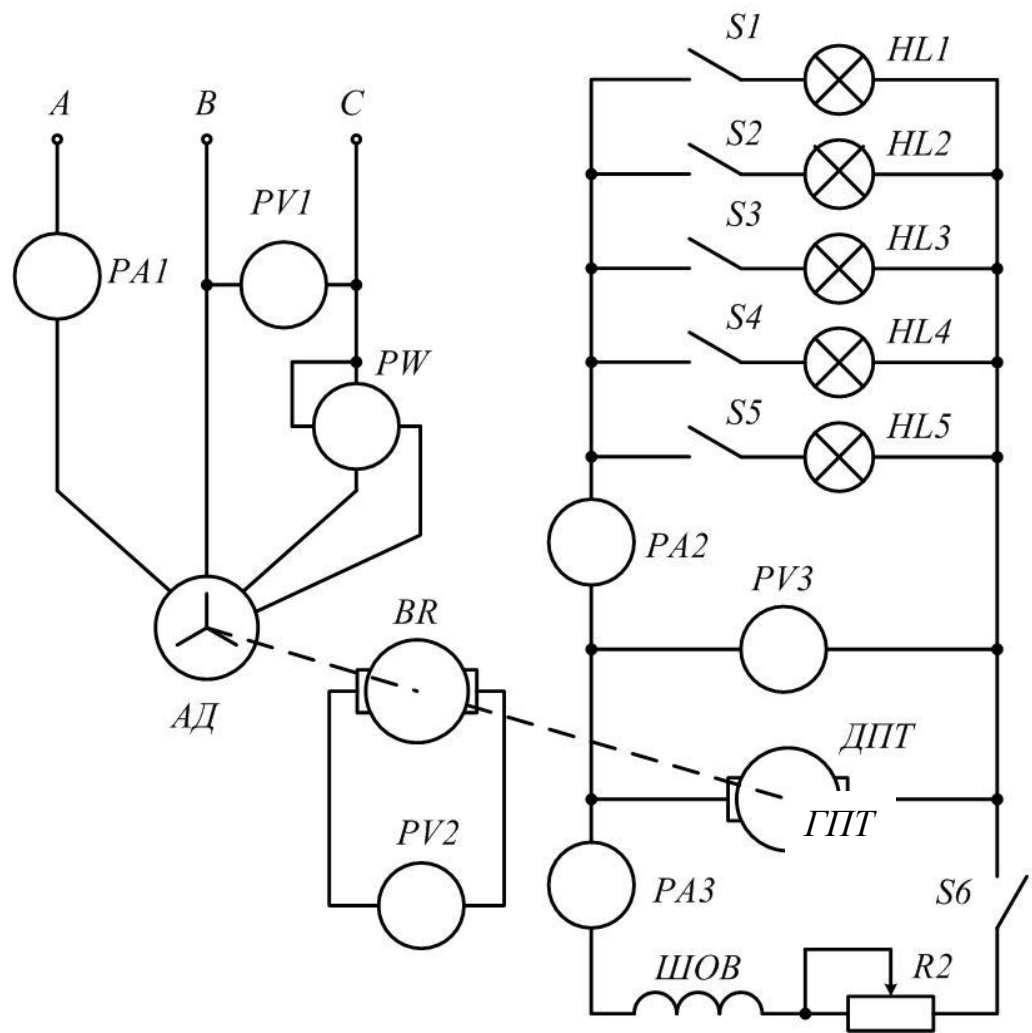


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема лабораторной установки

6.3 Учебное оборудования

Для выполнения лабораторной работы используется стенд «Исследование асинхронного двигателя».

6.4 Экспериментальное исследование

6.4.1 Проверьте работоспособность экспериментальной установки.

6.4.2 Проведите опыт короткого замыкания. Опыт проводится при неподвижном (заторможенном) роторе. Замкните автоматический выключатель QF , установите пониженное напряжение, при котором ток статора равен номинальному значению ($I_k = I_{1н}$).

6.4.3 Запишите показания приборов в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты опыта короткого замыкания

Измерено			Вычислено			
U_{BC}, B	I_A, A	$P_C, Вт$	$U_{1к}, B$	$I_{1к}, A$	$P_{1к}, Вт$	$\cos \varphi_k$

В таблице обозначено:

$U_{1к}$ – значение линейного напряжения короткого замыкания, B ;

$I_{1к}$ – значение фазного (линейного) тока короткого замыкания, A ;

$P_{1к}$ – мощность трехфазного короткого замыкания АД, $Вт$;

$\cos \varphi_k$ – коэффициент мощности АД при коротком замыкании.

6.5 Обработка результатов, выводы

6.5.2 По экспериментальным данным таблицы 6.1 определите параметры схемы замещения при коротком замыкании АД.

Параметрами короткого замыкания АД называются активное R_k , индуктивное X_k и полное сопротивление Z_k АД при холостом ходе.

Полное сопротивление $Z_k = \frac{U_{1к}}{I_{1к}}$;

$$Z_k = \frac{U_{1к}}{I_{1к}}; \quad R_k = \frac{P_{1к}}{3I_{1к}^2}; \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}.$$

6.6 Содержание отчета

6.6.1 Наименование лабораторной работы.

6.6.2 Учебная цель лабораторной работы.

6.6.3 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки.

6.6.4 Паспортные данные исследуемого АД.

6.6.5 Экспериментальные и расчетные данные таблицы 6.1.

6.4.6 Значения параметров схемы замещения АД при коротком замыкании.

6.4.7 Выводы.

6.7 Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы конструкции АД короткозамкнутым ротором.

2. Объясните принцип действия АД.

3. Привести номинальные величины, которые указываются в паспорте АД.

4. Как определить номинальный ток АД по паспортным данным?

5. Что такое скольжение асинхронного двигателя и от чего оно зависит?

6. Как создается вращающий момент на валу асинхронного двигателя?

7. Как определяются и как маркируются начала и концы катушек обмотки статора?

8. Какими сопротивлениями характеризуются параметры короткого замыкания?

9. Как определяется активная мощность электрических потерь?

10. Определить скорость вращения магнитного поля статора и скорость вращения ротора, если частота тока $f = 50$ Гц, число пар полюсов $p = 4$, номинальное скольжение $S_n = 5\%$.

11. Магнитное поле статора асинхронного двигателя вращается с частотой $n = 3000$ об/мин. Номинальное скольжение $S = 5\%$. Определить частоту вращения ротора.

12. Асинхронный двигатель с номинальной частотой вращения ротора

$n = 950$ об/мин работает при номинальной частоте сети $f = 50$ Гц.

Определить число пар полюсов статора и номинальное скольжение.

13. Как определить номинальный ток АД по паспортным данным?

14. Как определить номинальный момент АД по паспортным данными?

15. Поясните методику проведения опыта короткого замыкания.

6.8 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.

2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.

3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

«ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКО-ЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В РЕЖИМЕ НАГРУЗКИ»

7.1 Цель работы: освоить методики исследования асинхронного двигателя под нагрузкой и анализа опытных данных.

ОПК-2 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности» в части знания устройств, характеристик, режимов работы трансформаторов, СЭМ постоянного и переменного тока, умение производить расчеты СЭМ, трансформаторов (У-1.1), владеть основными методами теоретического анализа и экспериментального исследования трансформатора и СЭМ (В-1.1).

7.2 Задание и методические указания

Методические материалы:

Безменникова Л.Н. Судовые электрические машины. Конспект лекций для курсантов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». / Л.Н. Безменникова. – Керчь: КГМТУ, 2016. – 86с.

Задание для домашней подготовки:

7.2.1 Во время домашней подготовки уяснить цель лабораторной работы, изучить теоретический материал по теме «Асинхронные электродвигатели» [1, 2, 3]. Составить схему электрическую принципиальную исследуемой цепи, подготовить таблицы для записи показаний приборов, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

7.2.2 Составьте схему электрическую принципиальную.

Описание схемы электрической принципиальной (рис. 7.1).

Схема электрическая принципиальная состоит из асинхронного электродвигателя (*АД*) и механически связанного с ним генератора постоянного тока (*ГПТ*), который предназначен для создания момента нагрузки на валу АД; электроизмерительных приборов: для измерения силы тока в фазе АД – амперметр (*рА1*); для измерения линейного напряжения АД – вольтметр (*рV1*); для измерения активной мощности, которую потребляет асинхронный двигатель из сети – ваттметр (*рW*); для измерения частоты вращения АД – тахогенератор (*ВР*); для измерения силы тока в цепи нагрузки ГПТ – амперметр (*рА2*); для измерения напряжения на зажимах генератора постоянного тока – вольтметр (*рV3*). Для создания момента сопротивления предусмотрен рамповый реостат (*HL1-HL5*), который включается выключателями (*S1-S5*).

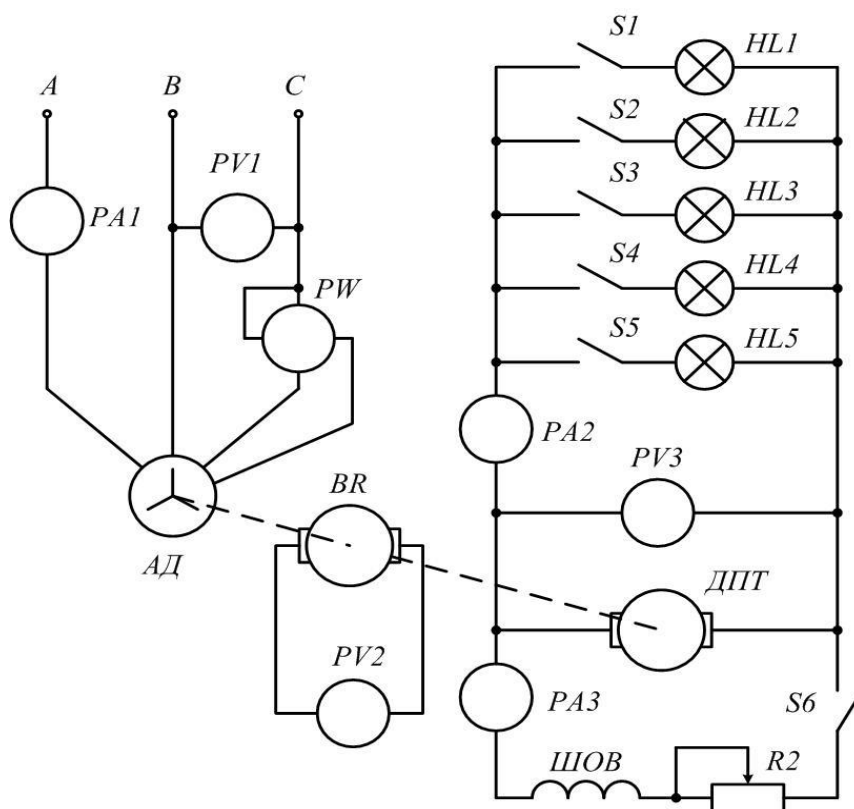


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема лабораторной установки

7.3 Учебное оборудования

Для выполнения лабораторной работы используется стенд «Исследование асинхронного двигателя».

7.4 Экспериментальное исследование

7.4.1 Проверьте работоспособность экспериментальной установки.

7.4.2 Проведите опыт в режиме нагрузки. Опыт проводится при нагрузке на валу. В качестве нагрузки используйте генератор постоянного тока, вал которого механически связан с валом АД.

7.4.3 Первый опыт проводим без нагрузки на валу. Замкните автоматический выключатель *QF*, установите номинальное напряжение на зажимах АД. Запишите показания приборов в таблицу 7.1.

7.4.3 Подайте питание на обмотку возбуждения генератора постоянного тока и установите на его зажимах номинальное напряжение $U_2 = U_{2н}$. Выключателями (*S1-S5*) постепенно, нагружая ГПТ, контролируйте нагрузку на валу асинхронного двигателя по величине тока с *ГПТ*. Нагружайте АД до значения тока статора $I_1 = 1,1I_n$. При этом поддерживайте постоянным ток возбуждения ГПТ.

7.4.4 Запишите показания приборов в таблицу 7.1 для 5 значений нагрузки.

Таблица 7.1– Результаты опыта

Измерено						
АД				ГПТ $I_6 = \underline{\hspace{2cm}} A$		
U_{BC}, B	I_A, A	$P_C, Вт$	$n_2, об/мин$	U_2, B	I_2, A	$P_2, Вт$

В таблице обозначено:

U_{BC} – значение линейного напряжения АД, *B*;

I_A – значение фазного (линейного) тока АД, *A*;

P_C – значение активной мощности, потребляемой из сети фазой АД,
Вт;

n_2 – значение частота вращения АД, *об/мин*;

U_2 – значение напряжения на зажимах ГПТ, *В*;

I_2 – значение тока в обмотке якоря ГПТ, *А*;

P_2 – значение мощности, потребляемой ГПТ из сети, *Вт*.

7.5 Обработка результатов, выводы

7.5.1 По экспериментальным данным таблицы 7.1 определите коэффициент мощности АД в режиме нагрузки. Результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1},$$

где P_1 – активная мощность, потребляемая АД из сети, *Вт*;

U_1 – значение линейного напряжения АД, *В*;

I_1 – значение фазного (линейного) тока АД, *А*.

7.5.2 По экспериментальным данным таблицы 7.1 определите полезную мощность на валу АД в режиме нагрузки. Результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta_2},$$

где η_2 – коэффициент полезного действия генератора постоянного тока, определяется по графику (рис. 7.2).

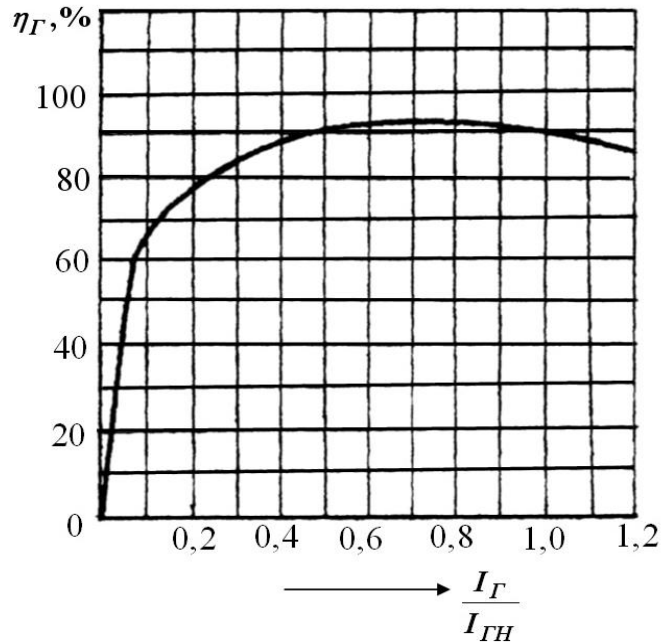


Рисунок 7.2 – График к.п.д. нагрузочного генератора постоянного тока.

Коэффициент полезного действия генератора постоянного тока определяется для различных значений относительного значения тока генератора (I_G / I_{GN}) по кривой рис.7.2. Результаты занесите в таблицу 7.2.

Таблица 7.2– Результаты вычислений

Режимы	Вычислено					
	$\cos\varphi_1$	η_z , о.е	P_2 , Вт	η_d , о.е	M_2 , Нм	M , Нм
х.х.						
Нагрузочный						

7.5.3 Определите коэффициент полезного действия асинхронного двигателя в режиме нагрузки. Результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$\eta_d = \frac{P_2}{P_1}.$$

7.5.4 Определите момент холостого хода АД, результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$M_0 = \frac{P_0}{\omega_0}$$

7.5.5 Определите полезный момент на валу АД в режиме нагрузки, результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2},$$

где ω_2 – угловая скорость АД в режиме нагрузки, *рад/с*.

Угловая скорость АД определяется по формуле:

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30},$$

Где n_2 – значение частота вращения АД в режиме нагрузки, *об/мин*.

7.5.6 Определите вращающий момент на валу АД в режиме нагрузки, результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$M = M_0 + M_2,$$

где M_0 – момент при холостом ходе, *Нм*;

7.5.7 Определите скольжение АД при различных значениях загрузки, результаты расчета занесите в таблицу 7.2.

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100,$$

где n_1 – частота вращения магнитного поля статора, *об/мин*.

Частота вращения магнитного поля статора определяется по формуле:

$$n_1 = \frac{60 f_{1H}}{p}.$$

7.5.8 По данным таблицы 7.2 постройте в одной координатной плоскости рабочие характеристики АД: $P_1, I_1, n_2, M, M_2, \eta, \cos\varphi_1, s = f(P_2)$.

7.6 Содержание отчета

7.6.1 Наименование лабораторной работы.

7.6.2 Учебная цель лабораторной работы.

7.6.3 Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки.

7.6.4 Паспортные данные исследуемого АД.

7.6.5 Экспериментальные и расчетные данные таблица 7.1 и 7.2.

7.6.6 Рабочие характеристики АД: $P_1, I_1, n, M, M_2, \eta, \cos\varphi_{1,s} = f(P_2)$.

6.7.7 Выводы.

7.7 Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия АД.
2. Что такое скольжение асинхронного двигателя и от чего оно зависит?
3. Как создается вращающий момент на валу асинхронного двигателя?
4. Какие режимы работы АД вы знаете?
5. Какой режим называется холостым ходом?
6. Какой режим называется коротким замыканием?
7. Чем отличается режим короткого замыкания от опыта короткого замыкания?
8. Какой режим называется номинальным?
9. Как определить коэффициент мощности АД?
10. Как определить коэффициент полезного действия АД?
11. Как определить полезный момент АД?
12. Как определить вращающий момент АД?
13. Объясните причину увеличения тока статора при увеличении мощности на валу.
14. Поясните методику проведения опыта нагрузки.

15. Что называют рабочими характеристиками АД? Приведите примерный их вид.

7.8 Литература для самоподготовки

1. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник. – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. С. 269 – 296.

2. Мезин Е. К. Судовые электрические машины : учебник / Е. К. Мезин. – Л. : Судостроение, 1985. С. 96 – 104, С. 109 – 114.

3. Белов Д. В. Судовые электрические машины / Д. В. Белов, В. В. Кордюков. – Л. : Судостроение, 1972. С. 127 – 153.

Геннадий Анатольевич Коваленко, Денис Русланович Комиссаров

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Часть 1

Практикум

по выполнению лабораторных работ

для курсантов специальности

26.05.07 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики и направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

очной и заочной форм обучения

Тираж _____ экз. Подписано к печати _____.

Заказ № _____. Объем 2 п.л.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

298309 г. Керчь, Орджоникидзе, 82.