

УТВЕРЖДАЮ
Декан (директор)

_____ А.П. Суржиков
« __ » _____ 2010 г.

Л.И. Аристова, В.И. Курец, А.В.Лукутин, Т.Е. Хохлова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Электротехника и электроника»
часть 2 «Электрические машины»
для студентов неэлектротехнических специальностей

УДК 621.3+621.38(076.5)

ББК 31.2+32.85Я73

A813

Аристова Л.И.

A813 Электротехника и электроника: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника» часть 2 «Электрические машины» для студентов неэлектротехнических специальностей / Л.И. Аристова, В.И. Курец, А.В. Лукутин, Т.Е. Хохлова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 60 с.

УДК 621.3+621.38(076.5)

ББК 31.2+32.85Я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
теоретической и общей электротехники ЭЛТИ
«12» ноября 2009 г.

Зав. кафедрой ТОЭ

кандидат технических наук

_____ *А.В.Лукутин*

Председатель учебно-методической

комиссии

_____ *В.И.Готман*

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры ТОЭ ТПУ

Ю.П.Усов

© ГОУ ВПО Томский политехнический университет, 2010

© Аристова Л.И., Курец В.И.,
Лукутин А.В., Хохлова Т.Е., 2010

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Лабораторная работа №1 ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИ- МЫМ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ	10
2.	Лабораторная работа №2 ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬ- НОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ	19
3.	Лабораторная работа №3 АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУ- ТЫМ РОТОРОМ	26
4.	Лабораторная работа №4 ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗ- НЫМ РОТОРОМ	33
5.	Лабораторная работа №5 СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР	39
6.	Лабораторная работа №6 ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР	47
7.	Лабораторная работа №7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП СОЕДИНЕНИЙ ТРЕХФАЗНО- ГО ТРАНСФОРМАТОРА	53

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО НИМ

Лабораторные занятия являются одним из важнейших элементов учебного процесса. При проведении лабораторных занятий преследуются три основные цели: возможность на практике убедиться в теоретических положениях; развитие творческого мышления (критическое осмысление результатов эксперимента); пробудить любознательность и воображение студента.

Поэтому приобретенные практические навыки при выполнении лабораторных работ не могут быть восстановлены другими видами учебных занятий. Подготовка, выполнению и защите лабораторных работ, обработке и анализу полученных результатов студенты должны уделять самое серьезное внимание.

Все этапы работы, связанные с лабораторными занятиями, должны отвечать определенным требованиям.

I. Предварительная (домашняя) подготовка к выполнению лабораторной работы

Подготовка к выполнению лабораторной работы должна включать в себя следующее:

- повторение соответствующего теоретического раздела курса по учебнику и конспекту лекций;
- тщательное изучение содержания работы по руководству и усвоение ее целевого назначения и программы;
- составление заготовки отчета или конспекта каждым студентом отдельно.

Заготовка отчета должна включать в себя: цель и порядок работы, рабочие схемы, таблицы и основные расчетные соотношения.

II. Получение допуска к работе.

Знакомство в лаборатории с оборудованием стенда и требованиями техники безопасности

К выполнению лабораторных работ могут быть допущены студенты, прошедшие инструктаж по ТБ. Инструктаж проводится в учебной группе в начале семестра на первом лабораторном занятии. На этом же занятии студентов знакомят с основными требованиями, предъявляемыми к выполнению лабораторных работ и оформлению отчетов по ним. На последующих занятиях студенты обязаны придерживаться указаний преподавателя в отношении мер предосторожности, а также целесообразной сборки электрических цепей.

Студенты допускаются к лабораторным занятиям, во-первых, только после представления преподавателю отчета по лабораторной работе, выполненной на предыдущем занятии, во-вторых, после того, как представлены каждым студентом заготовки нового отчета. При этом студенты должны показать удовлетворительные знания при ответах на контрольные вопросы на допуск, составленные к данной лабораторной работе, знать порядок выполнения работы.

Уяснив последовательность эксперимента, усвоив электрическую схему соединения отдельных элементов цепи, студенты записывают паспортные данные электрических машин, аппаратов, измерительных приборов и элементов исследуемой электрической цепи.

III. Сборка электрических цепей, выполняемой лабораторной работы

Сборка электрической цепи должна проводиться в полном соответствии со схемой, приведенной в методических указаниях к выполнению подготовленной лабораторной работы. При этом следует придерживаться правила, гарантирующего большую вероятность безошибочной сборки электрических схем, и заключающегося в том, что сначала собирается токовая цепь, затем к соответствующим точкам цепи подключаются вольтметры, катушки напряжения ваттметров, счетчиков, фазометров и т.д.

В цепях постоянного тока и однофазных цепях переменного тока токовую цепь следует начинать собирать от одного из зажимов источника и соединять элементы схемы в той же последовательности, в которой они расположены на схеме пока цепь не будет подключена к другому зажиму источника.

Собранную цепь следует обязательно показать для проверки преподавателю и только с его разрешения включать ее в сеть. Всякие переключения и изменения в цепи производят при отключенном источнике питания и с разрешения преподавателя.

IV. Проведение лабораторной работы и предварительная обработка полученных результатов

Лабораторная работа проводится в том порядке, какой изложен в методических указаниях. При выполнении работы показания измерительных приборов и результаты исследований записываются в заготовки отчета. Записи следует делать карандашом, так как при проведении эксперимента возможны неверные отсчеты, которые следует уточнить при повторном выполнении эксперимента или его части.

По полученным данным выполняются необходимые расчеты, строятся графики, диаграммы.

Заготовка отчета с данными эксперимента предъявляется преподавателю и по его подписи можно считать, что лабораторная работа проведена. После этого электрическая цепь разбирается, соединительные провода и элементы цепи возвращаются на место.

V. Составление отчета и представление его преподавателю

Окончательный отчет по выполненной лабораторной работе составляется дома во внеучебное время (с тщательным оформлением схем, таблиц, расчетов, графиков и диаграмм) и представляется преподавателю в начале следующего лабораторного занятия.

Отчет по проделанной работе составляет каждый студент. На титульном листе отчета студент должен указать: названия университета и кафедры, полное наименование работы и ее номер в методических указаниях, номер группы и свою фамилию, а также фамилию преподавателя, который этот отчет принимает.

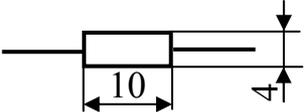
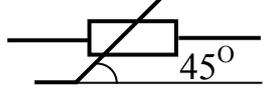
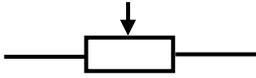
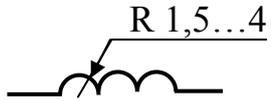
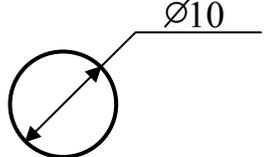
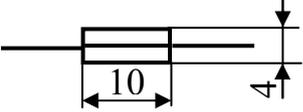
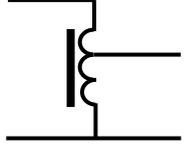
Содержание отчета должно включать в себя: цель работы, порядок выполнения, электрические схемы, основные расчетные соотношения, таблицы данных наблюдений и расчетов, диаграммы и кривые, выводы по работе, представленные в виде письменных ответов на вопросы. Все таблицы, графики и диаграммы должны иметь заголовки, поясняющие зависимость, которую они характеризуют. Вычерчивание схем, таблиц, графиков необходимо выполнять чертежным инструментом (линейка, циркуль, лекало и т.д.) карандашом либо чернилами. Графики, диаграммы желательно строить на миллиметровой бумаге с указанием масштаба.

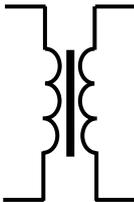
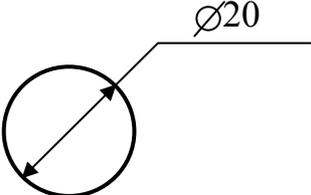
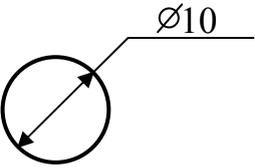
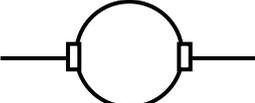
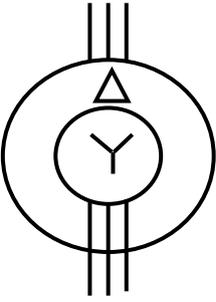
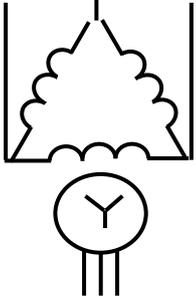
Графическое изображение результатов опыта выполняются так, чтобы кривые плавно проходили через большинство экспериментально полученных точек. Следует обратить внимание на правильный выбор масштаба. Построение кривых следует начинать с нулевого значения, совмещая его с началом координат. Если в одних координатных осях строится несколько графиков в функции одной независимой переменной, то нужно проводить дополнительные оси параллельно основной и каждую со своей масштабной шкалой. При этом различные кривые должны иметь различное обозначение.

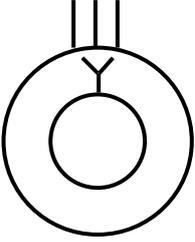
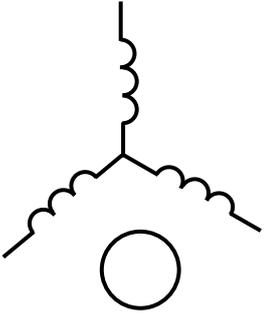
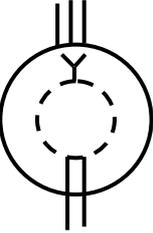
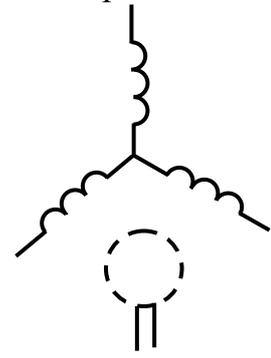
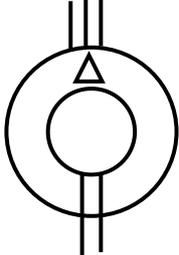
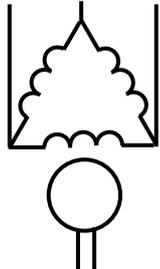
Элементы схем должны быть вычерчены тщательно с использованием обозначений по ГОСТ. Ряд элементов, вычерченных в соответствии с требованиями ГОСТ: 2.722-68, 2.723-68, 2.727-68, 2.728-74, 2.730-37, приведены в таблице 1. Если при оформлении отчетов по лабораторным

работам окажется, что в приведенной таблице нет условных обозначений, то необходимо обратиться к указанной выше справочной литературе.

Таблица 1.

Наименование	Обозначение
Резистор постоянный	
Резистор нелинейный	
Резистор переменный	
Катушка индуктивности	
Прибор измерительный показывающий	
<p>Для указания назначения прибора в его условное изображение вписывают буквенное обозначение измеряемых величин или их единиц, например,</p>	
а) амперметр	A
б) вольтметр	V
в) ваттметр	W
г) микроамперметр	μA
д) милливольтметр	mV
е) омметр	Ω
Предохранитель плавкий	
<p>Условные графические обозначения</p>	
Автотрансформатор	

<p>Трансформатор однофазный с магнитороводом</p>	
<p>Электрические машины</p>	
<p>Статор. Общее обозначение</p>	
<p>Ротор. Общее обозначение и короткозамкнутый</p>	
<p>Ротор с обмоткой, коллектором и щетками</p>	
<p>Обмотка добавочных полюсов</p>	
<p>Обмотка статора машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока</p>	
<p>Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения</p>	
<p>Машина асинхронная трехфазная с фазным ротором; обмотка статора соединена в треугольник, обмотка ротора в звезду</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Форма 1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Форма 2</p>  </div> </div>

<p>Машина асинхронная трехфазная с короткозамкнутым ротором; обмотка статора соединена в звезду</p>	<p>Форма 1</p> 	<p>Форма 2</p> 
<p>Машина синхронная трехфазная с явно выраженными полюсами и обмоткой возбуждения на роторе; обмотка статора соединена в звезду</p>	<p>Форма 1</p> 	<p>Форма 2</p> 
<p>Машина синхронная трехфазная неявнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе; обмотка статора соединена в треугольник</p>	<p>Форма 1</p> 	<p>Форма 2</p> 

В заключении отчета письменно сформулировать выводы в соответствии с целью работы и как ответы на поставленные вопросы. Отчет подписывается исполнителем, указывается дата оформления отчета.

VI. Сдача отчетов лабораторных работ, получение зачета по лабораторному практикуму

После выполнения студентом лабораторной работы и предъявления по ней правильно оформленного отчета преподаватель проводит прием отчета.

Для сдачи отчета необходимо иметь ясное представление о всех деталях проведенных исследований, уметь теоретически обосновать полученные результаты. При этом бригада предъявляет протокол с записями результатов эксперимента, подписанный преподавателем.

Студенты, у которых все отчеты приняты, получают зачет по лабораторному практикуму.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией электрической машины постоянного тока.
2. Изучить принцип действия генератора постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением.
3. Снять и проанализировать основные характеристики генератора.

Теоретические пояснения

Генератор предназначен для преобразования механической энергии, поступающей от первичного двигателя, в электрическую энергию постоянного тока.

Основными частями генератора постоянного тока являются неподвижный индуктор (статор) и вращающийся якорь (ротор).

Индуктор состоит из станины (ярма), представляющей собой цилиндр, к внутренней поверхности которого крепятся главные полюса для возбуждения главного магнитного поля и дополнительные полюса для уменьшения искрения между коллектором и щетками из-за причин электромагнитного характера.

Главные полюса состоят из ферромагнитных сердечников с расположенными на них обмотками, которые называются обмотками возбуждения главного магнитного поля генератора.

Якорем называется часть машины, в обмотке которой наводится ЭДС. Якорь состоит из вала с насаженным на него сердечником и коллектором. Сердечник якоря выполняется из листовой электротехнической стали, в пазы по наружной поверхности которого укладываются секции обмотки. Концы каждой секции присоединяются к отдельным пластинам коллектора. Коллектор и прижатые к его поверхности щетки

служат в генераторе постоянного тока для преобразования переменной ЭДС якоря в постоянное напряжение на щетках, к которым подключается внешняя цепь.

При вращении якоря в магнитном поле полюсов в его обмотке индуцируется ЭДС, которая определяется по формуле:

$$E = C_E \cdot n \cdot \Phi = \frac{P}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot N \cdot \Phi \cdot B.$$

Напряжение генератора выражается формулой $U = E - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}$.

Все генераторы постоянного тока делятся на две основные группы, а именно: на генераторы независимого возбуждения и самовозбуждающиеся.

В генераторах независимого возбуждения обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника питания.

Генераторы параллельного возбуждения являются генераторами с самовозбуждением. Параллельная обмотка возбуждения генератора получает питание от собственного якоря. Начальной причиной самовозбуждения является ЭДС $E_{\text{ост}}$ от остаточного магнитного потока, который почти всегда существует в магнитной цепи машины.

Процесс самовозбуждения при $n = n_{\text{НОМ}} = \text{const}$ возможен, если соблюдаются следующие условия:

1. наличие в магнитной цепи машины остаточного магнитного потока;
2. поток, создаваемый обмоткой возбуждения, направлен согласно с остаточным магнитным потоком;
3. сопротивление цепи возбуждения должно быть меньше критического.

Если не выполняется условие 1, то необходимо намагнитить машину при питании обмотки возбуждения от постороннего источника постоянного тока.

Если не выполняется условие 2, то нужно изменить направление тока в обмотке возбуждения.

Если не выполняется условие 3, то ХХХ и вольтамперная характеристика цепи возбуждения пересекаются при очень малых значениях тока возбуждения и самовозбуждение заканчивается в точке пересечения этих характеристик.

Свойства генератора постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением определяются его характеристиками, основны-

ми из которых являются характеристики холостого хода, внешняя и регулировочная.

Характеристика холостого хода

Так называется зависимость ЭДС, наводимой в обмотке якоря генератора, от тока возбуждения при отсутствии тока во внешней цепи ($I_r = 0$) и постоянной частоте вращения якоря ($n = const$).

$$E(I_B) \text{ при } I_r = 0, n = n_n = const.$$

Внешние характеристики

Внешние характеристики определяют собой зависимость напряжения на зажимах генератора U от величины тока во внешней цепи I_r при постоянной частоте вращения якоря n_n и при постоянном сопротивлении цепи обмотки возбуждения.

$$U(I_r) \text{ при } R_B = const, n_n = const.$$

Регулировочные характеристики

Регулировочной характеристикой называется зависимость, показывающая как необходимо изменять ток обмотки возбуждения I_e при изменении тока нагрузки I_r , чтобы при постоянной частоте вращения якоря напряжение на зажимах генератора было постоянным.

$$I_B(I_r) \text{ при } U = U_n = const, n = n_n = const.$$

Описание лабораторной установки

Объектом исследования является генератор постоянного тока (рис.1), имеющий параллельную обмотку возбуждения. Параллельная обмотка возбуждения может быть использована, как обмотка независимого возбуждения.

Генератор приводится во вращение асинхронным двигателем М. Так как частота вращения асинхронного двигателя при нагрузке изменяется незначительно, то в данных опытах ее можно принимать постоянной ($n = n_n = const$).

Лабораторная установка позволяет проводить испытания генераторов в режимах холостого хода и при нагрузке.

Переключение режима работы генератора осуществляется переключением нагрузки SA3 «Режим работы» (холостой ход или нагрузка).

С помощью переключателя SA2 «Возбуждение» можно подключить обмотку возбуждения к независимому источнику питания (поз. 1) или параллельно (поз. 2) обмотке якоря.

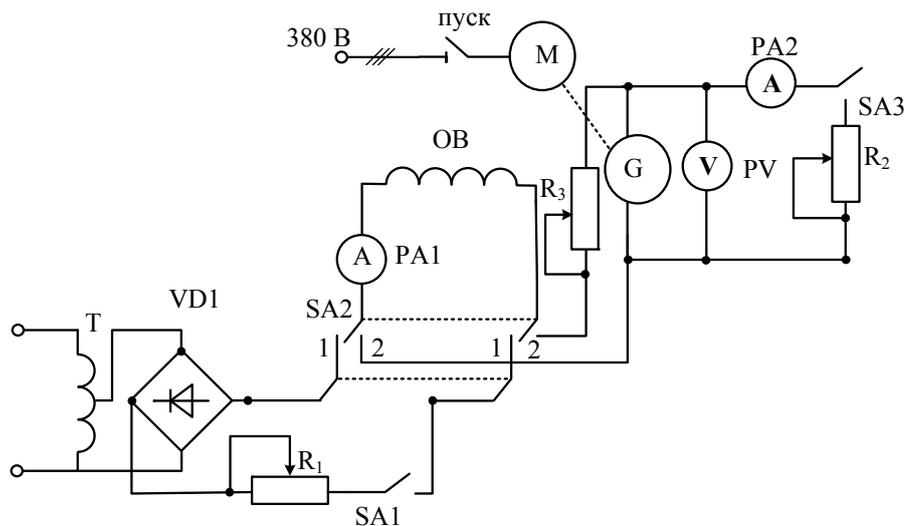


Рис.1

Регулирование тока в обмотке возбуждения осуществляется реостатом R_3 «Параллельное возбуждение» при параллельном возбуждении и R_1 «Независимое возбуждение» при независимом возбуждении.

Регулирование тока нагрузки осуществляется реостатом R_2 «Регулирование нагрузки».

Порядок работы

I. Изучить конструкцию генератора постоянного тока независимого и параллельного возбуждения. Ознакомиться с элементами электрической цепи, схема которой представлена на рис. 1.

II. Генератор независимого возбуждения

Переключатель SA2 в положение «независимое».

- Характеристика холостого хода (XXX): $U = f(I_f)$ при $I_f = 0$, $n = const$.

Здесь $U = E_0$ - ЭДС в обмотке якоря при холостом ходе; I_f - ток в обмотке возбуждения; n - частота вращения якоря. XXX снимается при разомкнутой цепи якоря (SA3- в положение «XX или нагрузка»).

1. Включение установки.

Включение установки осуществляется:

- Переключатель SA2 «Возбуждение» в необходимое положение «независимое» или «параллельное»;
- Регулировочные реостаты (R_1 , R_2 , R_3) в крайнее левое положение;
- Переключатель (SA1) «Ток возбуждения» в положение «Выкл.»;
- Тумблер «Режим работы» (SA3) в положение «XX или нагрузка»;
- Запускают приводной двигатель (нажимают кнопку «Пуск»).

2. Тумблер (SA1) «Ток возбуждения генератора» в положение «ВКЛ».

3. Регулировочным реостатом в цепи возбуждения R_1 изменяют ток возбуждения и устанавливают на выводах цепи якоря генератора необходимое напряжение. С этой точки начинают снимать ХХХ.

4. С помощью реостата R_1 плавно уменьшают ток возбуждения I_B до нуля, записывают 5-6 значений U и I_B в таблицу 1, при этом получают «нисходящую» ветвь ХХХ.

5. С помощью реостата R_1 плавно увеличивают ток I_B , фиксируя U (5-6 точек) и получают «восходящую» ветвь ХХХ.

6. По данным опыта определяют процентное значение остаточной ЭДС $e_{ост}\% = E_{ост} \cdot 100 / U_H$.

Таблица 1.

Характеристика холостого хода

№ пп	Размагничивание		Намагничивание		Примечание
	I_B, A	U, B	I_B, A	U, B	
1÷6					$U_H =$ $E_{ост} =$ $E_{ост} \% =$

• Внешняя характеристика: $U=f(I_T)$ при $I_B = const, n = const$. Снимается внешняя характеристика при возрастании нагрузки.

1. Переключатель SA3 в положении «холостой ход или нагрузка».

2. Регулировочный реостат R_2 в крайнем левом положении (нагрузка минимальная).

3. С помощью реостата R_1 устанавливают такой ток возбуждения (в дальнейших опытах поддерживается постоянным), чтобы на выводах обмотки якоря установилась ЭДС $E=U_0=U_H$ – это первая точка внешней характеристики. Записывают величины напряжения, тока якоря и тока возбуждения в табл.2.

4. С помощью реостата R_2 плавно увеличивают нагрузку и записывают 5÷6 точек значений напряжения и тока якоря в табл. 2, по которым строится внешняя характеристика.

5. Расчет относительного падения напряжения производят по формуле:

$$\Delta U = \frac{(U_H - U)}{U_H} \cdot 100\%.$$

Таблица 2

Внешняя характеристика			
№ пп	$I_{Г}, А$	$U, В$	Примечание
1÷6			$I_B =$ $U_0 =$

• Регулировочная характеристика: $I_B = f(I_{Г})$ при $U = const$ и $n = const$.
Регулировочную характеристику начинают снимать с точки, соответствующей холостому ходу генератора.

1. Переключатель SA3 установлен в положение «холостой ход или нагрузка».
2. Регулировочный реостат R_2 в крайнем левом положении.
3. Регулировочным реостатом в цепи возбуждения R_1 изменяют ток возбуждения и устанавливают ток возбуждения I_B такой величины, чтобы $E = U_0 = U_H$.
4. Регулировочным реостатом R_2 увеличивают нагрузку (5÷6 точек), одновременно регулируют ток возбуждения I_B - регулировочным реостатом R_1 , таким образом, чтобы напряжение генератора в каждой точке характеристики оставалось номинальным. Результаты заносятся в табл. 3, по которым строится регулировочная характеристика.
5. Определяется процентное изменение тока возбуждения

$$\Delta I_B = \frac{(I_B - I_{B0})}{I_{B0}} \cdot 100\%.$$

Таблица 3

Регулировочная характеристика			
№ пп	$I_B, А$	$I_{Г}, А$	Примечание
1÷5			$U = U_H =$

6. Выключение установки.

Выключение установки осуществляется:

- Регулировочные реостаты (R_1, R_2, R_3) в крайнее левое положение;
- Переключатель «Ток возбуждения» в положение «Выкл»;
- Остановка приводного двигателя (нажимают кнопку «Стоп»).

III. Генератор параллельного возбуждения.

1. При выключенном двигателе (М) переключатель SA2 «Возбуждение» устанавливают в положение «параллельное».

2. По пункту «Включение установки» установить в необходимое положение тумблеры и реостаты. Включить двигатель (М).

- Характеристика холостого хода. $U_0 = f(I_B)$ при $I_T = 0, n = const$.

Характеристика ХХ генератора с параллельным возбуждением снимается также как и независимым возбуждением. Регулирование тока возбуждения осуществляется реостатом R₃ «Параллельное возбуждение». Следует отметить, что ХХХ при независимом и параллельном возбуждении практически совпадают. Полученные значения заносятся в таблицу 4.

Таблица 4

Характеристика холостого хода

№ пп	Размагничивание		Намагничивание		Примечание
	I_B, A	U, B	I_B, A	U, B	
1÷6					$U_H =$ $E_{ост} =$ $E_{ост} \% =$

- Внешняя характеристика. $U = f(I_T)$ при $I_B = const, n = const$. Снимается внешняя характеристика при возрастании нагрузки. Внешняя характеристика генератора с параллельным возбуждением снимается в той же последовательности, что и в генераторе с независимым возбуждением. Полученные значения заносятся в таблицу 5.

Таблица 5

Внешняя характеристика

№ пп	I_T, A	U, B	Примечание
1÷6			$I_B =$ $U_0 =$

Регулировочная характеристика. $I_B = f(I_T)$ при $U = const$ и $n = const$.
 Регулировочную характеристику начинают снимать с точки, соответствующей холостому ходу генератора. Характеристика генератора парал-

дельного возбуждения снимаются в том же порядке, как и для генератора независимого возбуждения. Регулировочные характеристики генераторов независимого и параллельного возбуждения практически совпадают. Полученные значения заносятся в таблицу 6.

Таблица 6

Регулировочная характеристика			
№ пп	I_B, A	I_G, A	Примечание
1÷5			$U = U_H =$

IV. Сформулировать письменно выводы в виде ответов на следующие вопросы:

- Как происходит процесс самовозбуждения генератора постоянного тока?
- От чего зависит ЭДС генератора постоянного тока?
- Объяснить характер характеристики холостого хода.
- Объяснить характер внешних характеристик генератора.
- Как регулируют напряжение генератора?
- Объяснить характер регулировочной характеристики.

Контрольные вопросы для домашней подготовки

а) для допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Сформулируйте цель лабораторной работы.
2. Расскажите устройство генератора постоянного тока.
3. Из какого материала должны быть изготовлены корпус и полюса генератора постоянного тока?
4. Что такое коллектор, из какого материала он выполнен и каковы его основные функции в генераторах постоянного тока?
5. Расскажите принцип действия генератора постоянного тока со смешанным возбуждением.
6. Что такое номинальные данные исследуемого генератора и где их можно взять?
7. Токи каких частей электрической цепи генератора показывают амперметры, указанные в схеме электрической цепи генератора?
8. Что такое реакция якоря генератора постоянного тока?
9. Как происходит процесс самовозбуждения генератора постоянного тока?
10. Какие причины могут помешать самовозбуждению генераторов постоянного тока?

11. От чего зависит ЭДС обмотки якоря генератора постоянного тока?
 12. Как регулируют напряжение на зажимах генератора постоянного тока?
 13. На что влияет величина воздушного зазора между якорем и полюсами машины постоянного тока?
 14. Назовите области применения генераторов постоянного тока.
- б) для защиты отчета по лабораторной работе:**
1. Каковы условия самовозбуждения генератора постоянного тока с параллельным возбуждением?
 2. При каких условиях и как снимается характеристика холостого хода генератора постоянного тока с параллельным возбуждением?
 3. Объясните характер полученной характеристики холостого хода.
 4. Что такое внешняя характеристика и при каких условиях она снимается?
 5. Почему при увеличении нагрузки напряжение на зажимах генератора с параллельным возбуждением уменьшается?
 6. Что представляет собой регулировочная характеристика и при каких условиях она снимается?
 7. Какая из электрических величин генератора подлежит регулированию при снятии регулировочной характеристики?
 8. Почему регулировочная характеристика при увеличении нагрузки имеет возрастающий характер?
 9. Напишите уравнения для ЭДС обмотки якоря и напряжения на зажимах генератора.
 10. Какая по характеру ЭДС наводится в обмотке якоря генератора постоянного тока?
 11. Как следует понимать выражение: «Нагрузка генератора увеличилась»?
 12. Что Вы знаете о коэффициенте полезного действия генератора постоянного тока?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника./Под ред. Проф. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985, с.359-373.
2. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 342-351, 363-365.
3. Волынский Б.А., Зейн Е.Н. Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 334-343, 353-357.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 297-306.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы:

1. Изучить принцип действия и устройство двигателей постоянного тока.
2. Ознакомиться со схемой включения двигателя в сеть, с процессом его пуска, регулирования частоты вращения и реверсированием.
3. Снять и проанализировать основные характеристики двигателя параллельного возбуждения.

Теоретические пояснения

Основными частями двигателя постоянного тока являются:

- а) ярмо;
- б) главные и дополнительные полюса с обмотками;
- в) сердечник якоря с обмоткой;
- г) коллектор и щетки.

Электрический двигатель преобразует подводимую к нему электрическую энергию в механическую.

В зависимости от схемы включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря различают следующие типы двигателей постоянного тока: двигатели параллельного возбуждения, двигатели последовательного возбуждения, двигатели смешанного возбуждения, двигатели независимого возбуждения.

При работе электрической машины постоянного тока в режиме двигателя под действием напряжения, подводимого к якорю, в его обмотке появляется ток $I_{я}$. В результате взаимодействия этого тока с магнитным потоком, созданным обмоткой возбуждения двигателя, возникает вращающий момент $M = C_M \cdot I_{я} \cdot \Phi$, где C_M – постоянная, зависящая от конструкции машины. Как только якорь начнет вращаться, в проводниках его обмотки будет индуцироваться ЭДС E , направление которой противоположно направлению тока $I_{я}$, поэтому эту ЭДС называют «противо-ЭДС». Величина E зависит от частоты вращения якоря n и от магнитного потока Φ .

Приложенное к зажимам обмотки якоря двигателя напряжение равно сумме противо-ЭДС E и падения напряжения на внутреннем сопротивлении обмотки якоря $I_{я}R_{я}$, т.е. $U = E + I_{я}R_{я}$.

Ток обмотки якоря соответственно будет равен $I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}}$.

При пуске двигателя в ход в первый момент после подключения его к сети якорь двигателя остается неподвижным и противо-ЭДС равна нулю, т.е. $E=0$. Поэтому при прямом пуске двигателя пусковой ток его обмотки якоря будет зависеть только от напряжения сети и сопротивления обмотки якоря $I_{ян} = \frac{U}{R_{я}}$ и может превышать номинальное значение

тока в обмотке якоря в $10 \div 30$ раз. Для уменьшения пускового тока можно осуществлять пуск двигателя при пониженном подводимом напряжении или с помощью добавочного сопротивления, вводимого в цепь обмотки якоря на время пуска, и тогда $I_{ян} = \frac{U}{R_{я} + R_n}$. По мере на-

растания скорости двигателя пусковой реостат R_n выводится, при этом в обмотке якоря появляется противо-ЭДС E и

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}}.$$

При установившемся режиме электромагнитный вращающий момент, развиваемый двигателем, уравнивается моментом сопротивления на валу двигателя $M = M_c$, который в свою очередь определяется суммой моментов: $M_c = M_o + M_2$, где M_o – момент, обусловленный механическими потерями на трение при вращении самого двигателя; M_2 – момент, создаваемый нагрузкой, на валу двигателя.

Направление электромагнитного вращающего момента и, следовательно, направление вращения якоря двигателя, зависят от направления магнитного потока и направления тока в обмотке якоря.

Чтобы изменить направление вращения двигателя, т.е. осуществить его реверсирование, необходимо изменить направление тока либо в обмотке возбуждения машины, либо в обмотке якоря. Обычно изменяют направление тока в обмотке якоря.

Частота вращения якоря двигателя определяется так:

$$n = \frac{U - (R_{я} + R_{доб}) \cdot I_{я}}{C_E \cdot \Phi}.$$

Регулировать частоту вращения якоря проще всего можно двумя способами:

1. С помощью реостата R_I изменять ток возбуждения I_b , а, следовательно, и поток машины Φ . Следует помнить, что во время работы двигателя нельзя значительно уменьшать ток возбуждения I_b (а

значит и Φ) или разрывать цепь возбуждения двигателя, т.к. это может привести к значительному увеличению тока в обмотке якоря и быстрому нарастанию (выше номинальной) частоты вращения двигателя, двигатель может пойти «в разнос».

2. С помощью реостата R_2 , включенного последовательно с обмоткой якоря, изменять суммарное сопротивление цепи якоря $R_{\Sigma} = R_{\text{я}} + R_1$ при постоянном напряжении сети.

Основные свойства двигателя определяются его механической характеристикой и рабочими характеристиками.

Механическая характеристика

Зависимость установившейся частоты вращения якоря двигателя от момента двигателя при постоянном напряжении сети U и сопротивлении цепи якоря называется механической характеристикой двигателя $n(M)$.

Механическая характеристика, снятая при $R_1 = 0$ и $\Phi = \Phi_n$, называется естественной. При нагрузках на валу, не превышающих номинальную, частота вращения двигателя уменьшается мало, на $(3 \div 7)\%$ от n_o (n_o – частота вращения двигателя при холостом ходе). Частота вращения двигателя уменьшается пропорционально падению напряжения на внутреннем сопротивлении обмотки якоря, поэтому механическая характеристика – пологая прямая, т.е. механическая характеристика двигателя параллельного возбуждения – жесткая.

Рабочие характеристики

Рабочими характеристиками двигателя называют зависимости потребляемого двигателем тока $I_{\text{я}}$, момента на валу M , частоты вращения n и коэффициента полезного действия η_D от полезной мощности двигателя P_2 при $U = U_n = \text{const}$ и при постоянном сопротивлении в цепи возбуждения $R_1 = \text{const}$, $R_{\Sigma} = r_{\Sigma} + R_2$.

Описание лабораторной установки

Схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения представлена на рисунке 1.

Двигатель имеет последовательно включенные обмотку якоря и добавочных полюсов (на схеме не показана) и обмотку возбуждения, подключенную параллельно с цепью якоря.

Электрическая схема содержит пусковой реостат R_2 «Добавочное сопротивление в цепи якоря» в цепи якоря и реостат R_1 «Регулятор тока

возбуждения» в цепи возбуждения. В цепь якоря и в цепь возбуждения включены амперметры PA1 и PA2, параллельно цепи якоря включен вольтметр PV1.

Нагрузкой двигателя служит генератор постоянного тока параллельного возбуждения G.

Изменение момента нагрузки на валу двигателя осуществляют путем регулирования мощности на выходе нагрузочного генератора за счет регулирования тока якоря реостатом R₃ «Нагрузка генератора» и тока возбуждения нагрузочного генератора реостатом R₄ «Регулятор тока возбуждения генератора».

Цепь возбуждения генератора включается тумблером Q1 «Ток возбуждения генератора».

Частоту вращения двигателя определяют с помощью тахогенератора, подключенного к вольтметру PV3, отградуированному в об/мин.

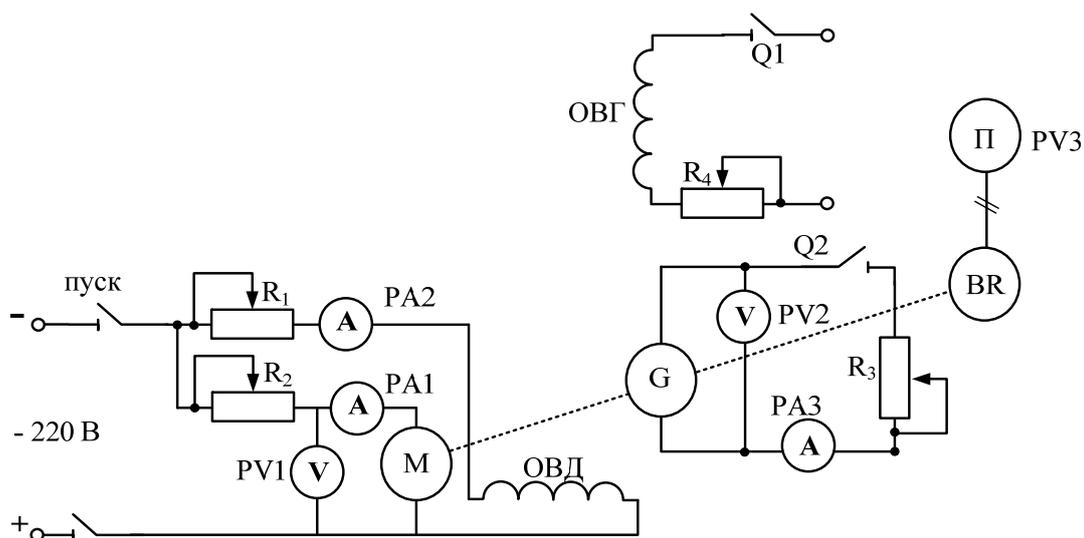


Рис.1

Порядок выполнения работы

I. Изучить конструкцию двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и ознакомиться с элементами электрической цепи, схема которой представлена на рис.1.

II. Пуск двигателя.

Включение установки осуществляется:

- регулировочный реостат R₂ «Добавочное сопротивление в цепи якоря» на максимальное значение (крайнее правое положение);
- тумблер «Шунтирование приборов» вверх;

- регулировочный реостат R_1 «Регулировка тока возбуждения» в среднее правое положение;
- тумблер «Ток возбуждения генератора» в положение «ВЫКЛ»;
- регулировочные реостаты R_4 «Регулировка тока возбуждения генератора» и R_3 «Нагрузка генератора» крайнее левое положение;
- запуск двигателя (нажимают кнопку «Пуск»);
- регулировочный реостат R_2 перевести на минимальное значение (крайнее левое положение). Это холостой ход двигателя – первый отсчет в таблице 1.

III. Рабочие характеристики двигателя.

1. Тумблер «Ток возбуждения генератора» в положение «ВКЛ» - замыкают цепь якоря нагрузочного генератора.

2. Регулировочными реостатами R_4 и R_3 изменяют полезную мощность нагрузочного генератора. Снять значения I_d, U_d, n двигателя и U_G, I_G (5-6 отсчетов) и внести их в таблицу 1.

Таблица 1

№	Опытные данные				Расчетные данные							
	I_d	n	U_G	I_G	P_1	$P_{2Г}$	ΣP	ΣP_d	P_2	η_d	M	
	А	об/мин	В	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	–	Нм	
1÷6												$U_d =$

IV. Остановка двигателя.

Выключение установки осуществляется:

- регулировочные реостаты R_4 и R_3 в крайнее левое положение;
- тумблер «Ток возбуждения генератора» в положение «ВЫКЛ»;
- остановка двигателя (нажимают кнопку «Стоп»).

V. Расчетные величины можно получить, исходя из следующего:

- $P_1 = U_d \cdot I_d$ – мощность, потребляемая двигателем;
- $P_{2Г} = U_G \cdot I_G$ – мощность, отдаваемая нагрузочным генератором;
- $\Sigma \Delta P = \Sigma \Delta P_d + \Sigma \Delta P_G = P_1 - P_{2Г}$ – суммарные потери (в двигателе и генераторе);
- предполагая, что потери в двигателе и генераторе примерно одинаковы, т.е. $\Sigma \Delta P_d = \Sigma \Delta P_G$,
- находим потери в двигателе

$$\Sigma \Delta P_d = \frac{1}{2} (\Sigma \Delta P_d + \Sigma \Delta P_G) = \frac{1}{2} (P_1 - P_{2Г});$$
- $P_2 = P_1 - \Sigma \Delta P_d$ – полезная механическая мощность двигателя;

- $\eta_D = \frac{P_2}{P_1}$ – к.п.д. двигателя;
- $M = 9,55 \frac{P_2}{n}$ – момент на валу двигателя.

По полученным данным построить рабочие характеристики двигателя: $n(P_2)$, $M(P_2)$, $I_D(P_2)$, $\eta_D(P_2)$. Примерный вид рабочих характеристик представлен на рис. 2. По данным таблицы 1 построить механическую характеристику двигателя $n(M)$. Примерный вид механической характеристики двигателя параллельного возбуждения показан на рис.3.

VI. Сформулировать выводы в виде письменных ответов на следующие вопросы:

- Объяснить роль пускового реостата.
- Почему при увеличении момента нагрузки на валу частота вращения двигателя уменьшается?

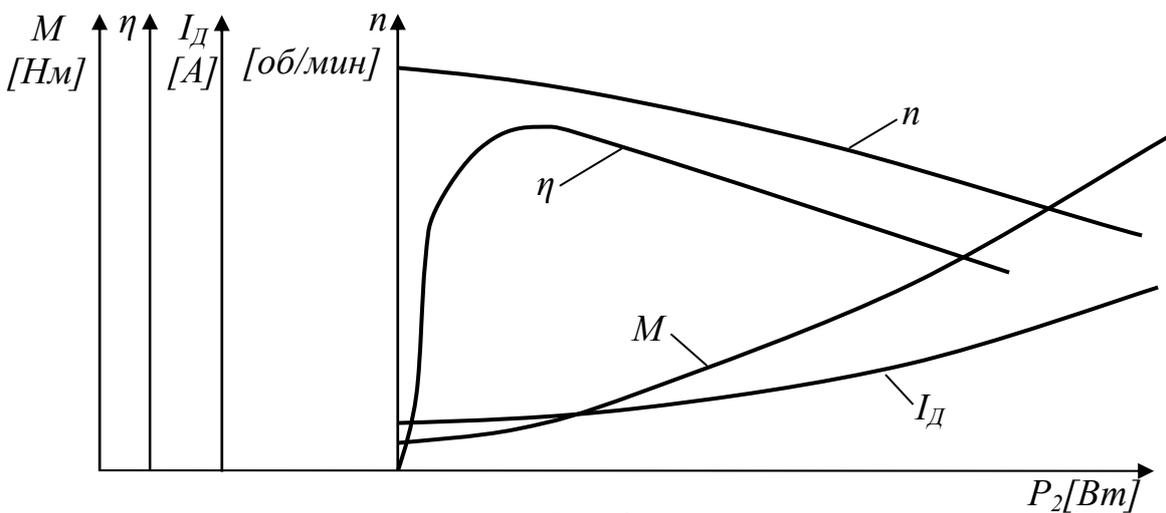


Рис.2

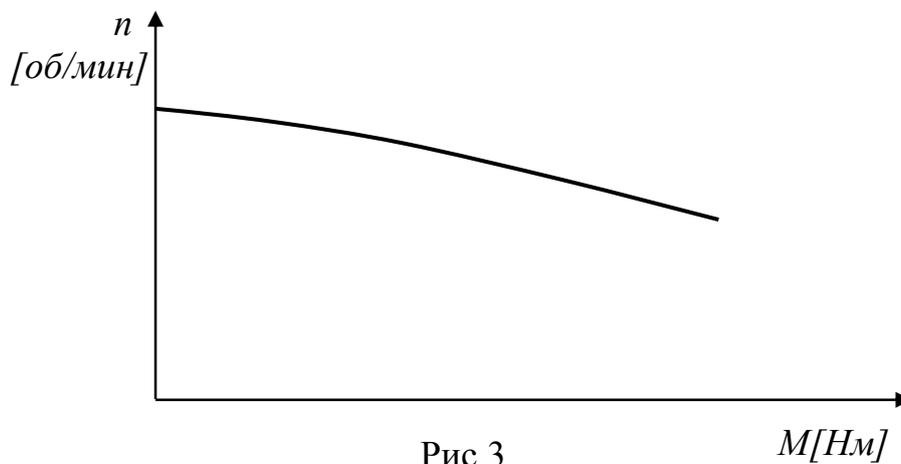


Рис.3

Контрольные вопросы для домашней подготовки

а) для допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Какова цель работы?
2. Расскажите устройство двигателя постоянного тока.
3. Объясните принцип действия двигателя параллельного возбуждения.
4. Какую электрическую схему замещения имеет двигатель параллельного возбуждения?
5. Как осуществляется пуск в ход двигателей постоянного тока?
6. Нарисуйте схему подсоединения пускового реостата к двигателю.
7. Как снимаются рабочие характеристики двигателя?
8. Какую зависимость называют механической характеристикой двигателя и какой примерный вид имеет механическая характеристика двигателя параллельного возбуждения?
9. Как рассчитывают в работе момент на валу двигателя?
10. Что является нагрузкой двигателя и как ее изменять?
11. Почему во время работы двигателя нельзя разрывать цепь его обмотки возбуждения?
12. Как изменить направление вращения двигателя?
13. Укажите где можно взять номинальные данные двигателя и нагрузочного генератора?

б) для защиты отчета по лабораторной работе:

1. От каких величин зависит частота вращения якоря двигателя постоянного тока?
2. От чего зависит ЭДС двигателя и ее роль?
3. Назовите известные Вам способы регулирования частоты вращения якоря двигателя постоянного тока.
4. Как происходит процесс саморегулирования момента двигателя постоянного тока при изменении нагрузки на валу?
5. Какой режим работы двигателя можно назвать режимом короткого замыкания?
6. В какую сторону от номинальной можно регулировать частоту вращения двигателя путем изменения тока в его обмотке возбуждения?
7. От каких факторов зависит величина и направление электромагнитного момента, развиваемого двигателем постоянного тока?
8. Напишите условия равновесия моментов в установившемся режиме работы двигателя.
9. Назовите составляющие потерь мощности в двигателе.
10. Какие преимущества и недостатки имеют двигатели параллельного возбуждения?

11. Объясните устройство и назначение коллектора и щеток в двигателе постоянного тока.
12. Объясните назначение главных и добавочных полюсов.

ЛИТЕРАТУРА

5. Электротехника./Под ред. Проф. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985, с.373-380
6. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 322-328, 297-306.
7. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 342-351, 363-365, 367-387.
8. Волынский Б.А., Зейн Е.Н. Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 334-339, 359-368.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы

1. Изучить принцип действия и ознакомиться с устройством асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Определить начала и концы фаз обмотки статора и осуществить их соединение по схеме треугольника и звезды.
3. Произвести пуск и реверс асинхронного двигателя.

Теоретические пояснения

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором состоит из двух основных частей: статора (неподвижная часть) и ротора (вращающаяся часть). В пазы сердечника статора, набранного из листов электротехнической стали уложена трёхфазная обмотка. Оси фазных катушек сдвинуты относительно друг друга на 120 электрических градусов. Фазы обмотки статора соединяются звездой или треугольником и подключаются к трёхфазной сети. Сердечник ротора асинхронного двигателя набирают, как и сердечник статора, из листовой электротехнической стали. В пазах ротора располагается короткозамкнутая обмотка.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на явлении взаимодействия вращающегося магнитного поля, создаваемого обмоткой статора, с токами роторной обмотки, в результате чего создаётся вращающийся момент. Под действием этого момента ротор начинает вра-

щаться в сторону вращения магнитного поля. Скорость вращения ротора несколько меньше скорости вращения магнитного поля статора, т.е. ротор вращается асинхронно по отношению к полю статора.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки для испытания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, представленной на рис.1.

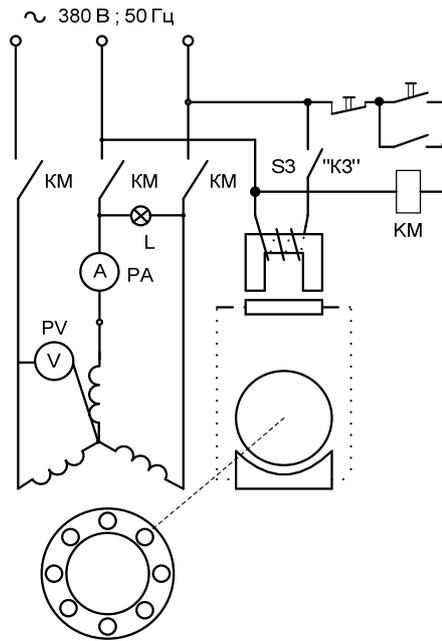


Рис.1

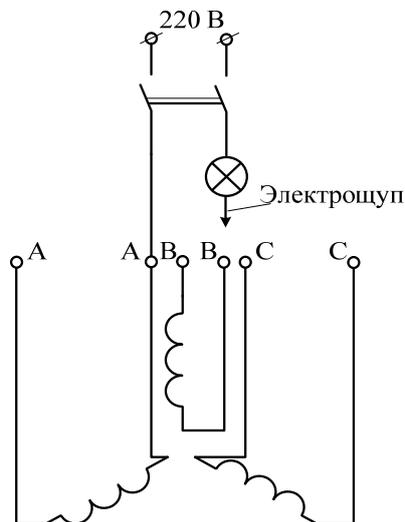


Рис.2

Кнопки «Пуск» и «Стоп», управляющие магнитным пускателем КМ, переключатель S3 «КЗ - ХХ», клеммы сетевого напряжения (А,В,С,

N), измерительные приборы, контрольная лампа. Необозначенные выводы (клеммы) фаз обмотки статора, которые необходимо замаркировать, также выведены на панель. С помощью этих клемм и соединительных проводов, собирается схема для проведения опытов, включая маркировки выводов обмотки статора.

Порядок выполнения работы

I. Маркировка выводов обмотки статора

1. Определение выводов, принадлежащих одной фазе

Для проведения этого опыта любой из выводов обмотки статора соединяют с зажимом источника переменного тока, а проводом-электрощупом, соединенным через лампочку с другим зажимом, попеременно прикасаются к пяти оставшимся выводам обмотки после включения источника. Лампочка дает световой сигнал, как только питание на нее подается через выводы одной и той же фазы обмотки статора (рис.2). Выводы фазных обмоток маркируют **АА**, **ВВ**, **СС**.

2. Маркировка начал и концов фаз обмоток статора

Для маркировки начал и концов фаз обмотки собирают схему (рис. 3) в которой, два любых вывода двух разных фаз, например **A** и **B**, соединяют перемычкой

Оставшиеся выводы этих же фаз присоединяют к источнику переменного тока. К выводам фазы **C** подключают вольтметр.

Если при питании двух фаз обмотки переменным током в третьей фазе будет наводиться ЭДС, то стрелка вольтметра отклонится. Это означает, что фазы обмотки **A** и **B** соединены в неполный треугольник (рис.3).

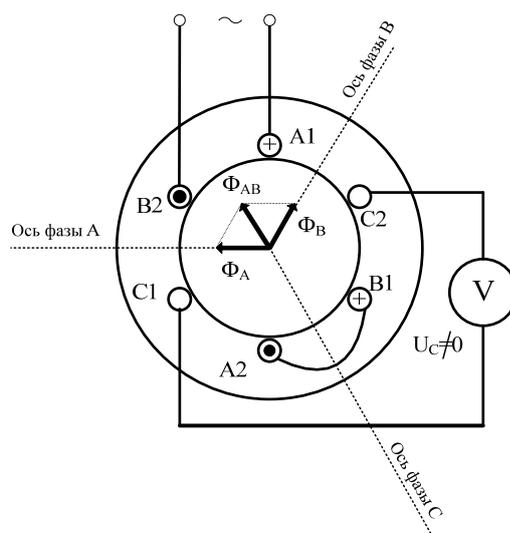


Рис. 3

Как видно из этого рисунка магнитные потоки, создаваемые фазами **A** и **B**, создают результирующий магнитный поток Φ_{AB} , сцепляющийся с витками фазы **C**, который наводит в ней ЭДС.

Если фазы **A** и **B** соединены в неполную звезду (рис. 4), то поток в обмотке фазы **B** изменит своё направление на 180° . Образующийся результирующий поток в этом случае не сцепляется с витками фазы **C** и в ней индуктироваться ЭДС не будет. Вольтметр, подключенный к зажимам фазы **C**, покажет величину близкую к нулю.

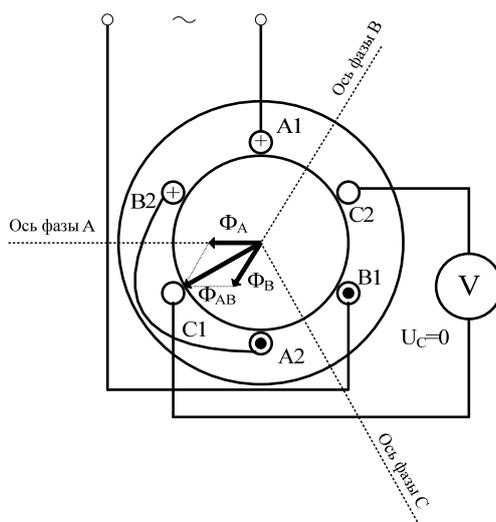


Рис.4

При маркировке выводов фаз следует иметь в виду, что только начало фазы **A** (**A1**) берется условно. Все другие выводы маркируются в зависимости от того, каким образом соединены конец первой фазы (**A2**) и начало второй (**B1**).

При соединении в неполную звезду перемычкой соединяют конец первой фазы (**A2**) с концом второй фазы (**B2**).

Для маркировки выводов третьей фазы необходимо поменять местами выводы фазы **C** с выводами **B** или **A**, маркировка которых уже известна, и опыт повторить.

II. Пробный пуск и изменение направления вращения ротора.

Чтобы убедиться в правильности маркировки выводов обмотки статора ее соединяют в звезду и производят пуск двигателя. При правильной маркировке двигатель работает с незначительным ровным шумом. При неправильной маркировке двигатель работает со значительным шумом («гудит»). Для изменения направления вращения ротора

двигателя достаточно поменять местами два любых вывода обмотки статора на зажимах источника питания (сети).

III. Определение пусковых токов при соединении фаз обмотки статора звездой и треугольником.

Пусковые токи определяются в опытах короткого замыкания при соединении обмоток статора звездой или треугольником.

Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя проводят при заторможенном роторе ($n=0$) и питании обмотки статора номинальным напряжением U_{1H} . Торможение ротора проводится с помощью тормозного электромагнита, включение которого осуществляется с помощью кнопки «Режимы - КЗ».

Опыт короткого замыкания проводится по схеме (рис.1) включением тумблера «Режимы - КЗ».

ВНИМАНИЕ! Двигатель в данном режиме не должен работать более 4-5 секунд.

Результаты измерений заносят в таблицу 1.

Таблица 1

Режим работы		I_{ϕ}, A	$I_{Л}, A$	
рабочий	звезда (Y)			$U_{1H} = 220/380 \text{ В}$
	треугольник(Δ)			
КЗ	звезда (Y)			
	треугольник (Δ)			

Для соединения обмотки статора звездой нужно концы всех фаз объединить в одну точку, а начала фаз подключить к трехфазному источнику переменного тока. В цепь одной из фаз включен амперметр для замера пускового тока ($I_{1К}$). Ротор двигателя при этом заторможен.

Для соединения обмотки статора треугольником необходимо начало фазы U_1 обмотки соединить с концом фазы $C1$, конец $A2$ с началом $B1$, а конец $B2$ с началом $C1$. К местам соединения фаз обмотки статора подвести питание от трехфазного источника переменного тока. Следует отметить, что амперметр включен в одну из фаз, поэтому он покажет ток в этой фазе.

$$I_{Л\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi КЗ}$$

Пределы измерения амперметра могут не позволить оценить этот ток, поэтому необходимо рассчитать, как изменится линейный ток при соединении обмоток статора треугольником, если сопротивления обмоток одинаковы и равны Z . Это можно осуществить преобразуя треугольник в звезду и оценить во сколько раз сопротивление в фазе отличается от сопротивления в фазе при соединении обмоток статора звездой.

Затем оценить значения пусковых токов при соединении звездой и треугольником.

IV. Письменно сформулировать выводы в виде ответов на следующие вопросы:

- Почему пусковые токи в линейных проводах при соединении фаз обмотки статора треугольником больше, чем при соединении их звездой?
- Как объяснить изменение направления вращения ротора двигателя при изменении порядка чередования фаз?
- Каковы отличия асинхронного короткозамкнутого двигателя от двигателя с фазным ротором?

Контрольные вопросы для домашней подготовки

а) для допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Какова цель работы?
2. Устройство трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
3. Порядок выполнения работы.
4. Как определить концы фаз обмотки статора двигателя?
5. Как в данной работе предлагается установить начала и концы найденных фаз обмотки статора?
6. Почему при встречном включении двух фаз обмотки статора вольтметр показывает "ноль", или малое значение напряжения при подключении третьей фазы к источнику переменного напряжения?
7. Почему для измерения пускового тока необходимо ротор двигателя затормозить?
8. Как обозначают выводы фаз обмотки статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
9. Какие паспортные данные указываются на щитке асинхронного двигателя?
10. Как возникает вращающий момент в трёхфазном асинхронном двигателе?

11. Почему двигатель называют асинхронным?
12. Как осуществить реверсирование асинхронного двигателя?
13. Какую величину называют скольжением?
14. Как вращаются друг относительно друга магнитное поле и ротор в трёхфазном асинхронном двигателе?

б) для защиты отчёта по лабораторной работе:

1. Как изменяются по величине частота ЭДС ротора и реактивное сопротивление его обмотки при переходе от пуска к режиму холостого хода?
2. Какие существуют способы пуска трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором?
3. Какие существуют способы регулирования частоты вращения ротора трёхфазных асинхронных двигателей?
4. Что называется механической характеристикой электродвигателя? Изобразите естественную механическую характеристику трёхфазного асинхронного двигателя.
5. Как изменятся линейные токи, если обмотку статора переключить со звезды на треугольник при неизменном напряжении сети?
6. Какие потери энергии имеют место в асинхронном двигателе?
7. Чем объяснить увеличение токов в обмотках статора и ротора при пуске? Записать выражение для тока в фазе обмотки неподвижного ротора и вращающегося со скольжением?
8. Какова частота вращения основного магнитного поля асинхронного двигателя и с какой частотой изменяется ток в обмотке его ротора при номинальной нагрузке?
9. Почему относительная величина тока холостого хода трёхфазного асинхронного двигателя больше, чем трёхфазного трансформатора той же мощности?
10. Чему равно скольжение асинхронного двигателя в первый момент после переключения фаз (при реверсе)?
11. Назвать преимущества и недостатки асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
12. Объяснить принцип действия асинхронного двигателя.
13. В каких пределах может меняться скольжение асинхронной машины, работающей в режиме двигателя?
14. Назовите основные условия получения вращающегося магнитного поля?
15. Почему в реальной машине частота вращения ротора не может быть равной частоте вращения магнитного поля?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 387–407.
1. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 401–449.
2. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 382–392.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983, С. 204–245.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией трёхфазных асинхронных двигателей.
2. Изучить принцип работы асинхронных двигателей.
3. Осуществить пуск двигателя в ход.
4. Снять и проанализировать рабочие характеристики.

Теоретические пояснения

Основными частями трёхфазного асинхронного двигателя являются статор и вращающийся ротор. Трёхфазная система токов обмотки статора возбуждает в машине вращающееся магнитное поле, число пар полюсов которого определяется схемой обмотки статора, направление вращения поля зависит от порядка чередования фаз. На роторе асинхронного двигателя с фазным ротором имеется трёхфазная обмотка, выполненная, как и обмотка статора. Число фаз и число пар полюсов обмотки ротора равны числу фаз и числу пар полюсов обмотки статора. Фазы обмотки ротора соединены звездой, а их свободные концы выводятся к насаженным на вал трём контактными кольцам, поэтому асинхронный двигатель с таким ротором называется часто двигателем с контактными кольцами. Контактные кольца изолированы от вала и друг от друга. К контактным кольцам прижаты щетки, что позволяет включать в цепь обмотки ротора пусковой или регулировочный реостат.

Вращающий момент асинхронного двигателя возникает в результате взаимодействия вращающихся магнитных полей статора и ротора. Под действием момента, развиваемого двигателем, ротор вращается с частотой меньше частоты вращения поля, поэтому двигатели получили на-

звание асинхронных. Направление вращения ротора определяется направлением вращения магнитного поля. Чтобы изменить направление вращения ротора двигателя, необходимо изменить порядок чередования фаз путем переключения любых двух фаз обмотки статора.

Под рабочими характеристиками двигателя понимают зависимости $I_1, P_1, M_2, \cos \varphi, n_2, \eta$ как функции от полезной мощности P_2 на валу двигателя при неизменных номинальных значениях питающего напряжения и частоты.

Описание лабораторной установки

Схема трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором представлена рисунке 1.

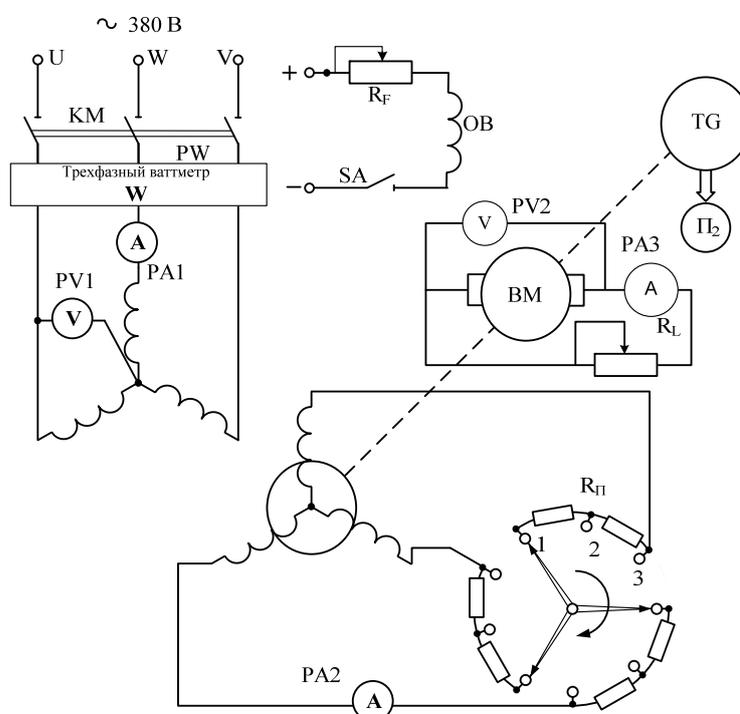


Рис.1

На панель лабораторной установки выведены: рукоятка переключателя R_{Π} «Добавочное сопротивление в цепи обмотки ротора»; переключатели режимов работы двигателя SA «Ток возбуждения генератора» и регулировочного сопротивления R_F «Ток возбуждения генератора»; кнопки «Пуск» - «Стоп» в цепи катушки пускателя KM .

В качестве нагрузки двигателя используется машина постоянного тока в генераторном режиме. Регулируя нагрузочное сопротивление R_L

«Нагрузка генератора» генератора, изменяют момент нагрузки на валу двигателя.

Порядок выполнения работы

I. Изучить конструкцию двигателя и ознакомиться с элементами электрической цепи, схема которой представлена на рис. 1.

II. Пуск двигателя.

Включение установки осуществляется:

- регулировочный реостат R_{Π} «Добавочное сопротивление в цепи ротора» крайнее левое положение;
- тумблер «Шунтирование приборов» вверх;
- тумблер SA «Ток возбуждения генератора» в положение «ВЫКЛ»;
- регулировочные реостаты R_F «Регулировка тока возбуждения генератора» и R_L «Нагрузка генератора» крайнее левое положение;
- запуск двигателя (нажимают кнопку «Пуск»);
- регулировочный реостат R_{Π} «Добавочное сопротивление в цепи ротора» крайнее правое положение (2 положения);
- тумблер «Шунтирование приборов» вниз.
- Это холостой ход двигателя – первый отсчет в таблице 1.

III. Рабочие характеристики двигателя.

1. Тумблер SA в положение «ВКЛ» - замыкают цепь якоря нагрузочного генератора.

2. Регулировочный реостат R_L устанавливают на максимальную нагрузку (5 ступеней вправо)

3. Регулировочным реостатом R_F плавно возбуждают генератор постоянного тока, увеличивая нагрузку на вал двигателя.

Снять 5-6 точек и занести в таблицу 1 показания приборов.

Таблица 1

$f_c = 50 \text{ Гц}$																	
$p =$																	
$n_1 =$																	
№	Опытные данные							Расчётные данные									
	U_{ϕ}	I_d	P_w	U_r	I_r	n_2	N	t	P_d	P_r	ΔP	ΔP_d	P_2	η	$\cos \varphi$	s	s'
	В	А	Вт	В	А	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	-	сек	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	%	-	%	%
1÷6																	

IV. Остановка двигателя.

Выключение установки осуществляется:

- регулировочный реостат R_L и R_F в крайнее левое положение;
- тумблер SA в положение «ВЫКЛ»;
- остановка двигателя (нажимают кнопку «Стоп»).

V. Расчет данных.

Мощность электрической энергии, подводимой к двигателю определить по показанию ваттметра: $P_D = P_W$.

Полезную электрическую мощность генератора постоянного тока определить по показаниям амперметра и вольтметра:

$$P_G = U_G \cdot I_G.$$

Суммарные потери двигателя и генератора составляют:

$$\Delta P = \Delta P_D + \Delta P_G = P_D - P_G.$$

Номинальные мощности двигателя и генератора близки по величине, поэтому можно принять, что потери энергии в двигателе равны потерям энергии в генераторе:

$$\Delta P_D = \Delta P_G \text{ и тогда } \Delta P_D = \frac{1}{2}(P_D - P_G).$$

Полезная мощность на валу двигателя:

$$P_2 = P_D - \Delta P_G.$$

Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия:

$$\cos \varphi = \frac{P_D}{3 \cdot U_\phi I_D}; \quad \eta = \frac{P_2}{P_D} \cdot 100\%.$$

Скольжение: $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$,

$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$ – синхронная частота вращения магнитного поля при частоте тока равной частоте сети; n_2 – частота вращения ротора; p – число пар полюсов.

Если число оборотов изменяется не значительно, то скольжение двигателя S также можно определить с помощью магнитоэлектрического амперметра РА2 с нулём по середине шкалы, включенного в одну из фаз обмотки ротора. Так как частота тока ротора в пределах нормальных нагрузок двигателя не превышает нескольких периодов в секунду, то магнитоэлектрический амперметр успевает отслеживать изменение направления тока и поэтому число полных колебаний его стрелки в одну секунду показывает величину частоты тока в роторе.

Таким образом, $f_2 = \frac{N}{t}$, Гц, где N – число полных колебаний стрелки магнитоэлектрического амперметра за время t секунд.

Тогда скольжение s ротора двигателя определяются по выражению:

$$s' = \frac{f_2}{f_1} = \frac{N}{50 \cdot t},$$

На основании табл.1 строят рабочие характеристики. По оси абсцисс направляют P_2 , по оси ординат направляют P_1 , $\cos \varphi$, n_2 , η в выбранном масштабе.

Примерный вид рабочих характеристик показан на рис. 2.

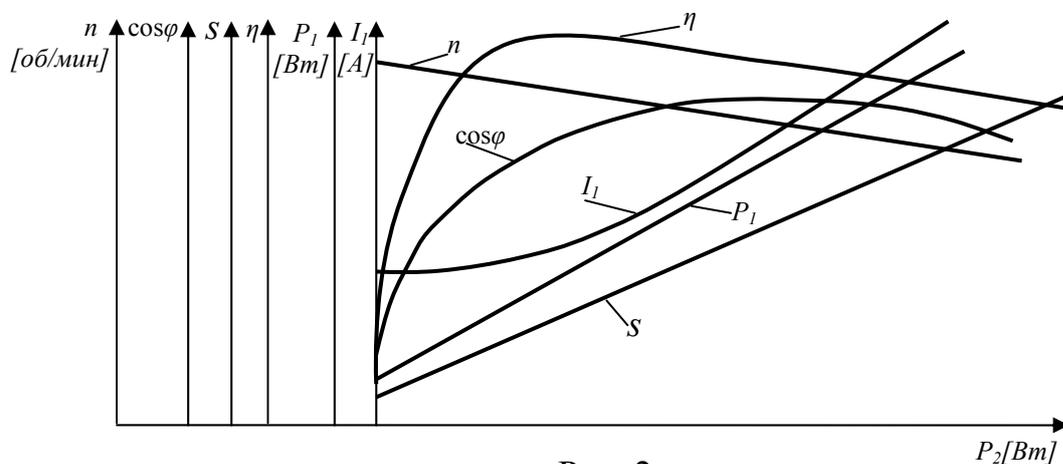


Рис. 2

VI. Письменно сформулировать выводы в виде ответов на следующие вопросы:

1. Сравнить результаты полученных скольжений s и s' .
2. Какова роль реостата R_D при пуске двигателя в ход?
3. Как объяснить изменение направления вращения ротора двигателя при изменении чередования фаз?
4. Почему изменение нагрузки генератора постоянного тока приводит к изменению момента сопротивления нагрузки на валу двигателя?

Контрольные вопросы

а) для допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Какова цель работы?
2. Рассказать об устройстве трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.

3. Каков порядок выполнения лабораторной работы?
4. Показать на рис. 1 схему асинхронного двигателя, условные обозначения статора и ротора, объяснить назначение реостата R_{II} .
5. Как осуществить пуск в ход трёхфазного асинхронного двигателя?
6. Что является нагрузкой для трёхфазного асинхронного двигателя?
7. Показать на электрической схеме, какими приборами можно измерить напряжение на зажимах генератора и ток нагрузки.
8. Пояснить по схеме способ измерения частоты вращения ротора трёхфазного асинхронного двигателя.
9. Как по частоте вращения ротора при известной частоте изменения напряжения сети установить частоту вращения магнитного поля и число пар полюсов двигателя?
10. Как подсчитать скольжение?

б) для защиты отчёта по лабораторной работе:

1. Назвать условия необходимые для возбуждения вращающегося магнитного поля.
2. Описать принцип работы трёхфазного асинхронного двигателя.
3. От чего зависит направление вращения ротора и как изменить направление вращения его на противоположное?
4. Как зависит частота вращения магнитного поля от частоты напряжения сети и от выполнения обмотки статора? Какая возможна максимальная частота вращения магнитного поля при частоте напряжения сети 50 Гц?
5. Почему возрастают токи в обмотках статора и ротора при пуске двигателя в ход? Привести уравнения, подтверждающие ответ.
6. Как влияет величина активного сопротивления фаз цепи ротора на пусковые свойства асинхронного трёхфазного двигателя?
7. Каково назначение пускового реостата в цепи ротора двигателя?
8. Когда возможен пуск трёхфазного асинхронного двигателя путём переключения фаз обмотки статора со звезды на треугольник?
9. При каких условиях асинхронная машина будет работать в режимах: а) двигателя, б) генератора, в) электромагнитного тормоза?
10. В каких пределах может меняться скольжение асинхронной машины в режимах двигателя, генератора, электромагнитного тормоза?
11. Изобразить естественную механическую характеристику трёхфазного асинхронного двигателя. Сравнить её с характеристикой, построенной по результатам выполненной лабораторной работы.
12. Какую величину называют скольжением? Какое скольжение называется критическим?

13. Меняются ли максимальный момент и критическое скольжение при изменении активного сопротивления в фазах ротора?
14. Что следует понимать под перегрузочной способностью трёхфазного асинхронного двигателя?
15. Назвать способы регулирования скорости вращения трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.
16. Изобразить искусственные механические характеристики двигателя при регулировании скорости вращения ротора путём введения регулировочного реостата в цепь ротора. Меняются ли при этом величины максимального и пускового моментов?
17. Какие потери энергии имеют место при работе асинхронного двигателя?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины / Под ред. В.Г. Герасимова: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997 с. 85-133.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000 с. 417-460.
3. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 401-406, 413-449.
4. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 383-386, 388-424.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Цель работы

1. Изучить принцип работы синхронного генератора.
2. Ознакомиться с конструкцией синхронной машины.
3. Снять и проанализировать основные характеристики синхронного генератора при работе в автономном режиме.

Теоретические пояснения

Синхронная машина состоит из двух основных частей: статора (неподвижная часть) и ротора (вращающаяся часть). На роторе расположена обмотка возбуждения, к которой через контактные кольца и щётки подводится постоянное напряжение от постороннего источника

или возбуждителя. Обмотка возбуждения служит для создания основного магнитного поля в машине. В пазах сердечника статора расположена трёхфазная обмотка переменного тока, которая иногда называется обмоткой якоря.

Синхронная машина используется главным образом как генератор, преобразующий механическую энергию в электрическую. Кроме того, она применяется как двигатель или как синхронный компенсатор.

Если к обмотке возбуждения синхронной машины подвести постоянный ток и ротор вращать первичным двигателем с частотой n , то магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения Φ_0 , будет индуцировать в обмотках статора (якоря) ЭДС, изменяющуюся с частотой $f_1 = \frac{p \cdot n}{60}$ Гц, где n -частота вращения ротора в об/мин, p -число пар полюсов ротора.

При подключении к обмотке статора потребителя электрической энергии под действием ЭДС в фазах обмотки статора и потребителя появятся токи. Синхронная машина начнёт отдавать потребителю электрическую энергию, т.е. будет работать генератором.

Свойства синхронного генератора отражаются его характеристиками. Важнейшими из них являются: характеристика холостого хода, внешняя и регулировочная характеристики.

Характеристикой холостого хода называется зависимость ЭДС генератора E_0 , работающего без нагрузки от тока в обмотке возбуждения I_B при постоянной частоте вращения ротора:

$$E_0(I_B) \text{ при } I = 0, n = n_{\text{НОМ}} = \text{const}.$$

Внешней характеристикой называется зависимость, показывающая как изменяется напряжение на зажимах обмотки статора генератора при изменении тока нагрузки, если частота вращения ротора, характер нагрузки и ток в обмотке возбуждения остаются неизменными:

$$U(I_\Gamma) \text{ при } I_B = \text{const}, \cos \varphi = \text{const}, n = n_{\text{НОМ}} = \text{const}.$$

Регулировочной характеристикой называется зависимость, показывающая как следует изменять ток в обмотке возбуждения при изменении нагрузки, чтобы при постоянных скорости вращения ротора и характера нагрузки, напряжение на зажимах обмотки статора генератора было постоянным:

$$I_B(I_\Gamma) \text{ при } U = U_{\text{НОМ}} = \text{const}, \cos \varphi = \text{const}, n = n_{\text{НОМ}} = \text{const}.$$

Описание лабораторной установки

Схема трехфазного синхронного генератора с явно выраженными полюсами представлена рисунке 1.

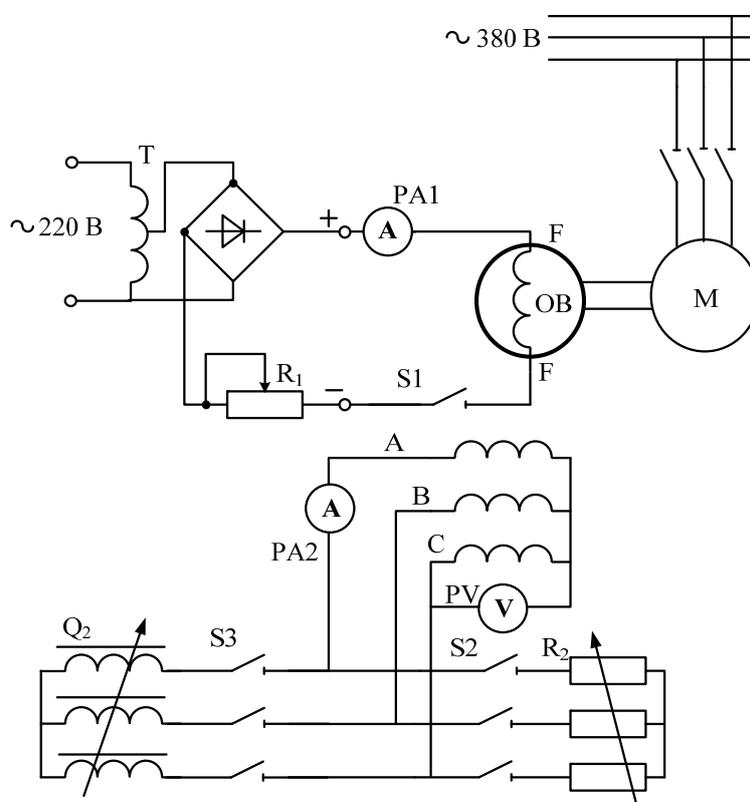


Рис.1

Ротор синхронного генератора приводится во вращение асинхронным двигателем М, включаемым кнопкой управления пускателя.

Обмотку возбуждения синхронного генератора (клеммы F) подключают к источнику постоянного напряжения выключателем S1 «Ток возбуждения генератора».

Регулирование тока обмотки возбуждения осуществляют регулировочным реостатом R₁ «Регулятор тока возбуждения генератора», который изменяет напряжение, подводимое от трансформатора к выпрямителю.

Клеммы трехфазной обмотки статора синхронного генератора A1 – A2, B1-B2, C1-C2 выведены на переднюю панель стенда. Амперметр PA2 и вольтметр PV являются измерительными приборами обмотки статора синхронного генератора.

Для включения активной нагрузки тумблер «Активная нагрузка генератора» переводится в положение «Вкл», а для регулирования ак-

тивной нагрузкой синхронного генератора служит реостат R_2 «Активная нагрузка генератора» с плавным изменением сопротивления.

В качестве реактивной нагрузки используется неподвижная асинхронная машина, соединенная по схеме поворотной реактивной катушки. Регулирование реактивной нагрузкой осуществляется регулировочным реостатом Q_2 «Регулятором индуктивной нагрузки генератора».

Порядок выполнения работы

I. Изучить конструкцию генератора и ознакомиться с элементами электрической цепи, схема которой представлена на рис.1.

II. Включение установки осуществляется:

- тумблеры $S1$ «Ток возбуждения генератора» и $S2$ «Активная нагрузка генератора» в положение «ВЫКЛ»;
- регулировочные реостаты R_1 «Регулировка тока возбуждения генератора» и Q_2 «Регулятор индуктивной нагрузки генератора» крайнее левое положение;
- запуск генератора (нажимают кнопку «Пуск»);
- тумблеры $S1$ «Ток возбуждения генератора» в положение «ВКЛ»;
- регулировочным реостатом R_1 «Регулировка тока возбуждения генератора» возбуждают генератор до значения тока возбуждения I_B .

III. Характеристика холостого хода

С помощью регулировочного реостата R_1 плавно уменьшая ток возбуждения до нуля снимают равномерно по $5 \div 7$ значений E и I_B во всем диапазоне изменения тока возбуждения. При снятии характеристики холостого хода ток возбуждения следует только уменьшать, не увеличивая его ни на одном этапе регулирования. Последний отсчет ЭДС производят при разомкнутом ключе $S1$ ($I_B = 0$).

Результаты измерений записывают в табл.1, по которым производят построение характеристики холостого хода, вид ее будет подобен характеристике, представленной на рис.2.

Таблица 1

№ п/п	E	I_B	$E_{OC} = \text{В},$ $I_{B0} = \text{А},$
	В	А	
1 ÷ 7			

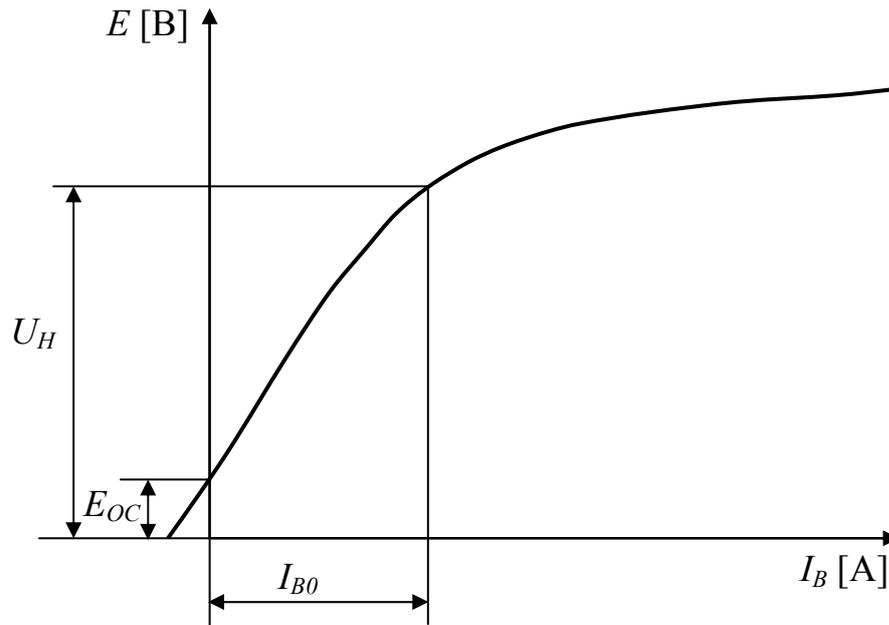


Рис.2

IV. Внешние характеристики

Внешнюю характеристику снимают для активно-реактивной нагрузки.

Для каждого режима нагрузки снимают по две характеристики: при увеличении тока нагрузки от нуля до номинального и при уменьшении (сбросе) нагрузки от номинального тока до нуля.

1. Регулировочным реостатом R_1 возбуждают генератор до значения тока возбуждения I_B . Эта точка первая точка внешней характеристики при увеличении нагрузки.

2. тумблеры S2 устанавливают в положении «Вкл» - реактивная нагрузка и «Вкл» - активная нагрузка.

3. С помощью реостата Q_2 плавно устанавливают максимально возможное сопротивление нагрузки. Результаты 4-5 измерений тока и напряжения записывают в таблицу 2 (столбец – увеличения нагрузки).

4. С помощью реостата Q_2 плавно устанавливают минимальное возможное сопротивление нагрузки. Результаты 4-5 измерений тока и напряжения записывают в таблицу 2 (столбец – уменьшения нагрузки).

Таблица 2

№	При увеличении нагрузки		При уменьшении нагрузки		$I_{B0} =$ А; $I_{BH} =$ А;
	U	I	U	I	
	В	А	В	А	
1 ÷ 5					

5. Используя результаты измерений, строят внешнюю характеристику, вид которой представлен на рис.3. Она позволяет определить повышение напряжения на клеммах обмотки якоря генератора при уменьшении тока нагрузки от номинального $I=I_H$ до нуля $I=0$

$$\Delta U = \frac{U_0 - U_H}{U_H} 100\%,$$

где U_0 – напряжение генератора, работающего в режиме холостого хода при $I_B = I_{BH}$.

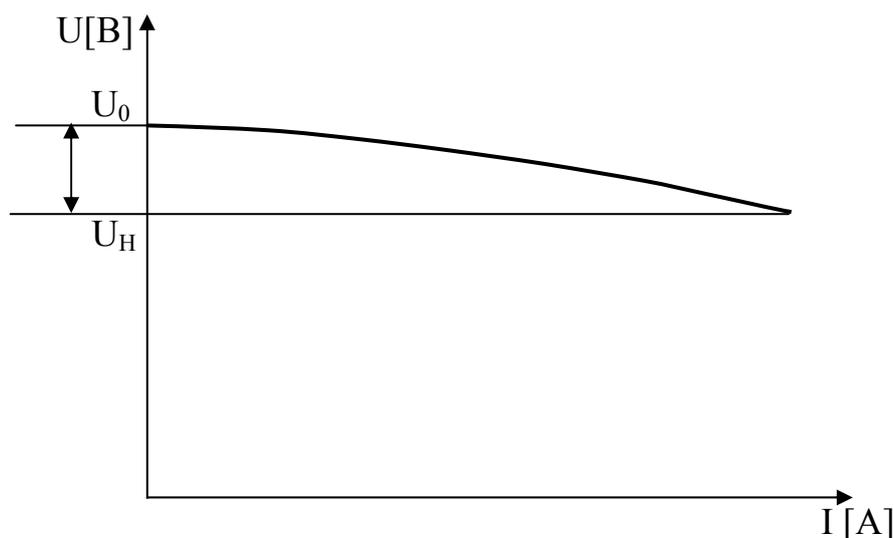


Рис.3

V. Регулировочные характеристики

Необходимо получить регулировочные характеристики при активно-индуктивной нагрузке.

6. Регулировочным реостатом R_1 возбуждают генератор до некоторого значения тока возбуждения I_B . Эта первая точка регулировочной характеристики, в обмотке статора генератора наводится ЭДС холостого хода, равная номинальному напряжению $E=U$.

7. Тумблеры S2 устанавливают в положении «Вкл» - реактивная нагрузка и «Вкл» - активная нагрузка.

8. Подключив к синхронному генератору нагрузку, устанавливают на нем максимальное значение сопротивления и увеличивают ток возбуждения генератора до тех пор, пока напряжение на клеммах обмотки статора генератора вновь установится равным номинальному. Уменьшая сопротивление, и, при этом, каждый раз увеличивая ток возбуждения генератора, обеспечивают неизменное, номинальное, значение напряжения на обмотке статора генератора. Результаты 4-5 измерений тока и напряжения записывают в таблицу 3.

9. Строят регулировочные характеристики. Определяется процентное увеличение тока возбуждения генератора ΔI_B , необходимое для поддержания неизменным напряжения на клеммах обмотки статора при переходе от холостого хода к номинальной нагрузке

$$\Delta I_B = \frac{I_{BH} - I_{B0}}{I_{B0}} 100\%,$$

где

I_{BH} - ток возбуждения генератора при номинальном токе якоря и $U = U_H$;

I_{B0} - ток возбуждения генератора на холостом ходу при $E = U_H$.

Таблица 3

№	I	I_B	$U_H =$ В ; $\cos \varphi =$ $\Delta I_{B\%} =$ А;
	А	А	
1 ÷ 5			

VI. Выключение установки осуществляется:

- регулировочный реостат Q_2 крайнее левое положение;
- тумблеры S2 и S1 в положение «ВЫКЛ»;
- остановка генератора (нажимают кнопку «Стоп»).

VII. Сформулировать выводы в виде письменных ответов на следующие вопросы:

1. Как объяснить вид полученной характеристики холостого хода.
2. Как можно регулировать напряжение на зажимах обмотки статора генератора.
3. Объяснить вид регулировочной характеристики.

Контрольные вопросы для домашней подготовки

а) для допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Каков порядок выполнения лабораторной работы?
3. Показать на схеме изображение синхронного генератора, условные обозначения статора и ротора.
4. Показать на схеме двигатель постоянного тока. Назначение двигателя в данной работе.

5. Что является нагрузкой для синхронного генератора в данной работе?
6. Какая зависимость называется характеристикой холостого хода и как она снимается?
7. Какая зависимость называется внешней характеристикой и как она снимается?
8. Какая зависимость называется регулировочной характеристикой и как она снимается?
9. На какие токи и напряжение (линейные, фазные) включены амперметр A_r и вольтметр V_r ?
10. Как осуществить пуск в ход двигателя постоянного тока?

б) для защиты отчета по лабораторной работе:

1. Объяснить принцип работы синхронного генератора.
2. Привести формулу действующего значения ЭДС, наводимой в фазе обмотки статора.
3. Как определяется частота изменения ЭДС в обмотке статора?
4. Привести уравнение электрического состояния фазы синхронного генератора.
5. Объяснить вид характеристики холостого хода синхронного генератора.
6. Объяснить вид внешней характеристики синхронного генератора.
7. Объяснить вид регулировочной характеристики синхронного генератора.
8. Как изменятся показания приборов в цепи обмотки статора генератора, если произойдет уменьшение частоты вращения ротора?
9. Как устроен ротор с явновыраженными полюсами и с неявновыраженными полюсами?
10. Как осуществляется питание обмотки возбуждения ротора?
11. В каких условиях работы применяют генераторы с ротором, имеющим явновыраженные полюса и неявновыраженные полюса?
12. Назначение и конструкция статора синхронного генератора.
13. Назначение и устройство ротора синхронного генератора.
14. С какой целью сердечник статора синхронного генератора выполняют из листов электротехнической стали?
15. Назвать потери мощности в синхронном генераторе.
16. Привести выражение для расчета мощности, отдаваемой синхронным генератором трёхфазному приёмнику.
17. Как описать мощность механической энергии, поступающей в синхронный генератор от первичного двигателя?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины /Под ред. В.Г. Герасимова: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997, с. 147 -160, 172 -174.
2. Касаткин А. С., Немцов М. В. Электротехника. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000, с. 467 - 475.
3. Борисов Ю. М., Липатов Д. Н., Зорин Ю. Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 472 - 483.
4. Волынский Б. А., Зейн Е. Н., Шатерников В. Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987, 427 - 440.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Цель работы:

1. Изучить устройство трансформатора и принцип действия.
2. Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания.
3. Определить параметры схемы замещения трансформатора.
4. Исследовать работу трансформатора при нагрузке.
5. Построить характеристики трансформатора в функции тока вторичной обмотки.

Теоретические пояснения

Трансформатором называется электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию переменного тока другого напряжения при неизменной частоте.

Основными частями трансформатора являются замкнутый ферромагнитный сердечник и две электрически не связанные между собой обмотки. На одну из обмоток трансформатора подаётся напряжение от источника электрической энергии - эта обмотка называется первичной. К другой обмотке, называемой вторичной, подключаются приёмники.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. Переменный магнитный поток, возбуждаемый в сердечнике трансформатора, наводит в обеих обмотках электродвижущие силы, действующие значения которых равны

$$E_1 = 4,44 f \cdot W_1 \cdot \Phi_m ;$$

$$E_2 = 4,44 f \cdot W_2 \cdot \Phi_m ,$$

где

Φ_m - амплитуда магнитного потока;

f - частота переменного тока;

W_1, W_2 - соответственно числа витков первичной и вторичной обмоток.

Трансформаторы с соотношением ЭДС, первичной и вторичной обмоток $E_1 > E_2$ называют понижающими, с $E_1 < E_2$ – повышающими.

Отношение ЭДС обмоток трансформатора называется коэффициентом трансформации, который определяется $K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$.

В режиме холостого хода $E_2 = U_{20}$, $E_1 \approx U_{10}$, поэтому коэффициент трансформации можно выразить через отношение напряжений $K = \frac{U_{10}}{U_{20}}$.

При анализе режимов работы трансформатора цепи первичной и вторичной обмоток могут быть представлены схемами замещения - Т-образной или Г-образной. На рис. 1 показана Г-образная схема замещения.

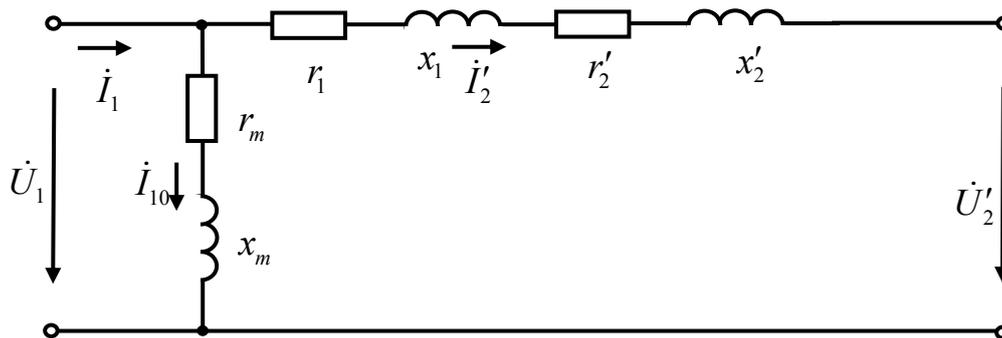


Рис. 1.

Параметры схемы замещения:

r_1, r_2', x_1, x_2' - соответственно активные и индуктивные сопротивления рассеяния первичной и приведённой вторичной обмоток.

r_m, x_m - активное и индуктивное сопротивления ветви намагничивания, зависящие от магнитного потока сердечника.

Параметры схем замещения могут быть определены по данным опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.

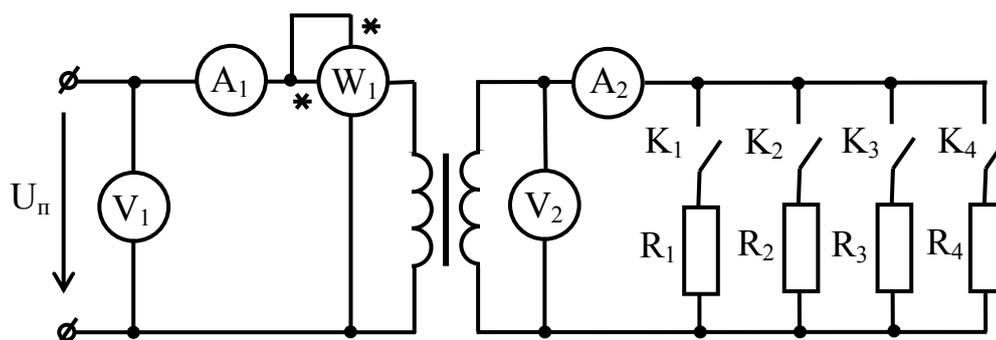


Рис. 2

2. Осуществить опыт холостого хода. В цепь первичной обмотки включить амперметр A_0 вместо A_1 . Цепь вторичной обмотки разомкнуть, на зажимы первичной обмотки подать номинальное напряжение питания $U_n = U_{10} = U_{1н}$. Показания приборов и результаты расчета записать в таблицу 1.

Таблица 1.

Режим работы	U_{10}	U_{20}	I_{10}	P_0	$\cos \varphi_0$	r_m	Z_m	x_m	K
	В	В	А	Вт	-	Ом	Ом	Ом	-
холостой ход									

По показаниям приборов рассчитать коэффициент трансформации и коэффициент мощности

$$k = \frac{U_{10}}{U_{20}}; \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} I_{10}}.$$

Определить параметры ветви намагничивания Г-образной схемы замещения

$$r_m = \frac{P_0}{I_{10}^2}; \quad Z_m = \frac{U_{10}}{I_{10}}; \quad x_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2},$$

где $Z_m = r_m + jx_m$ – полное комплексное сопротивление ветви намагничивания.

3. Осуществить опыт короткого замыкания. Цепь вторичной обмотки трансформатора замкнуть накоротко. К первичной обмотке подвести

пониженное напряжение питания $U_{\text{п}} = U_{1\text{к}}$ от другого источника. Величина напряжения устанавливается такая, при котором ток во вторичной цепи будет равен номинальному. Ток в первичной цепи в этом случае также равен номинальному $I_{1\text{к}} = I_{1\text{н}}$.

Внимание: Включение трансформатора при замкнутой накоротко вторичной обмотке на номинальное напряжение U_{10} **недопустимо!**

Определить коэффициент мощности трансформатора при коротком замыкании

$$\cos \varphi_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}}}{U_{1\text{к}} I_{1\text{к}}},$$

где $P_{\text{к}}$ – потери мощности в обмотках трансформатора при номинальных токах. Результаты измерений и расчетов внести в таблицу 2. Определить параметры ветви Г-образной схемы замещения:

$$r_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}}}{I_{1\text{к}}^2}; \quad Z_{\text{к}} = \frac{U_{1\text{к}}}{I_{1\text{к}}}; \quad x_{\text{к}} = \sqrt{Z_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2}.$$

При $r_{\text{к}} = r_1 + r_2'$; $x_{\text{к}} = x_1 + x_2'$; $x_1 \approx x' = 0,5x_{\text{к}}$.

Таблица 2

Режим работы	$U_{1\text{к}}$	$I_{1\text{к}}$	$P_{\text{к}}$	$U_{2\text{к}}$	$\cos \varphi_{\text{к}}$	$I_{2\text{к}}$	$Z_{\text{к}}$	$r_{\text{к}}$	$x_{\text{к}}$
	В	А	Вт	В	-	А	Ом	Ом	Ом
короткое замыкание									

4. Исследовать работу трансформатора при нагрузке. Для этого в соответствии со схемой на рис. 2, последовательно замыкая ключи K_1, K_2, K_3, K_4 увеличить нагрузку. К первичной обмотке трансформатора подвести номинальное напряжение $U_{\text{п}} = U_1 = U_{1\text{н}}$. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.

Полезную мощность P_2 рассчитывают по формуле $P_2 = U_2 I_2$, так как $\cos \varphi_2 = 1$ вследствие того, что нагрузка на выходе трансформатора носит чисто активный характер. Коэффициент мощности определяется по формуле $\cos \varphi = \frac{P_1}{U_{1\text{н}} I_1}$.

Коэффициент полезного действия можно определить по выражению

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

Таблица 3

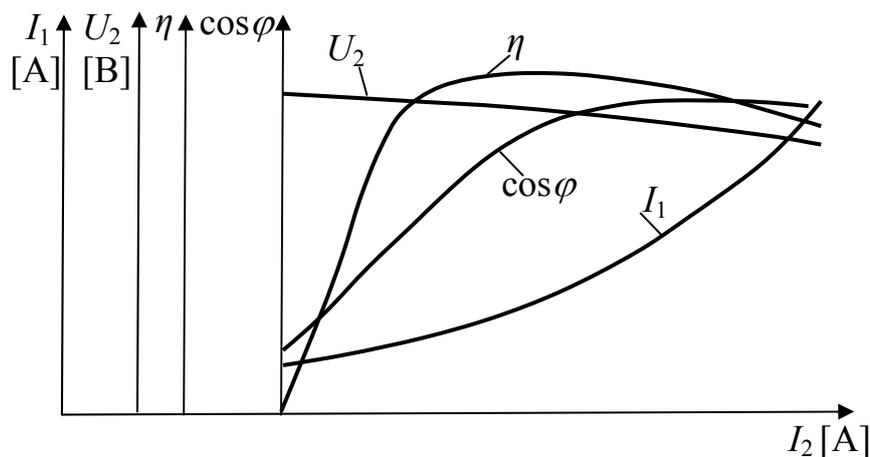
№ п/п	Экспериментальные данные				Расчетные данные		
	I_1	P_1	U_2	I_2	P_2	$\cos\varphi$	η
	А	Вт	В	А	Вт	—	—
1÷5							

5. По полученным данным и данным опыта холостого хода построить зависимости

$$\eta = f_1(I_2); \quad \cos\varphi = f_2(I_2); \quad U_2 = f_3(I_2); \quad I_1 = f_4(I_2).$$

6. Сформулировать выводы в виде письменных ответов на следующие вопросы:

1. Объяснить вид внешней характеристики.
2. Чем отличается режим короткого замыкания и холостого хода трансформатора?
3. Как определяют потери в меди и потери в стали трансформатора?



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

а) для допуска к работе:

1. Порядок выполнения лабораторной работы.
2. Назвать элементы цепи, представленные на схеме рис.2, и объяснить их назначение.
3. Устройство трансформатора.
4. Принцип действия и области применения трансформатора.
5. Основные характеристики трансформатора.
6. Что называется номинальной мощностью трансформатора?
7. Цель работы.

8. Для чего осуществляют опыты холостого хода и короткого замыкания?

9. Как осуществляют в работе опыт холостого хода?

10. Что необходимо выполнить для проведения опыта короткого замыкания?

11. Почему нельзя включать первичную обмотку на номинальное напряжение при опыте короткого замыкания?

12. Какие данные необходимо иметь для того, чтобы построить внешнюю характеристику трансформатора?

13. Какие параметры схемы замещения можно определить из данных опыта холостого хода?

14. Какие параметры схемы замещения можно определить из данных опыта короткого замыкания?

15. Каким способом будете определять к.п.д. трансформатора в данной работе?

б) для защиты отчёта по лабораторной работе:

1. Какова причина разницы напряжений на зажимах первичной и вторичной обмоток?

2. Можно ли использовать данный трансформатор для преобразования электрической энергии в цепи постоянного тока?

3. Что понимают под изменением напряжения на зажимах вторичной обмотки?

4. Зависит ли изменение вторичного напряжения и внешняя характеристика трансформатора от характера нагрузки?

5. В чём отличие автотрансформатора (ЛАТРа) и однофазного трансформатора?

6. Какие способы определения к.п.д. трансформатора Вы знаете?

7. Какое напряжение называют напряжением номинального короткого замыкания?

8. Что называется коэффициентом трансформации?

9. Что такое номинальная мощность однофазного трансформатора?

10. Почему с изменением нагрузки во вторичной цепи трансформатора изменяется ток в первичной обмотке?

11. Объяснить характер изменения внешней характеристики?

12. Объяснить характер изменения зависимости $\cos\varphi$ от тока нагрузки

13. Почему в режиме холостого хода $\cos\varphi$ не равен нулю?

14. Объяснить зависимость η от тока нагрузки I_2 ?

15. Как можно определить электрические потери в обмотках трансформатора?

16. Как можно определить потери в стали трансформатора?

17. Чем определяется величина тока первичной обмотки трансформатора в режиме холостого хода?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 387–407.
2. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 401–449.
3. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 382–392.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983, С. 204–245.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП СОЕДИНЕНИЙ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы:

1. Изучить, что такое группа соединений обмоток трансформатора, методы ее определения.
2. Исследовать влияние схем соединений и маркировки клемм обмоток на группу соединений в трехфазном трансформаторе.

Теоретические пояснения

Первичные и вторичные обмотки трехфазного трансформатора могут соединяться либо в звезду (Y), либо в треугольник (Δ). Соединение обмоток трансформатора обозначают в технической документации Y/Y, Δ/Δ , Y/ Δ , Δ /Y, при этом в числителе указывается способ соединения фаз высокого напряжения (ВН), в знаменателе – соединение фаз низкого напряжения (НН). Если от обмотки трехфазного трансформатора, соединенной в звезду, выводится нулевой провод, то такое соединение обозначают Y₀.

Следует иметь в виду, что отношение линейных напряжений $U_{л1}$ и $U_{л2}$ трехфазного трансформатора зависит не только от чисел витков первичной и вторичной обмоток w_1 и w_2 , но и от способов их соединений:

$$\text{при Y/Y} \quad \frac{U_{л1}}{U_{л2}} = \frac{w_1}{w_2};$$

$$\begin{aligned} \text{при } Y/\Delta \quad & \frac{U_{л1}}{U_{л2}} = \frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}; \\ \text{при } \Delta/Y \quad & \frac{U_{л1}}{U_{л2}} = \frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}. \end{aligned}$$

В зависимости от сдвига фаз между линейными первичными и вторичными напряжениями трансформаторы разделяются на группы соединений, причем каждую группу составляют трансформаторы с одинаковым сдвигом по фазе между указанными напряжениями.

Для обозначения группы соединений обмоток трехфазного трансформатора выбирается ряд чисел от 1 до 12, причем здесь условно принято, что единица соответствует 30° , по аналогии с углами между минутной и часовой стрелками часов при 1, 2, ..., 12 час. При определении группы соединений с вектором напряжения обмотки высшего напряжения нужно совместить минутную стрелку, а с вектором напряжения обмотки низшего напряжения – часовую стрелку. Отсчет угла производится от минутной стрелки к часовой стрелке по направлению их вращения.

Описание лабораторной установки

Объектом исследования является стержневой понижающий трехфазный трансформатор (рис. 1).

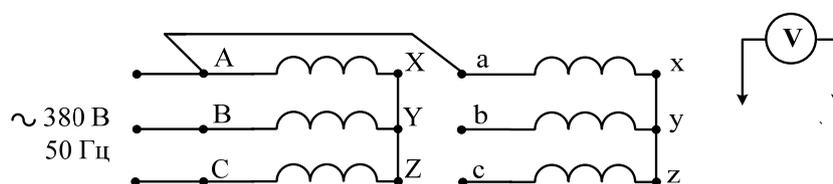


Рис. 1

Первичная обмотка трехфазного трансформатора соединяется в звезду (Y) и на начала фаз подается переменное напряжение 380 В. Фазы вторичной обмотки трансформатора соединяются либо в звезду (Y), либо в треугольник (Δ), и начала фазы первичной (A) и вторичной (a) обмоток соединяются в общую точку. С помощью вольтметра *V* производятся необходимые измерения.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему опытов согласно таблице 1., изменяя маркировку и схему соединения вторичной обмотки понижающего трехфазного трансформатора.

2. На первичную обмотку подать номинальное переменное напряжение 380 В.

3. Измерить линейные напряжения первичной и вторичной обмоток трехфазного трансформатора, а также напряжения между клеммами B и b , B и c , C и b , C и c .

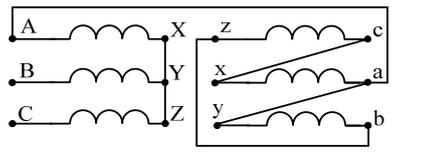
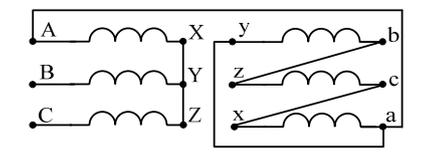
4. Результаты измерений занести в таблицу 1.

5. Графически определить группы соединений трехфазного трансформатора. Для этого в соответствии с масштабом строят треугольник линейных напряжений обмотки высокого напряжения ΔABC . Построение треугольника линейных напряжений обмотки низкого напряжения Δabc производят следующим образом. Положение точки a совпадает с точкой A , так как клеммы a и A электрически соединены. Точку b находят на пересечении дуг окружностей, проведенных из точек B и C , как из центров, радиусами, равными соответственно U_{Bb} и U_{Cb} . Точку c находят на пересечении дуг окружностей, проведенных также из точек B и C , но радиусами, равными соответственно U_{Bc} и U_{Cc} . Группа соединений обмоток трехфазного трансформатора определяется углом, измеренным по часовой стрелке между одноименными линейными напряжениями U_{AB} , U_{ab} и поделенными на 30° . Все пары названных дуг окружностей имеют по две точки пересечения, поэтому для недопущения ошибок при определении местонахождения точек b и c нужно помнить, что эти точки располагаются во всех диаграммах на окружности радиусом линейного напряжения обмотки низкого напряжения, проведенной из точки A , как из центра.

Таблица 1.

№	Схема соединения обмоток	$U_{л1}$	$U_{л2}$	U_{Bb}	U_{Bc}	U_{Cb}	U_{Cc}	Группа
		В	В	В	В	В	В	
1.								
2.								

3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									

11.								
12.								

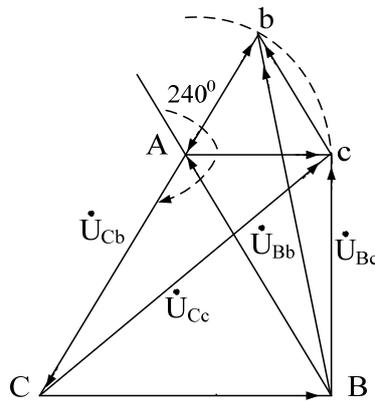


Рис. 2.

На рисунке 2 приведена векторная диаграмма трехфазного трансформатора, имеющего группу соединений обмоток $Y/Y - 8$.

6. Сформулировать выводы в виде письменных ответов на следующие вопросы:

- сколько групп соединения обмоток можно получить у трехфазного трансформатора?
- от чего зависит группа соединения обмоток трансформатора?
- когда можно получить только четные (нечетные) группы соединений обмоток трансформатора?

Контрольные вопросы

а) для допуска к выполнению лабораторной работы:

- 1) Какова цель лабораторной работы?
- 2) Порядок выполнения лабораторной работы.
- 3) Поясните устройство и конструкцию трехфазного трансформатора.
- 4) Как принято обозначать клеммы обмоток высокого и низкого напряжения трансформатора?
- 5) Что понимают под группой соединения обмоток трансформатора?

- 6) Каким способом определяется группа соединений обмоток трансформатора?
- 7) Поясните, как производится построение векторной диаграммы для определения группы соединения трехфазного трансформатора.
- 8) Как зависит коэффициент трансформации от способа соединения фаз обмоток высокого и низкого напряжения?
- б) для защиты отчета по лабораторной работе:**
- 1) Что называется коэффициентом трансформации трансформатора?
- 2) Сколько и какие группы можно получить в трехфазном трансформаторе?
- 3) Какие группы соединений и как их можно получить в однофазном трансформаторе?
- 4) По векторной диаграмме, указанной преподавателем, изобразить схему соединения трехфазного трансформатора.
- 5) Для схемы соединения трехфазного трансформатора, указанной преподавателем, определить группу соединений обмоток.
- 6) Какой способ соединения обмоток трехфазного трансформатора обеспечивает получение четных групп?
- 7) Какой способ соединения обмоток трехфазного трансформатора обеспечивает получение нечетных групп?
- 8) Почему не допускается параллельная работа трехфазных трансформаторов с разными группами соединения обмоток?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника и электроника: В трех книгах, кн. 2: Электромагнитные устройства и электрические машины/ Под ред. В. Г. Герасимова: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997, с.29 – 31.
2. Борисов Ю. М., Липатов Д. Н., Зорин Ю. Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985, с.322 – 326.
3. Волынский Б. А., Зейн Е. Н., Шатерников В. Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987, с.318 – 327.
4. Касаткин А. С., Немцов М. В. Электротехника. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000, с.216 – 222.

Учебное издание

АРИСТОВА Людмила Ивановна
КУРЕЦ Валерий Исаакович
ЛУКУТИН Алексей Владимирович
ХОХЛОВА Татьяна Евгеньевна

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Электротехника и электроника» часть 2 «Электрические машины»
для студентов неэлектротехнических специальностей

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.00.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать Хегох. Усл. печ. л. 000. Уч.-изд. л. 000.
Заказ XXX. Тираж 150 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru