

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ
СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Практикум

ПЕНЗА 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

Исследование СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ электроприводов

Практикум

Составители:

В. Н. Ашанин, С. Г. Исаев,
С. Е. Ларкин, В. С. Чапаев

Пенза
Издательство ПГУ
2025

УДК 621.313
И88

Рецензент

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Транспортные машины»
Пензенского государственного университета
В. В. Салмин

Исследование силовых элементов электроприводов :
И88 практикум / сост.: В. Н. Ашанин, С. Г. Исаев, С. Е. Ларкин,
В. С. Чапаев. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2025. – 84 с.

Описан лабораторный практикум по исследованию машин постоянного и переменного токов на базе универсального лабораторного комплекса «ЭЛОС-ПО» ТД «Профобразование» г. Казани. Приведены необходимые краткие сведения некоторых разделов теории электрических машин.

Издание подготовлено на кафедре «Электроэнергетика и электротехника» и предназначено для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по дисциплине «Электрические машины».

УДК 621.313

© Пензенский государственный
университет, 2025

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Ознакомление с составом стенда, назначением и техническими характеристиками основных блоков.....	6
Лабораторная работа № 2. Исследование однофазного трансформатора напряжения	29
Лабораторная работа № 3. Исследование генераторов постоянного тока независимого и параллельного возбуждения.....	42
Лабораторная работа № 4. Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения	55
Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазного асинхронного двигателя малой мощности	72
Список литературы	83

Введение

Неотъемлемой частью современных систем автоматического управления технологическими процессами являются системы электропривода на основе электрических машин. Они отличаются высокой надежностью и экологичностью, простотой обслуживания, удобством подвода и отвода энергии, большим диапазоном номинальных мощностей (от долей ватта до сотен мегаватт) и частот вращения, небольшой стоимостью при серийном производстве. Эти преимущества обеспечивают широкое применение электроприводов, силовой частью которых являются электрические машины, во всех отраслях народного хозяйства.

Электрические машины разделяются на машины переменного и постоянного тока.

К машинам переменного тока в зависимости от принципа действия и особенностей электромагнитной системы относятся в том числе трансформаторы и асинхронные машины.

Трансформатор – электромагнитное устройство, предназначенное чаще всего для преобразования переменного напряжения посредством электромагнитной индукции без изменения его частоты. Трансформаторы применяются в системах передачи и распределения электрической энергии, в выпрямительных устройствах, в устройствах связи, автоматики и вычислительной техники.

Асинхронный электрический двигатель – электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в механическую, частота вращения ротора которого меньше частоты вращения магнитного поля, создаваемого током обмотки статора. Простота устройства и высокая надежность обеспечивают их широкое применение в качестве электропривода различных производственных механизмов и промышленных установок.

Электрические машины постоянного тока обратимы и предназначены для преобразования электрической энергии в механическую (двигатель) или для обратного преобразования – механической энергии в электрическую (генератор).

Двигатели постоянного тока главным образом применяют для электроприводов промышленных механизмов, требующих регулирования частоты вращения в широких пределах (тяговый электропривод, сложные металлообрабатывающие станки, грузоподъемные и землеройные машины и пр.).

Генераторы постоянного тока применяют в качестве источников питания тяговых электроприводов, сварочных аппаратов, зарядки аккумуляторных батарей.

В данном практикуме предлагается углубленное изучение характеристик электрических машин.

Лабораторная работа № 1

Ознакомление с составом стенда, назначением и техническими характеристиками основных блоков

Цель работы: ознакомиться с составом стенда лаборатории 7а-120, назначением и техническими характеристиками основных блоков.

Программа работы:

1. Изучить состав стенда, назначение и технические характеристики основных блоков, используя методические указания к данной лабораторной работе.
2. Составить отчет по лабораторной работе, сделать выводы, ответить на контрольные вопросы.

Методические указания

1. Назначение стенда

Лабораторный комплекс «Электротехника и основы электроники» ЭЛОС-ПО предназначен для проведения лабораторных занятий, в том числе по дисциплине «Электрические машины».

2. Состав и общие характеристики стенда

Аппаратная часть стенда выполнена по моноблочному принципу и содержит 20 модулей (выделенные модули используются далее при изучении электрических машин):

1. Модуль амперметров переменного тока – 1 шт.
2. Модуль амперметров постоянного тока – 1 шт.
3. Модуль асинхронного двигателя – 1 шт.
4. Модуль ввода-вывода – 1 шт.
5. Модуль вольтметров – 1 шт.
6. Модуль генератора постоянного тока – 1 шт.
7. Модуль двигателя постоянного тока – 1 шт.
8. Модуль логических элементов и триггеров – 1 шт.
9. Модуль мультиметров – 1 шт.
10. Модуль однофазного выпрямителя – 1 шт.
11. Модуль однофазного трансформатора – 1 шт.
12. Модуль операционного усилителя – 1 шт.
13. Модуль питания – 1 шт.
14. Модуль полупроводниковых приборов – 1 шт.

15. Модуль реактивных элементов – 1 шт.
 16. Модуль резисторов – 1 шт.
 17. Модуль транзисторного усилителя – 1 шт.
 18. Модуль трехфазного трансформатора – 1 шт.
 19. Модуль управляемого выпрямителя – 1 шт.
 20. Функциональный генератор – 1 шт.
 21. Электромашинный агрегат.
 22. Ваттметр Д5064.
 23. Тахометр DM6234P+.
 24. Набор аксессуаров (проводников-соединителей).
 25. Автотрансформатор.
 26. Компьютер.
 27. Диск с программным обеспечением.
- Общий вид стенда показан на рис. 1.1.

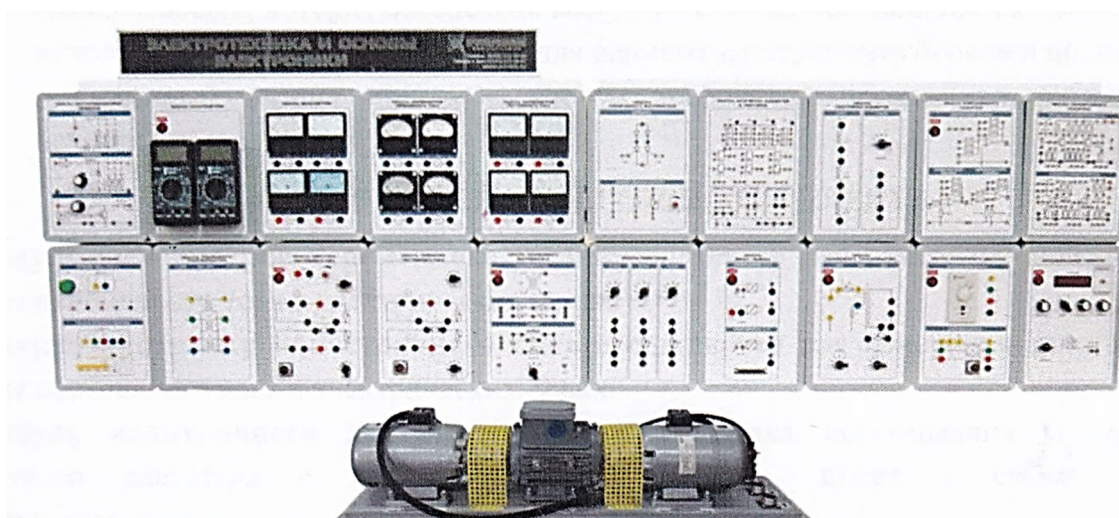


Рис. 1.1. Общий вид стенда «ЭЛОС-ПО»

Общие характеристики стенда:

Электропитание:

- от однофазной сети переменного тока – 220 В;
- от трехфазной сети переменного тока – 380 В;
- частота питающего напряжения – 50 Гц;
- потребляемая мощность – 500 Вт.

Исполнение – настольное.

Масса стенда, не более – 90 кг.

Габаритные размеры (Ш×В×Г), мм: 1100×800×350.

Условия эксплуатации:

- диапазон рабочих температур: +10...+35°C;
- влажность – 80 %.

Рекомендуемое количество человек, одновременно и активно работающих с комплектом, – не менее 2.

3. Краткое описание назначения модулей стенда, используемых при выполнении лабораторных работ по электрическим машинам

Модуль амперметров переменного тока предназначен для измерения действующего значения переменного тока в электрических цепях.

Модуль амперметров постоянного тока предусмотрен для измерения значения постоянного тока в электрических цепях.

Модуль асинхронного двигателя предназначен для исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, имеет в своем составе преобразователь частоты.

Модуль ввода-вывода обеспечивает ввод сигналов в персональный компьютер через датчики тока и напряжения, а также осциллографирование временных процессов.

Модуль вольтметров предназначен для измерения действующего значения напряжения в цепях постоянного и переменного тока.

Модуль генератора постоянного тока предназначен для исследования основных свойств генератора постоянного тока, а также для использования в качестве нагрузочной машины при исследовании двигателя постоянного тока и асинхронного двигателя.

Модуль двигателя постоянного тока (ДПТ) разработан для исследования свойств двигателей постоянного тока; содержит в своем составе регулируемый источник питания ДПТ и мнемосхему ДПТ с включенными реостатами в цепи якоря и обмотки возбуждения.

Модуль мультиметров предназначен для измерения активного сопротивления элементов электрической цепи, токов и напряжений, а также ряда других параметров.

Модуль однофазного трансформатора включает в свой состав однофазный трансформатор для исследования его характеристик и параметров.

Модуль питания предназначен для питания лабораторных модулей стенда напряжением переменного тока 220 В с функцией защитного отключения, а также низковольтным постоянным напряжением.

Электромашинный агрегат содержит в своем составе две электрические машины постоянного тока и асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, смонтированные на единой станине; валы машин соединены механически.

Ваттметр предназначен для измерения активной мощности в однофазных электрических цепях переменного и постоянного токов.

Тахометр разработан для измерения скорости вращения вала электрических машин.

Автотрансформатор предназначен для регулирования напряжения при исследовании однофазного трансформатора.

4. Описание и технические характеристики модулей стенда, используемых при выполнении лабораторных работ по электрическим машинам:

4.1. Модуль амперметров переменного тока (рис. 1.2).

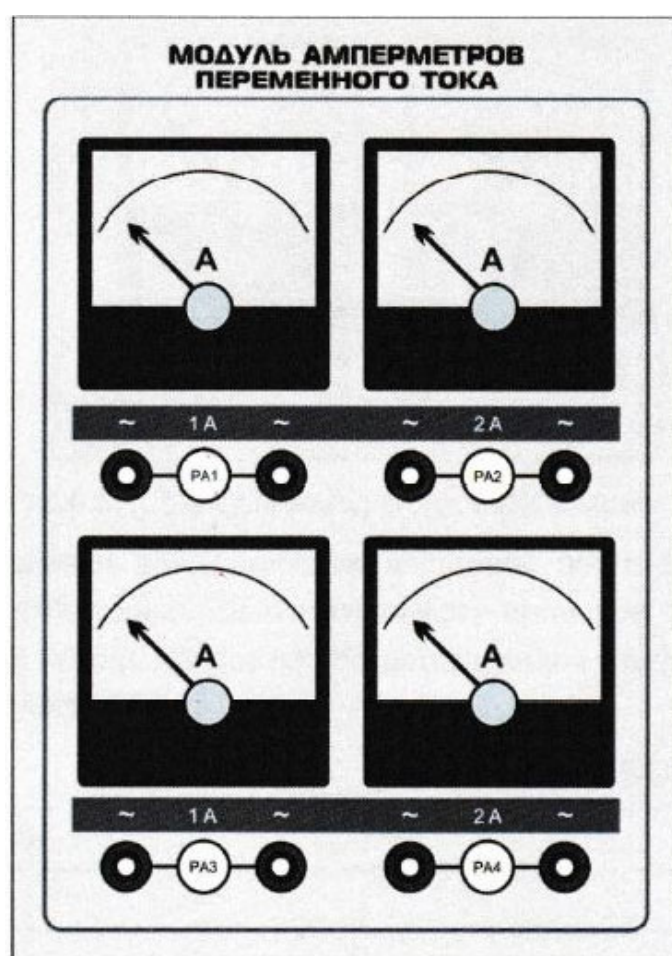


Рис. 1.2. Модуль амперметров переменного тока

Модуль предназначен для измерения действующего значения переменного тока в электрических цепях посредством стрелочных измерительных приборов РА1–РА4. У каждого амперметра на лицевую панель выведены соответствующие гнезда для подключения прибора в исследуемую электрическую цепь (табл. 1.1).

**Технические характеристики приборов
модуля амперметров переменного тока**

Количество амперметров	4
Рабочее положение	Вертикальное
Класс точности	2,5
Пределы измерения тока РА1, РА3, А	0–1
Пределы измерения тока РА2, РА4, А	0–2
Номинальная частота, Гц	50

4.2. Модуль амперметров постоянного тока (рис. 1.3).

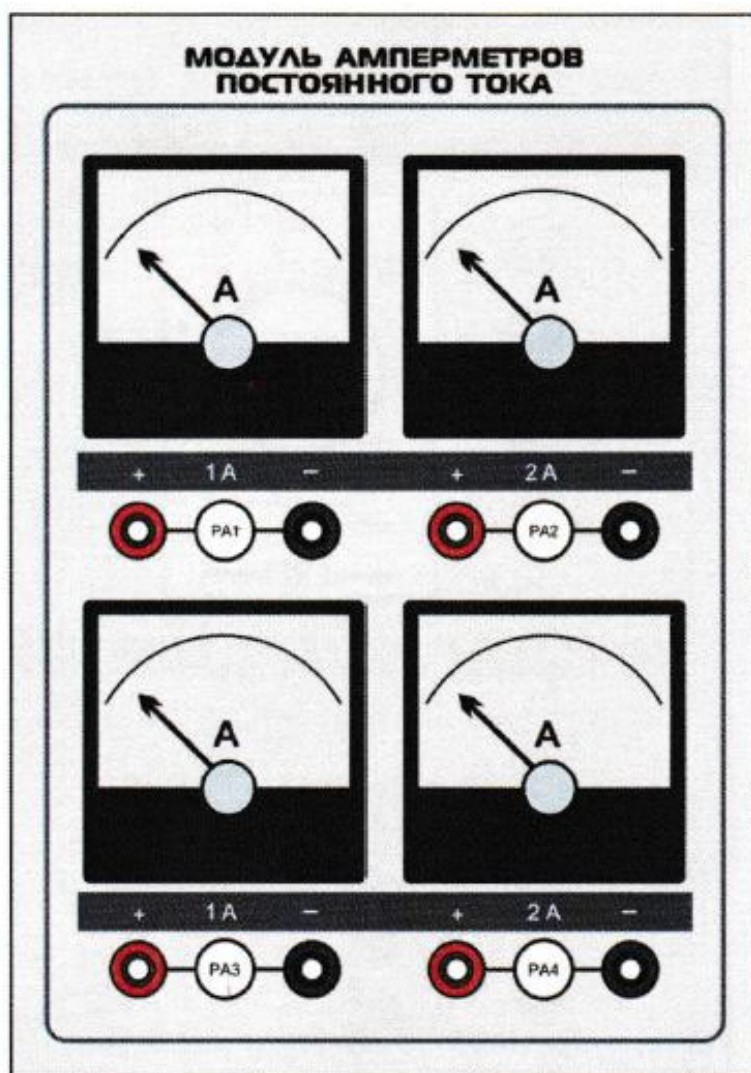


Рис. 1.3. Модуль амперметров постоянного тока

Модуль предназначен для измерения значения постоянного тока в электрических цепях посредством стрелочных измерительных приборов РА1–РА4. У каждого амперметра на лицевую панель выведены

соответствующие гнезда для подключения прибора в исследуемую электрическую цепь (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Технические характеристики приборов
модуля амперметров постоянного тока**

Количество амперметров	4
Рабочее положение	Вертикальное
Класс точности	2,5
Пределы измерения тока PA1, PA3, A	0–1
Пределы измерения тока PA2, PA4, A	0–2

4.3. Модуль асинхронного двигателя (рис. 1.4).

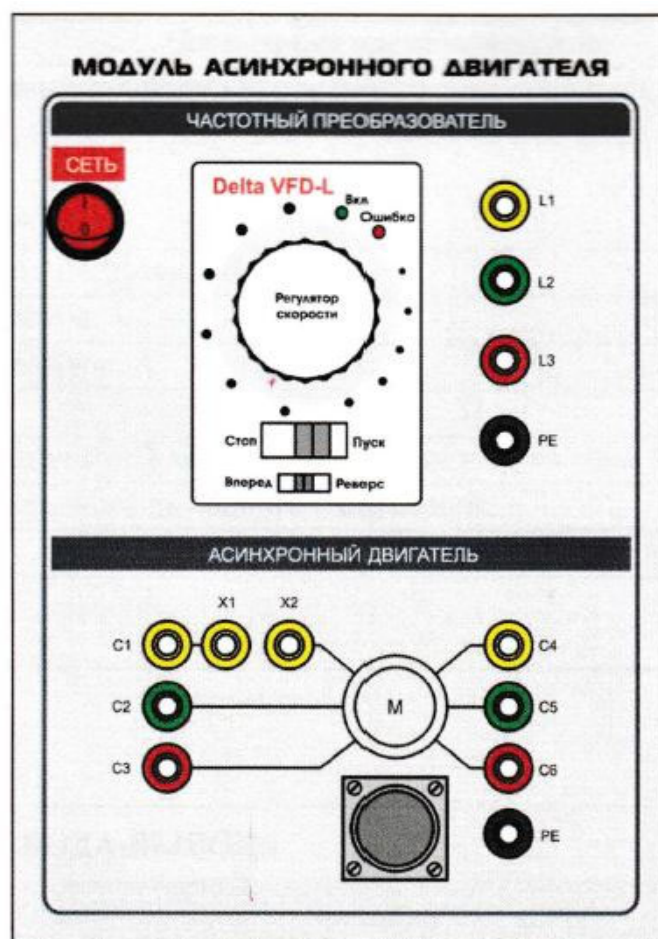


Рис. 1.4. Модуль асинхронного двигателя

Модуль предназначен для исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и содержит в своем составе два блока: «Частотный преобразователь» и «Асинхронный двигатель».

Блок частотного преобразователя представляет собой реальную модель преобразователя частоты Delta VFD-L и служит для управления режимами работы трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. На лицевую панель выведены следующие органы управления и коммутации:

- клавишный выключатель питания «СЕТЬ»;
- выходные клеммы фаз L1, L2, L3;
- клемма защитного проводника PE;
- регулятор скорости вращения валов электромашин;
- движковый переключатель режима работы преобразователя частоты «ПУСК/СТОП»;
- движковый переключатель направления вращения «ВПЕРЕД/РЕВЕРС»;
- светодиоды «ВКЛ.» и «ОШИБКА».

Блок асинхронного двигателя представляет собой мнемосхему асинхронного двигателя с обозначением начал и концов обмоток. На лицевую панель выведены следующие элементы:

- клеммы начал и концов обмоток C1–C4, C2–C5, C3–C6;
- клемма защитного проводника PE;
- разъем для подключения электромашины.

Имеется возможность конфигурирования обмоток двигателя по схеме «звезда» или «треугольник» (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Технические характеристики частотного преобразователя

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
– напряжение, В;	220
– частота питающей сети, Гц	50
Номинальная мощность нагрузки, кВт	0,1
Номинальный входной ток, А	0,7
Номинальный выходной ток, А	0,5
Количество фаз	3
Диапазон частот выходного напряжения, Гц	1–120
Регулировка частоты	Потенциометром
Управление	ПУСК/СТОП ВПЕРЕД/РЕВЕРС
Индикация (светодиоды)	«Перегрузка по току» «Включение»

4.4. Модуль ввода-вывода (рис. 1.5).

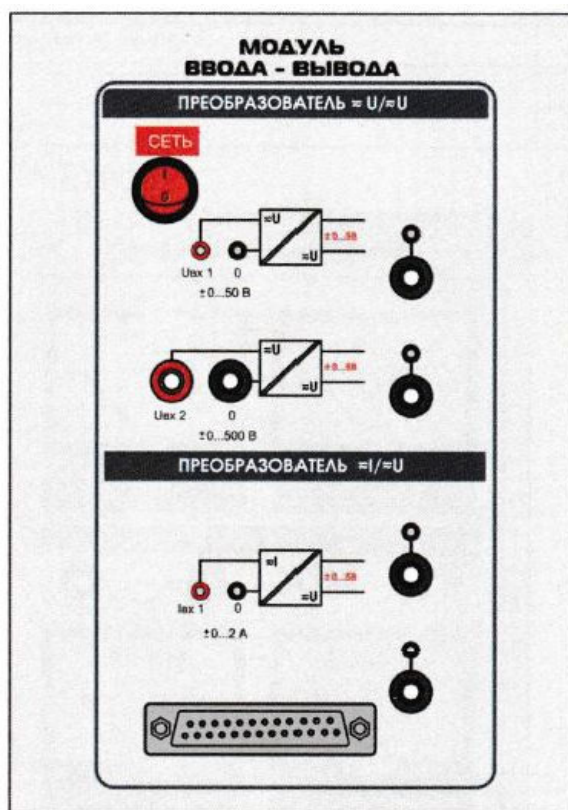


Рис. 1.5. Модуль ввода-вывода

Модуль обеспечивает ввод аналоговых сигналов в персональный компьютер через датчики тока и напряжения на виртуальные приборы, осциллографирование временных процессов.

Модуль включает два датчика напряжения (U_{вх1}, U_{вх2}) и один датчик тока (I_{вх1}) для преобразования напряжений и токов в стандартные значения напряжений 0–5В и последующей подачи их на универсальную плату ввода/вывода L-780. Плата ввода-вывода в свою очередь предназначена для сопряжения с персональным компьютером. Датчики работают на постоянном и переменном токе с диапазоном входных сигналов по напряжению до 500 В, по току до 2 А.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «СЕТЬ», расположенным на передней панели. На передней панели располагается также разъем для подключения модуля ввода-вывода к плате L-780 (плата устанавливается в слот PCI персонального компьютера). Для каждого датчика тока и напряжения предусмотрены входные клеммы и клеммы промежуточных соединений (табл. 1.4).

Технические характеристики модуля ввода-вывода

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
– напряжение, В;	220
– частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, Вт	20
Количество датчиков напряжения	2
Количество датчиков тока	1
Максимальная амплитуда входного напряжения, В	500
Максимальная амплитуда входного тока, А	2
Погрешность датчиков, %	2,5
Интерфейс сопряжения с ПК	PCI

4.5. Модуль вольтметров (рис. 1.6).

Модуль предназначен для измерения значений напряжения в цепях постоянного и переменного токов посредством стрелочных измерительных приборов PV1–PV4. Для каждого вольтметра на лицевую панель выведены соответствующие гнезда подключения прибора в исследуемую электрическую цепь (табл. 1.5).

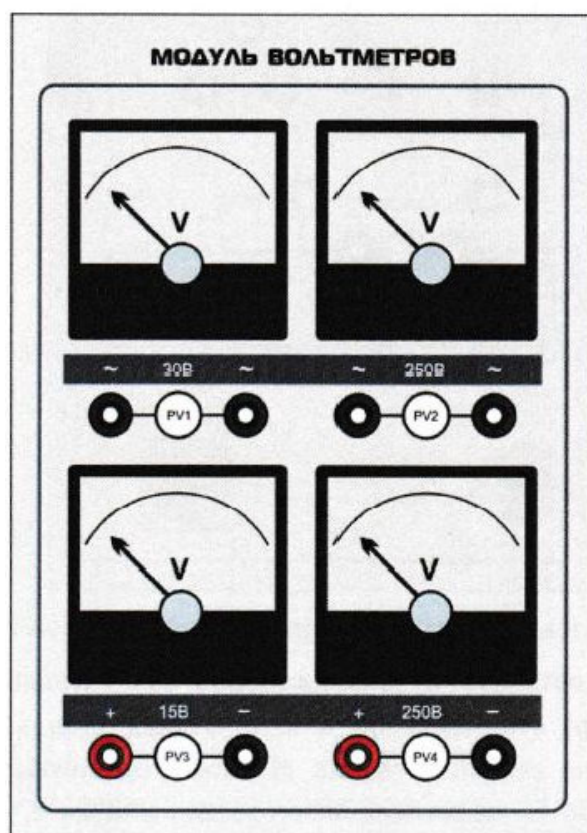


Рис. 1.6. Модуль вольтметров

Технические характеристики приборов модуля вольтметров

Количество вольтметров	4
Рабочее положение	Вертикальное
Класс точности	2,5
Пределы измерения переменного напряжения PV1, В	0–30
Пределы измерения переменного напряжения PV2, В	0–250
Номинальная частота для PV1, PV2, Гц	50
Пределы измерения постоянного напряжения PV3, В	0–15
Пределы измерения постоянного напряжения PV4, В	0–250

4.6. Модуль генератора постоянного тока (рис. 1.7).

Модуль предназначен для использования в качестве нагрузочной машины при исследовании двигателя постоянного тока и асинхронного двигателя, а также основных характеристик генератора постоянного тока. На лицевую панель модуля нанесена мнемосхема электрической машины с включенными последовательно реостатом в цепи якоря (ротора) $R2$ и реостатом возбуждения $R1$. Расположение клемм на мнемосхеме модуля позволяет подключать измерительные приборы, коммутировать электрическую цепь для реализации различных типов возбуждения: независимого и параллельного.

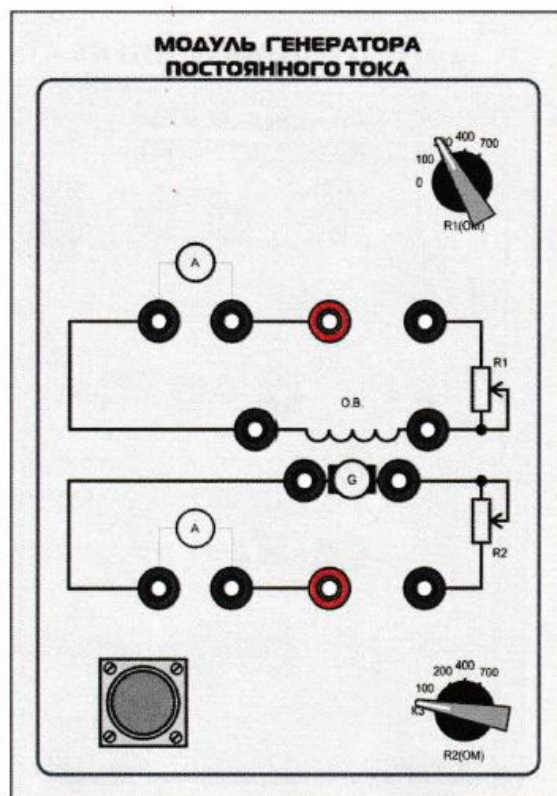


Рис. 1.7. Модуль генератора постоянного тока

Дискретность регулирования значений сопротивления реостатов в цепи якоря и обмотки возбуждения: 0 (КЗ), 100, 200, 400, 700 Ом.

С электромашинным агрегатом модуль соединяется через многоконтактный разъем, расположенный на лицевой стороне панели.

4.7. Модуль двигателя постоянного тока (рис. 1.8).

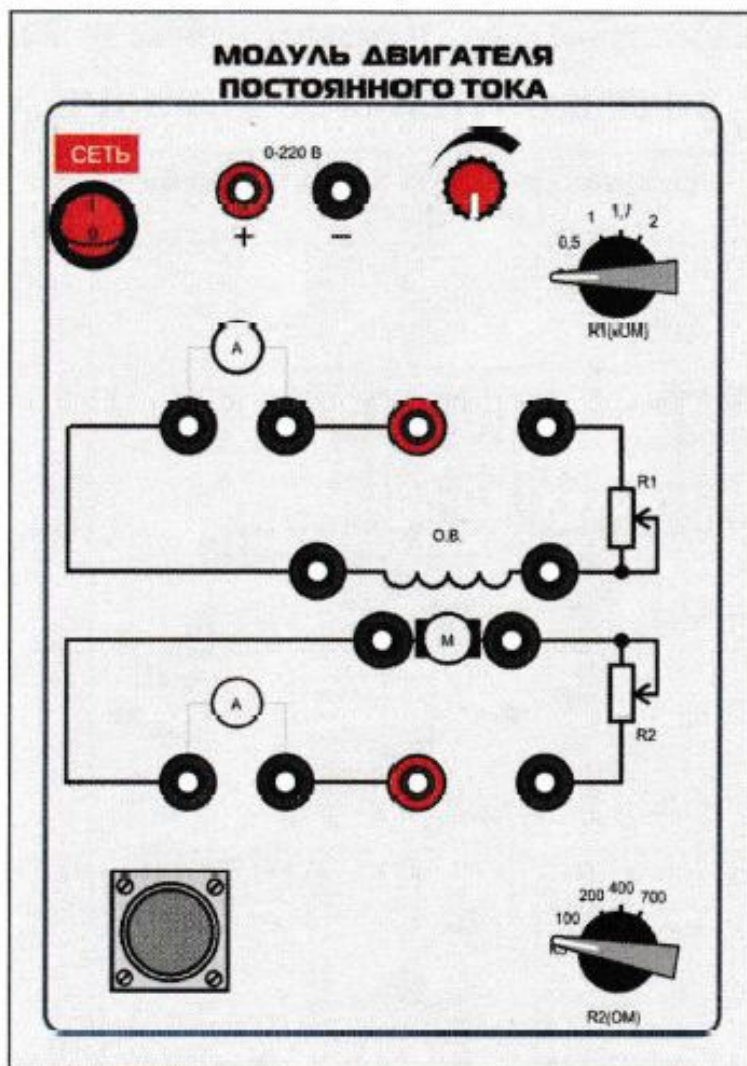


Рис. 1.8. Модуль двигателя постоянного тока

Модуль предназначен для исследования характеристик двигателя постоянного тока. На лицевую панель модуля нанесена мнемосхема электрической машины с включенными реостатами в цепи якоря (ротора) $R2$ и реостатом возбуждения $R1$. Расположение клемм на мнемосхеме модуля позволяет подключать измерительные приборы, коммутировать электрическую цепь для реализации различных типов возбуждения двигателя: независимого и параллельного.

Дискретность регулирования значений сопротивления реостатов в цепи якоря: 0 (КЗ), 100, 200, 400, 700 Ом.

Дискретность регулирования значений сопротивления реостатов в цепи обмотки возбуждения: 0 (КЗ); 0,5; 1; 1,7; 2 Ом.

С электромашинным агрегатом модуль соединяется через многоконтактный разъем, расположенный на лицевой панели.

Также модуль оснащен источником питания машин постоянного тока 0–220 В (ШИМ-преобразователь с ручным управлением), предназначенным для питания цепей якоря и обмотки возбуждения.

4.8. Модуль мультиметров (рис. 1.9).

Модуль представляет собой блок из двух мультиметров Mastech MY64. Мультиметры имеют несъемную конструкцию и свои собственные, гальванически развязанные источники питания от сети 220 В/50 Гц.

Мультиметр Mastech MY64 предназначен для измерения значений силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления, коэффициента усиления биполярных транзисторов и емкости конденсаторов. Выбор пределов измерения величин производится вручную путем установки нужного положения многопозиционного переключателя.

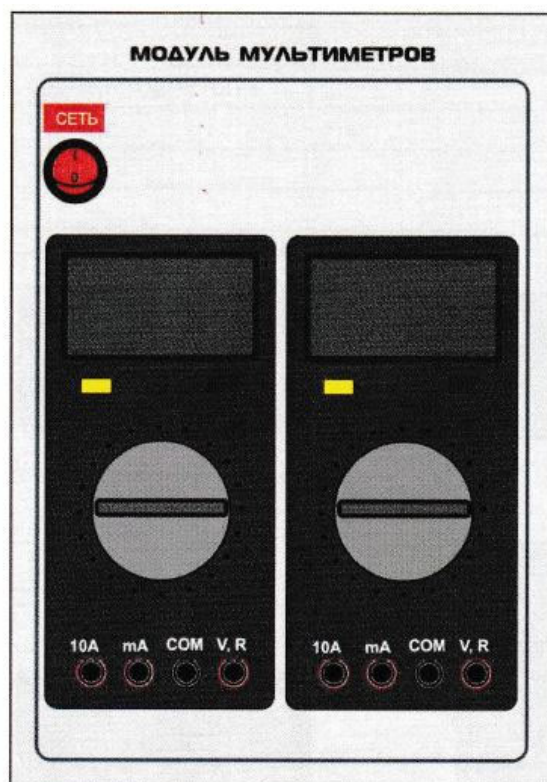


Рис. 1.9. Модуль мультиметров

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на лицевой панели (табл. 1.6).

Технические характеристики мультиметров

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником: – напряжение, В; – частота питающей сети, Гц	220 50
Режим выбора пределов измерений	Ручной
Количество измерений в секунду	2–3
Постоянное напряжение $U =$	0,1 мВ – 1000 В
Переменное напряжение $U \sim$	0,1 мВ – 700 В
Переменный ток $I \sim$	0,1 мкА – 10 А
Постоянный ток $I =$	0,1 мкА – 10 А
Диапазон частот по переменному току	40–400 Гц
Сопротивление R	0,1 Ом – 200 МОм
Емкость, C	1 пФ – 20 мкФ
Коэффициент усиления транзисторов $h_{21э}$	До 1000
Режим «прозвонка»	<50 Ом
Диод-тест	Есть
Входное сопротивление	10 МОм
Автовыключение	~ 40 мин

4.9. Модуль однофазного трансформатора (рис. 1.10).

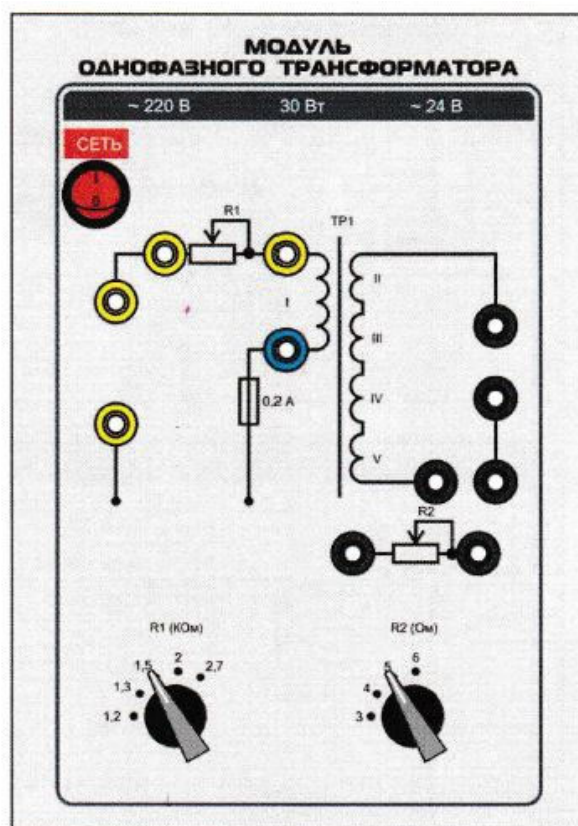


Рис. 1.10. Модуль однофазного трансформатора

Модуль представляет собой реальную модель однофазного трансформатора ТН-36 для исследования его характеристик и параметров. Номинальная мощность трансформатора – 36 Вт, номинальное значение напряжения первичной обмотки – 220 В, вторичной – 24 В. В цепь первичной обмотки включены плавкая вставка на ток 0,2 А и ограничительный резистор $R1$.

Многопозиционным переключателем « $R1$ » можно дискретно изменять номинальную величину сопротивления резистора $R1$ на 1,2; 1,3; 1,5; 2/2,7 кОм; тумблером « $R2$ » – сопротивления нагрузки $R2$ на 3, 4, 5, 6 Ом.

Исследование параметров трансформатора при коротком замыкании в цепи вторичной обмотки допускается только при незакороченном резисторе $R1$ с целью ограничить максимальный потребляемый ток.

На лицевую панель нанесена мнемосхема трансформатора с изображением обмоток, добавочных резисторов, плавкой вставки и соединительных гнезд. Также на лицевую панель выведены клеммы для подключения прибора в электрическую цепь.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «СЕТЬ» (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Технические характеристики модуля однофазного трансформатора

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником: – напряжение, В; – частота питающей сети, Гц	220 50
Мощность, Вт	36
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	220
Номинальное напряжение вторичной обмотки, В	24
Номинальный ток вторичной обмотки, А	1,2
Плавкая вставка	Есть

4.10. Модуль питания (рис. 1.11).

Модуль предназначен для обеспечения питанием компонентов стенда от однофазной двухпроводной сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В, от трехфазной четырехпроводной сети переменного тока с номинальным линейным напряжением 380 В, для защиты компонентов стенда от токов короткого замыкания, а также питания элементов стенда низковольтным стабилизированным постоянным напряжением +5 В, ± 12 В.

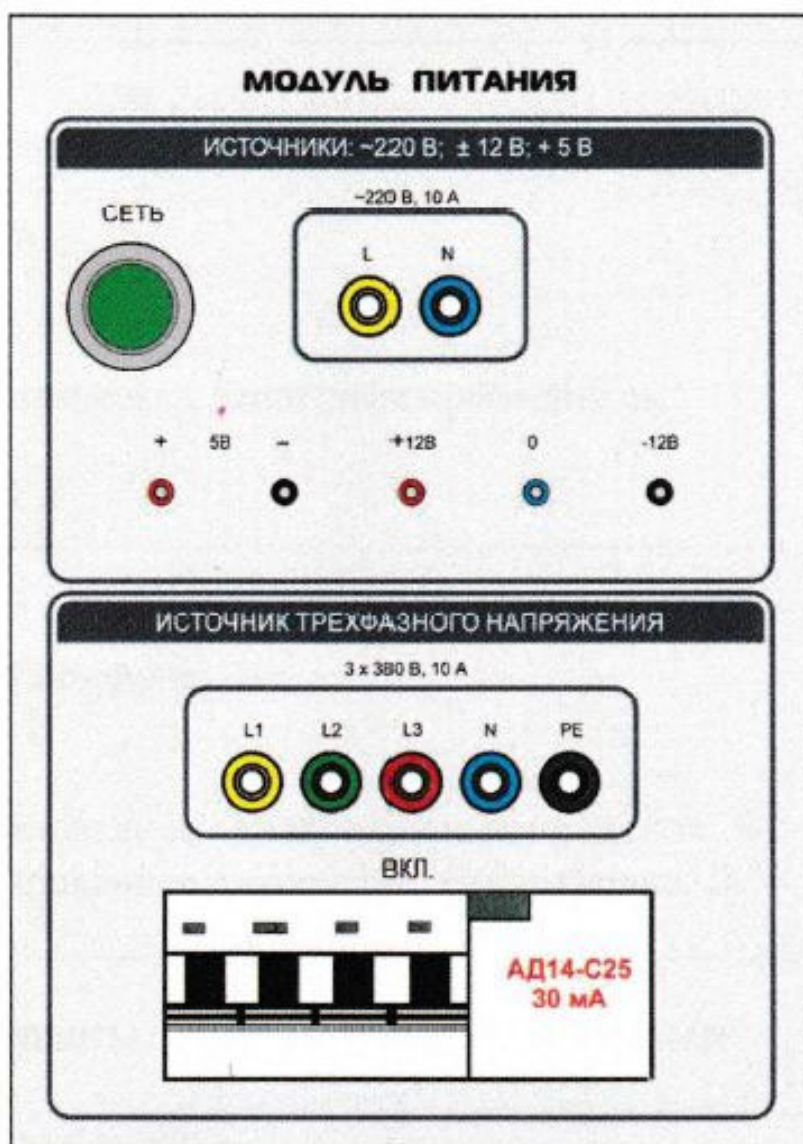


Рис.1.11. Модуль питания

Модуль содержит:

- четырехполюсный автомат дифференциальной защиты АД14-4Р-25А-30 мА (номинальный отключающий дифференциальный ток – 30 мА);
- выходные гнезда напряжений фаз $L1$, $L2$, $L3$, нейтральный проводник N , защитный проводник PE. Напряжение на выходные гнезда подается через автомат дифференциальной защиты АД14;
- выходные гнезда однофазного напряжения $L1$ (фаза), N (нейтральный проводник);
- выходные гнезда стабилизированного источника питания +5 В;
- выходные гнезда стабилизированного источника питания ± 12 В;
- кнопку включения питания блока «Источники: ~ 220 В; ± 12 В; +5 В» (табл. 1.8).

Технические характеристики модуля питания

Электропитание:	
1) от трехфазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками:	
– напряжение (линейное), В;	380
– ток, А;	10
– частота, Гц;	50
2) от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
– напряжение, В;	220
– частота питающей сети, Гц	50
Выходные параметры:	
– напряжение трехфазное (линейное), В;	380
– напряжение однофазное, В;	220
– ток, А;	10
– низковольтное стабилизированное однополярное напряжение, В;	+5
– низковольтное стабилизированное двухполярное напряжение, В	±12
Устройство защиты:	
– автомат дифференциальной защиты с номинальным отключающим дифференциальным током, мА	30
Количество клемм трехфазного источника	5 (L1, L2, L3, N, PE)
Количество клемм однофазного источника	2 (L1, N)

4.11. Электромашинный агрегат (рис. 1.12).

Модуль содержит две машины постоянного тока и асинхронный двигатель, валы которых соединены механически посредством муфт.

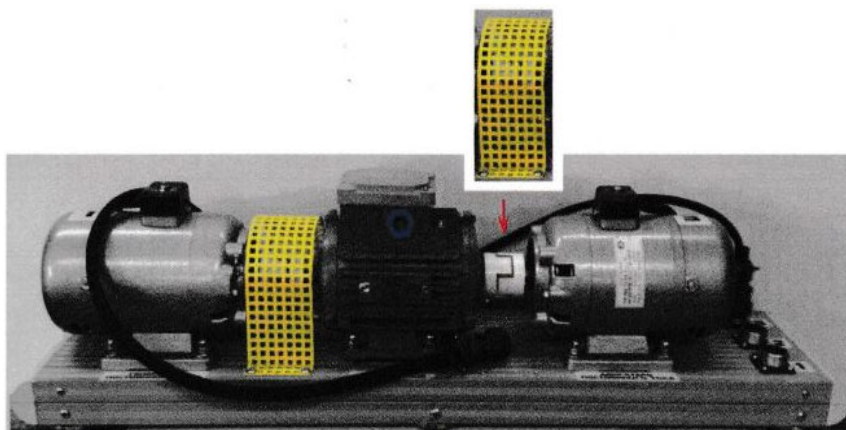


Рис. 1.12. Электромашинный агрегат

Все три электрические машины смонтированы на единой станине. В качестве машин постоянного тока использованы двигатели постоянного тока ПЛ-062 на номинальное напряжение 220 В и мощ-

ностью 90 Вт, в качестве асинхронного – трехфазный асинхронный двигатель АИР-56 на напряжение 220 В и мощностью 120 Вт.

Обмотки каждой из электрических машин выведены на много-контактные разъемы 1–3 и соответствующим образом промаркированы. Назначение разъемов: 1 – генератор постоянного тока; 2 – двигатель асинхронный; 3 – двигатель постоянного тока.

Коммутация машин электромашинного агрегата и модулей асинхронного двигателя, генератора постоянного тока, двигателя постоянного тока осуществляется посредством разъемов 1–3 и кабелей, входящих в комплект поставки.

Для осуществления визуального контроля частоты вращения электромашин используется отдельный прибор – лазерный тахометр DM6234P+ (табл. 1.9).

Таблица 1.9

Технические характеристики машин электромашинного агрегата

Двигатель постоянного тока ПЛ-062	
Номинальная полезная мощность, Вт	90
Номинальное напряжение якоря, В	220
Номинальный ток якоря, А	0,56
Номинальное напряжение обмотки возбуждения, В	220
Номинальный ток обмотки возбуждения, А	0,2
Возбуждение	Независимое
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	1500
КПД, %	57,5
Направление вращения	Реверсивное
Режим работы	Двигатель/генератор
Асинхронный двигатель АИР-56	
Номинальная частота тока, Гц	50
Число фаз на статоре	3
Схема соединений обмоток статора	Y/Δ
Направление вращения	Реверсивное
Номинальная полезная мощность, Вт	120
Номинальное напряжение, В	220
Номинальный ток статорной обмотки, А	0,44/0,76
КПД, %	63
cosφ	0,66
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	1350
Момент инерции накопителя кинетической энергии, Н·М/ с ²	0,009

4.12. Ваттметр Д506 (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Ваттметр Д5064

Однофазный переносной стрелочный лабораторный ваттметр типа Д5064 предназначен для измерения активной мощности в однофазных электрических цепях переменного тока. Это прибор ферродинамической системы со стрелочным указателем и равномерной односторонней шкалой (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Технические характеристики ваттметра Д5064

Класс точности	0,5
Номинальное напряжение, В	30; 75; 150; 300; 450; 600
Номинальный ток, А	5; 10
Нормальная область частот, Гц	45–65
Рабочая область частот, Гц	65–500
Номинальный коэффициент мощности	1
Номинальный ток параллельной цепи, мА	3
Потребляемая мощность последовательной цепи в нормальной области частот, В · А	0,415
Номинальная длина шкалы, мм	110
Масса, кг	1,5
Габаритные размеры, мм	140×195×92

4.13. Тахометр DM6234P (рис. 1.14).



Рис. 1.14. Тахометр DM6234P+

Лазерный фототахометр типа Victor DM6234P+ предназначен для измерения частоты вращения валов электрических машин. Тахометр имеет микропроцессорное управление, прочный и легкий корпус, широкий диапазон измерений, подсветку информационного дисплея (табл. 1.11).

Таблица 1.11

Технические характеристики тахометра DM6234P+

Число разрядов дисплея	5
Диапазон измерения	2,5–99 999
Время измерения, с	1
Время повторного измерения, с	0,5
Ток потребления, мА	40
Погрешность, %	0,05
Эффективное расстояние, мм	50–500
Память:	
– максимальное значение;	Есть
– минимальное значение;	Есть
– последнее значение	Есть
Электропитание от батарей (элементы АА)	3×1,5 В
Габаритные размеры, мм	180×72×37
Диапазон рабочих температур, °С	0–50

Работают с прибором следующим образом: после установки батарей, для включения прибора необходимо нажать на кнопку «TEST». Загорится цифровой дисплей. Во время проведения опытов по исследованию числа оборотов электромашин необходимо направить луч тахометра в сетчатое окошечко защитной скобы желтого цвета и повторно нажать кнопку «TEST». При этом нужно учитывать, что показания прибора, в силу конструкции соединительной муфты электромашинного агрегата, нужно разделить на шесть. По нажатию на кнопку «МЕМ» можно просмотреть последнее измеренное значение, максимальное и минимальное значения числа оборотов электромашин.

4.14. Набор аксессуаров (проводников-соединителей) (табл. 1.12).

Таблица 1.12

Состав набора соединителей

№ п/п	Наименование	Количество
1	Кабель сетевой 220 В с вилкой	9
2	Сетевой фильтр «Pilot»	2
3	Соединительные провода:	
	– соединительный провод, $l = 1$ м, белый	6
	– соединительный провод, $l = 1$ м, черный	6
	– соединительный провод, $l = 0,15$ м, белый	24
	– соединительный провод, $l = 0,15$ м, черный	24
	– соединительный провод, $l = 0,2$ м, белый	4
	– соединительный провод, $l = 0,2$ м, черный	4
	– соединительный провод, $l = 0,25$ м, белый	13
	– соединительный провод, $l = 0,25$ м, черный	14
	– соединительный провод, $l = 0,4$ м, белый	4
	– соединительный провод, $l = 0,4$ м, черный	4
	– соединительный провод, $l = 0,6$ м, белый	4
	– соединительный провод, $l = 0,6$ м, черный	4
	– соединительный провод, $l = 0,8$ м, белый	2
	– соединительный провод, $l = 0,8$ м, черный	2
	– кабель соединительный многожильный, $l = 1$ м	4
	– защищенный соединительный провод, $l = 1$ м, черный	13

4.15. Автотрансформатор (рис. 1.15).

Автотрансформатор предназначен для регулирования напряжения при исследовании однофазного трансформатора.



Рис. 1.15. Автотрансформатор

4.16. Программное обеспечение для персонального компьютера.

На рис. 1.16, 1.17 показаны соответственно расположение программы L-Graph для снятия осциллограмм на рабочем столе Windows и общий вид окна программы для снятия осциллограмм. Программа имеет интуитивно-понятный интерфейс на русском языке и не требует дополнительных пояснений.

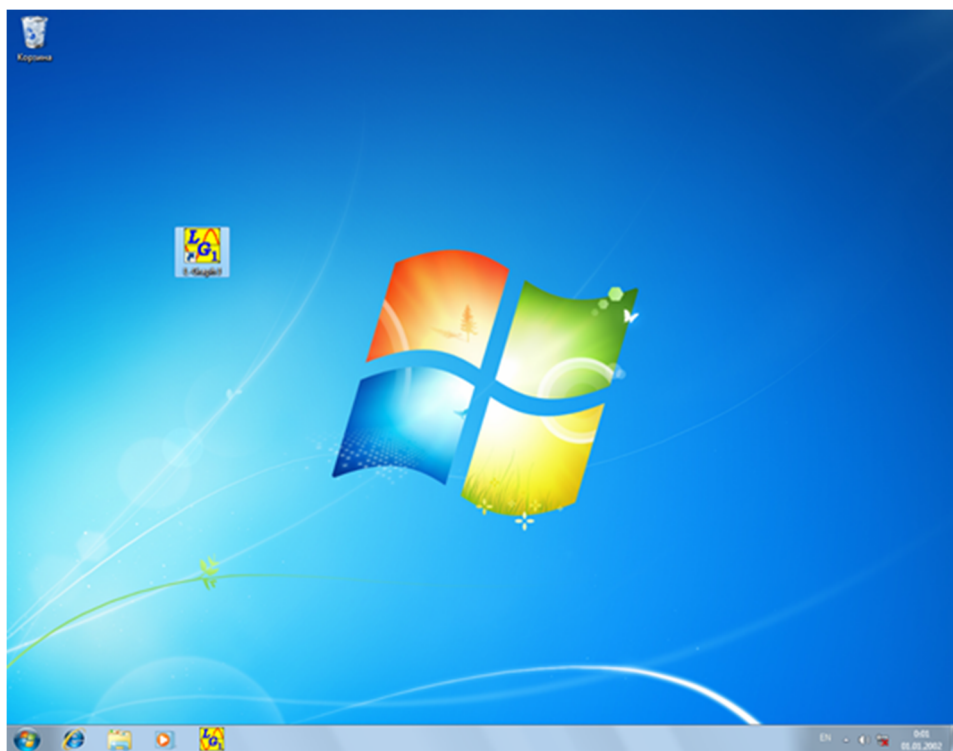


Рис. 1.16. Расположение программы L-Graph на рабочем столе Windows

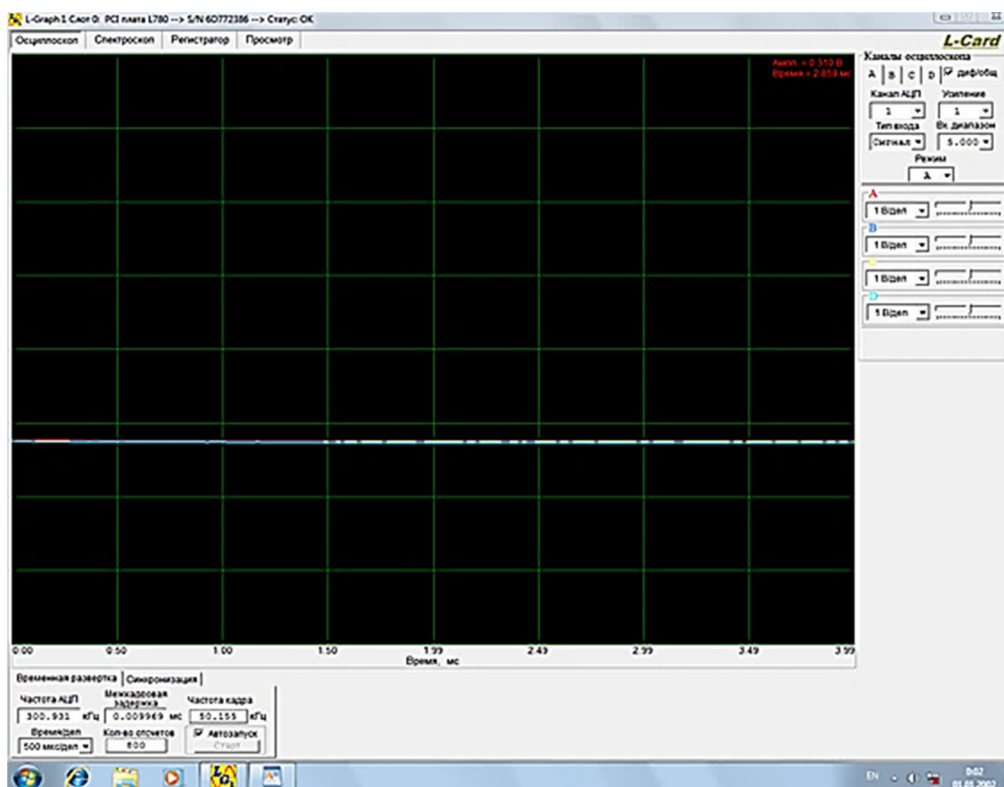


Рис. 1.17. Общий вид окна программы для снятия осциллограмм

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение, состав и технические параметры стенда?
2. Какие блоки стенда используются при исследовании электрических машин?
3. Определите назначение модулей, используемых при исследовании электрических машин (кратко).
4. Назовите технические характеристики модулей стенда с аналоговыми (стрелочными) измерительными приборами.
5. Назовите технические характеристики модуля мультиметров.
6. Приведите технические характеристики модуля однофазного трансформатора.
7. Укажите состав и технические характеристики модуля асинхронного двигателя.
8. Поясните комплектацию и назначение модуля генератора постоянного тока.
9. Поясните комплектацию и назначение модуля двигателя постоянного тока.
10. Каковы назначение и технические характеристики модуля ввода-вывода?

11. Что содержит модуль питания и каковы его технические характеристики?

12. Назовите состав и технические характеристики электромашиного агрегата.

13. Укажите технические характеристики ваттметра Д5064.

14. Назовите технические характеристики тахометра ДМ6234Р+ и правила его использования.

15. Какая программа используется для осциллографирования сигналов?

16. Какой модуль и интерфейс сопряжения с ПК используются совместно с этой программой для получения осциллограмм сигналов на экране монитора компьютера?

Лабораторная работа № 2

Исследование однофазного трансформатора напряжения

Цель работы: определение параметров схемы замещения трансформатора, его внешней и рабочих характеристик.

Состав экспериментальной установки

Установка для исследования однофазного трансформатора собрана на универсальном учебно-исследовательском стенде и включает модуль питания, модуль однофазного трансформатора, модуль амперметров переменного тока, модуль мультиметров. Дополнительно используются не входящие в состав стенда лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) и ваттметр Д5064.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия [1–3], материалы практикума, а также доступный справочный материал:

- изучить принцип действия однофазного трансформатора;
- ознакомиться с электрическими схемами экспериментов:

а) опыта холостого хода (рис. 2.1);

б) опыта короткого замыкания (рис. 2.2);

в) опыта определения внешней и рабочих характеристик (рис. 2.3).

1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории ответить на контрольные вопросы настоящих методических указаний.

1.3. Подготовить таблицы, необходимые при выполнении лабораторной работы.

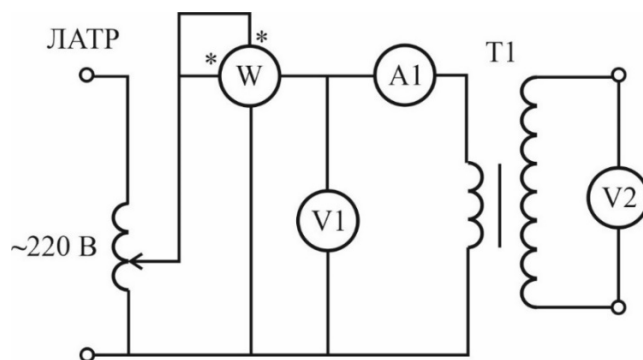


Рис. 2.1. Электрическая схема опыта холостого хода

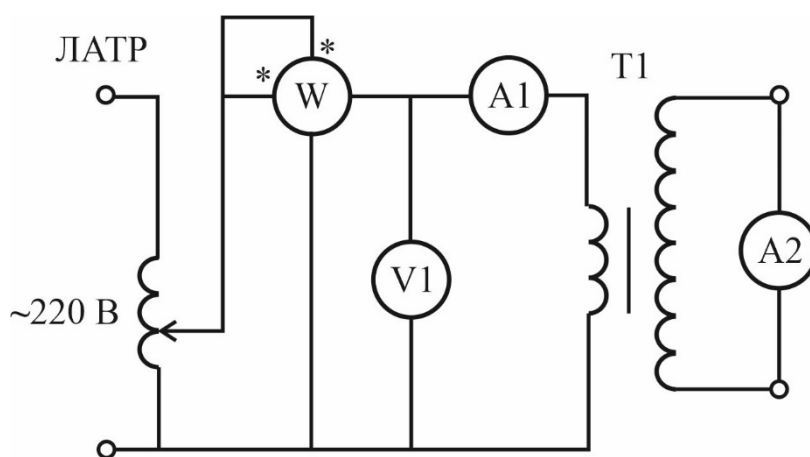


Рис. 2.2. Электрическая схема опыта короткого замыкания

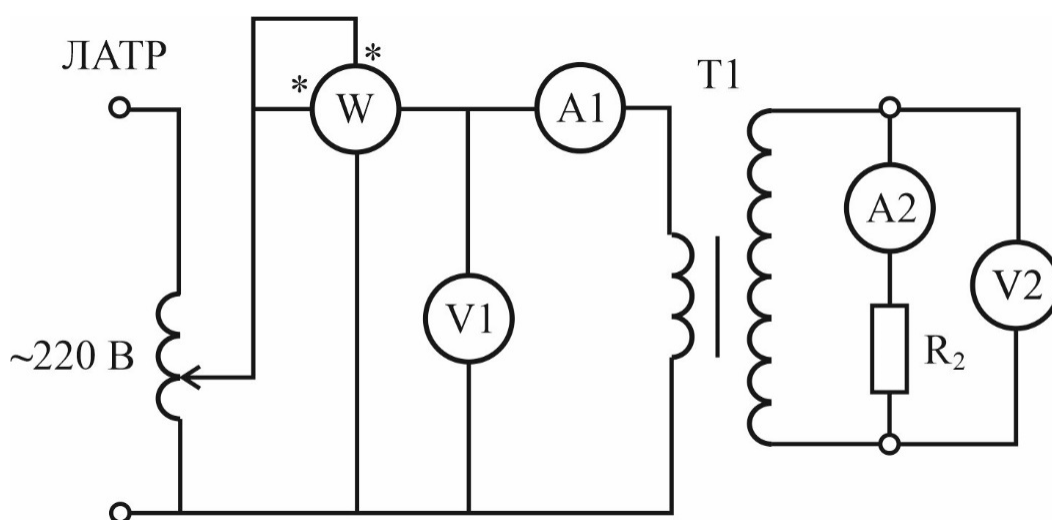


Рис. 2.3. Электрическая схема снятия внешней и рабочих характеристик трансформатора

2. Работа в лаборатории:

2.1. Перед началом работы следует ознакомиться с номенклатурой электрооборудования, необходимого для испытания трансформатора, поскольку при проведении лабораторных исследований используются не только модули стенда.

Записать паспортные данные исследуемого трансформатора, указанные в табл. 1.7.

Примечание. Паспортные данные приведены не полностью.

2.2. Сборка лабораторной установки.

Для выполнения лабораторного задания необходимо произвести соединения модулей проводами, показанными на схемах проведения экспериментов жирными линиями.

2.3. Провести опыт холостого хода трансформатора, для чего собрать электрическую цепь в соответствии со схемой проведения опы-

та (см. рис. 2.1) и схемой соединения модулей автотрансформатора и ваттметра, изображенной на рис. 2.4.

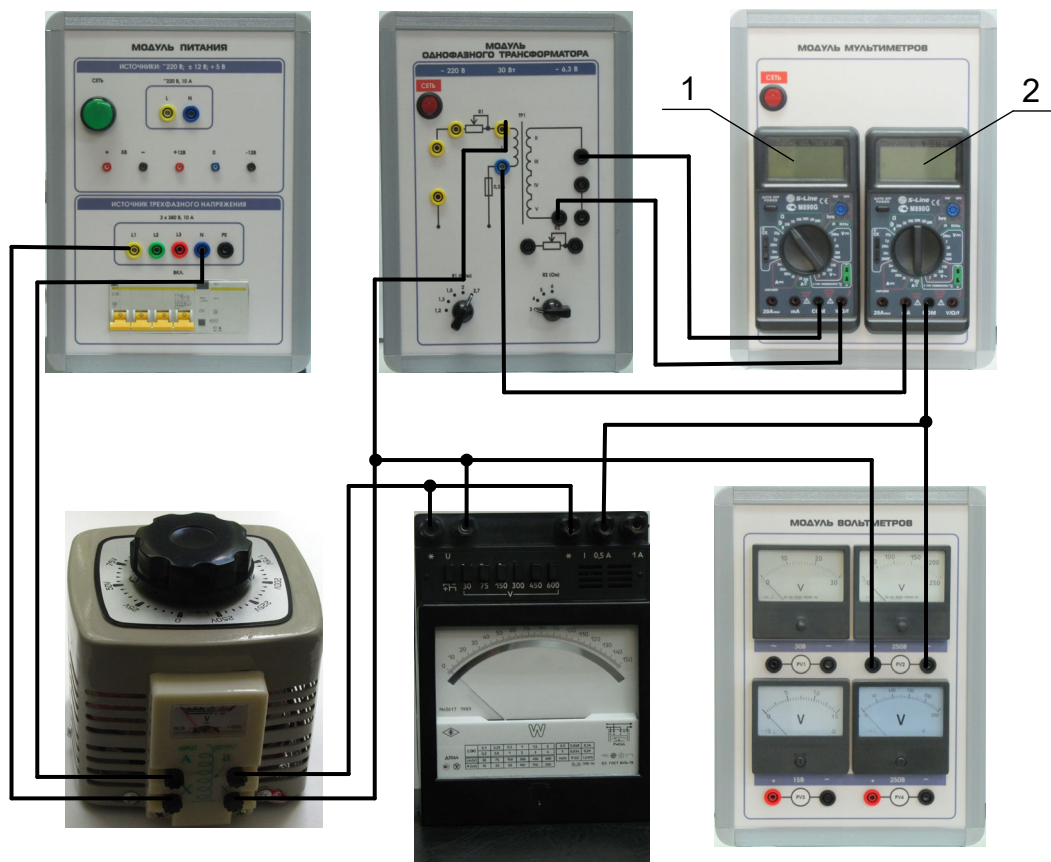


Рис. 2.4. Электрическая схема соединений модулей стенда для опыта холостого хода

Убедиться, что ручка регулировки ЛАТРа находится в крайнем левом положении (против часовой стрелки до упора) на отметке «0».

Установить переключатель напряжений ваттметра в положение $U = 300 \text{ В}$ и использовать клемму амперметра $I = 0,5 \text{ А}$, тогда предел измерения ваттметра составит $P = 150 \text{ Вт}$.

В качестве вольтметра $V1$ использовать стрелочный вольтметр переменного тока с пределом измерения $U_1 = 250 \text{ В}$ из модуля вольтметров.

В качестве амперметра $A1$ использовать цифровой мультиметр 2, при этом его переключатель перевести в положение измерения переменного тока с пределом измерения $I_1 = 200 \text{ мА}$.

В качестве вольтметра $V2$ использовать цифровой мультиметр 1, при этом его переключатель перевести в положение измерения переменного напряжения с пределом измерения $U_2 = 20 \text{ В}$.

После проверки преподавателем собранной электрической цепи включить автоматический выключатель в модуле питания.

Установить с помощью ЛАТРа и вольтметра V1 номинальное напряжение первичной обмотки $U_{1н} = 220$ В.

Измерить потребляемую трансформатором мощность $P_{1х}$, ток первичной обмотки $I_{1х}$ и напряжение на вторичной обмотке трансформатора U_{20} . Данные измерений занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные опыта холостого хода

Результаты измерений				Результаты вычислений			
$U_{1н}$, В	$I_{1х}$, мА	$P_{1х}$, Вт	U_{20} , В	$K_{тр}$	Z_0 , Ом	R_μ , Ом	L_μ , Гн
220							

Перевести ручку регулировки ЛАТРа в исходное положение (на отметку «0») и отключить источник в модуле питания.

2.4. Провести опыт короткого замыкания, для чего собрать электрическую цепь в соответствии со схемой проведения опыта (см. рис. 2.2) и схемой соединения модулей, изображенной на рис. 2.5.

В качестве амперметра А2 использовать цифровой мультиметр 1, при этом его переключатель перевести в положение измерения переменного тока с пределом измерения $I_{2\sim} = 20$ А и поменять гнездо подключения с «V» на «20А».

ВНИМАНИЕ! Перед включением ЛАТРа в сеть необходимо убедиться в том, что ручка регулирования выходного напряжения повернута против часовой стрелки до упора и находится на отметке «0», что соответствует минимальному напряжению на выходе ЛАТРа.

Пригласить преподавателя для проверки правильности сборки цепи.

После включения источника выключателем модуля питания, осторожно вращая ручку ЛАТРа по часовой стрелке, установить такое напряжение на входе трансформатора, при котором ток вторичной обмотки I_2 будет равен номинальному $I_{2н} = 2,4$ А. Измерить входное напряжение $U_{1к}$, ток первичной обмотки $I_{1н}$ и мощность $P_{1к}$, потребляемую трансформатором. Результаты измерений занести в табл. 2.2.

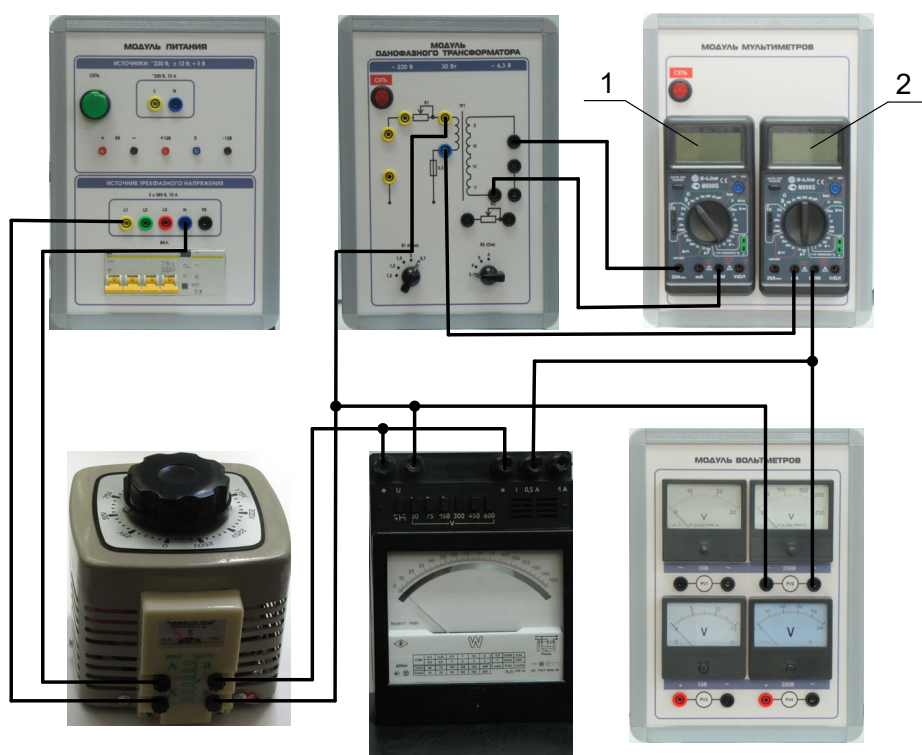


Рис. 2.5. Электрическая схема соединений модулей стенда для опыта короткого замыкания

Перевести ручку регулировки ЛАТРа в исходное положение (на отметку «0») и отключить источник в модуле питания.

Таблица 2.2

Данные опыта короткого замыкания

Результаты измерений				Результаты вычислений								
$U_{1к},$ В	$I_{1н},$ мА	$P_{1к},$ Вт	$I_{2н},$ А	$Z_{к},$ Ом	$R_{к},$ Ом	$X_{к},$ Ом	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$L_{\sigma 1},$ Гн	$L_{\sigma 2},$ Гн	$U_{к},$ %	$I_{1к},$ А
			2.4									

2.5. Для получения внешней характеристики трансформатора при резистивной нагрузке собрать цепь в соответствии со схемой проведения опыта (см. рис. 2.3) и схемой соединения модулей, изображенной на рис. 2.6.

В качестве вольтметра V2 использовать цифровой мультиметр 1, при этом его переключатель перевести в положение измерения переменного напряжения с пределом измерения $U_2 = 20$ В и изменить гнездо подключения на «V».

В качестве амперметра A2 использовать стрелочный амперметр переменного тока с пределом измерения $I_2 = 2$ А из модуля амперметров переменного тока.

После проверки преподавателем правильности сборки цепи включить источник в модуле питания и с помощью ЛАТРа установить номинальное входное напряжение $U_{1н} = 220$ В на первичной обмотке трансформатора.

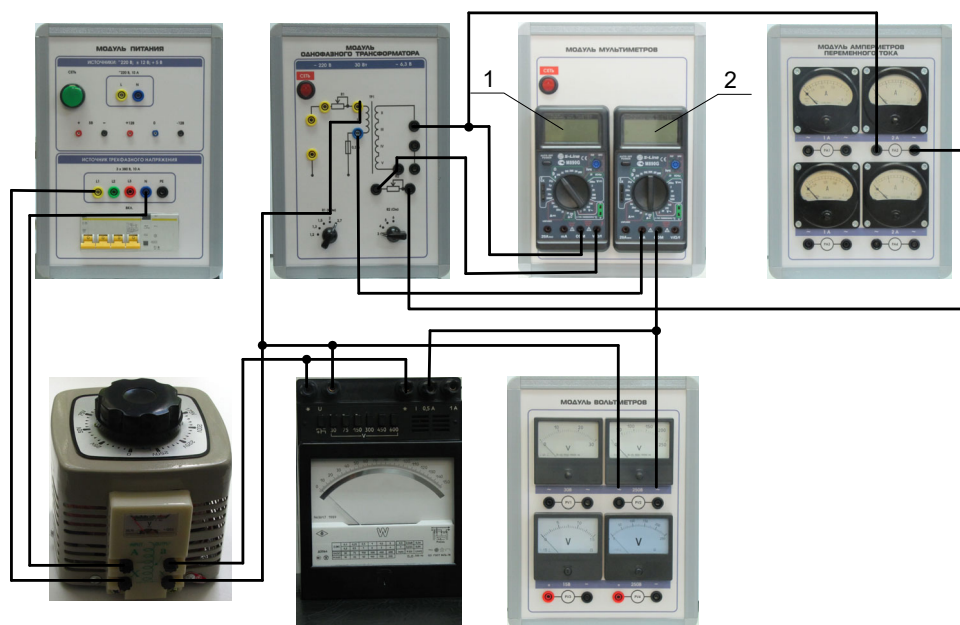


Рис. 2.6. Электрическая схема соединений модулей стенда для снятия внешней и рабочих характеристик трансформатора

Изменяя сопротивление нагрузки R_2 от максимального $R_2 = \infty$ (режим ХХ) до минимального $R_2 = 3$ Ом, измерить токи первичной I_1 и вторичной I_2 обмоток, мощность на входе трансформатора P_1 и напряжение вторичной обмотки U_2 . Результаты измерений занести в табл. 2.3.

Вернуть ручку регулировки ЛАТРа в исходное положение, отключить питание лабораторной установки выключателем модуля питания, разобрать электрическую цепь.

Таблица 2.3

Данные опыта снятия внешних рабочих характеристик

Результаты измерений						Результаты вычислений			
R_2 , Ом	U_1 , В	I_1 , мА	P_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А	P_2 , Вт	η , %	$\cos \varphi_1$	S_1 , В · А
∞	220								
6	220								
5	220								
4	220								
3	220								

2.6. Собрать схему для снятия осциллограммы выходного напряжения трансформатора и после проверки схемы преподавателем сохранить осциллограмму с использованием клавиши «PrtScr» и добавить в отчет.

3. Обработка экспериментальных данных:

3.1. Пользуясь методическими указаниями, по результатам экспериментов провести необходимые расчеты и занести полученные данные в соответствующие таблицы.

3.2. По данным табл. 2.1, 2.2 определить параметры элементов поперечной и продольной ветвей схемы замещения трансформаторов (приведенного и обычного). Нарисовать схему замещения трансформатора и указать параметры ее элементов. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

3.3. По данным табл. 2.3 построить внешнюю характеристику $U_2(I_2)$ и рабочие характеристики $P_1(I_2)$, $I_1(I_2)$, $\eta(I_2)$, $\cos\varphi_1(I_2)$. Проанализировать графики. Объяснить уменьшение напряжения на выходе трансформатора при увеличении тока нагрузки. Определить значение коэффициента нагрузки β_m , при котором КПД трансформатора достигает максимального значения. Сделать выводы.

Методические указания

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии с одними значениями параметров (напряжения и тока) в электрическую энергию с другими значениями параметров (напряжения и тока).

Коэффициент трансформации определяется соотношением числа витков первичной W_1 и вторичной W_2 обмоток:

$$K_{\text{тр}} = \frac{W_1}{W_2}.$$

Если $K_{\text{тр}} > 1$, то трансформатор понижающий, а если $K_{\text{тр}} < 1$, то трансформатор повышающий.

Исследуемый однофазный трансформатор предназначен для понижения входного напряжения и гальванического разделения источника энергии и нагрузки.

Для анализа работы трансформатора используется Т-образная электрическая схема замещения, показанная на рис. 2.7. При этом поперечная ветвь может быть представлена как последовательным соединением активного сопротивления и индуктивности (рис. 2.7,а), так и параллельным (рис. 2.7,б).

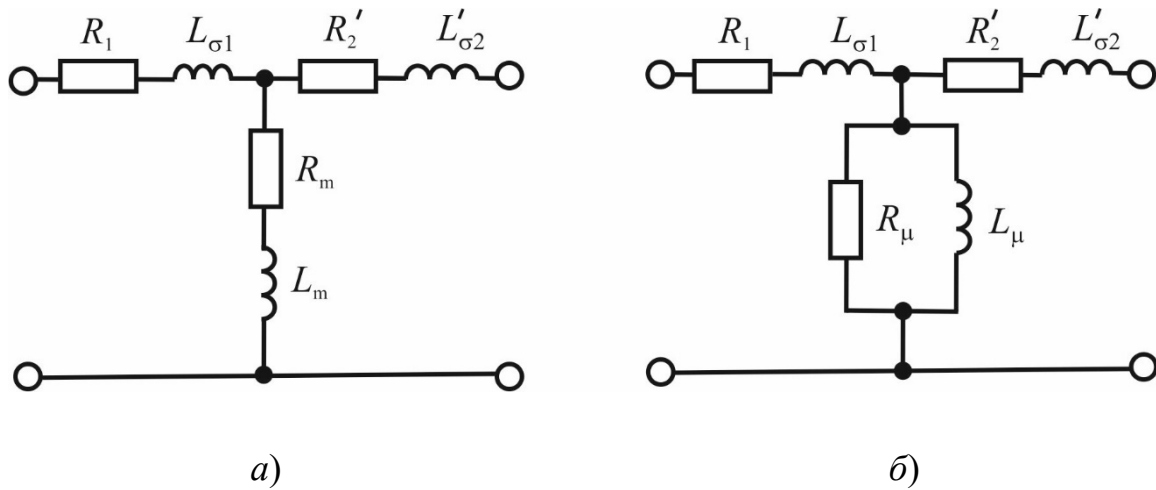


Рис. 2.7. Т-образные схемы замещения трансформатора

Определение параметров элементов схемы замещения производится по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания.

Из опыта холостого хода определяются коэффициент трансформации и параметры элементов поперечной ветви схемы замещения, характеризующие активное сопротивление (R_m или R_μ) и индуктивность (L_m или L_μ) сердечника.

Коэффициент трансформации определяется по формуле

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{1\text{н}}}{U_{20}},$$

где $U_{1\text{н}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки; U_{20} – напряжение вторичной обмотки трансформатора, работающего в режиме холостого хода.

Модуль эквивалентного входного сопротивления трансформатора, работающего в режиме холостого хода, может быть определен по закону Ома:

$$Z_0 = U_{1\text{н}} / I_{1\text{х}},$$

где $I_{1\text{х}} = I_0$ – ток холостого хода.

Резистивное и индуктивное сопротивления последовательной поперечной ветви схемы замещения при учете, что $X_m \gg X_1$ (где $X_m = \omega L_m$, $X_1 = \omega L_{\sigma 1}$), определяются по формулам:

$$R_0 = \frac{P_{1\text{х}}}{I_{1\text{х}}^2},$$

$$R_m = R_0 - R_1,$$

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

где $P_{1x} \approx P_c$ – мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода, характеризующая потери в сердечнике; R_1 – резистивное сопротивление первичной обмотки (определяется из опыта короткого замыкания).

При представлении схемы замещения согласно рис. 2.7,б значения резистивного R_μ и индуктивного X_μ сопротивлений вычисляются через найденные значения R_m и X_m :

$$R_\mu = R_m + \frac{X_m^2}{R_m},$$

$$X_\mu = X_m + \frac{R_m^2}{X_m}.$$

Последнее позволяет определить значение индуктивности L_μ :

$$L_\mu = \frac{x_\mu}{2\pi f},$$

где $f = 50$ Гц – частота питающего напряжения.

По результатам опыта короткого замыкания определяются параметры элементов продольной ветви схемы замещения, характеризующие резистивные сопротивления (R_1 и R_2) и индуктивности рассеяния ($L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$) первичной и вторичной обмоток, относительное значение напряжения короткого замыкания и ток короткого замыкания при номинальном напряжении.

Модуль входного сопротивления трансформатора, работающего в режиме короткого замыкания, может быть найден из уравнения

$$Z_k = \frac{U_{1k}}{I_{1H}},$$

где U_{1k} – напряжение на первичной обмотке трансформатора, соответствующее номинальному значению тока вторичной обмотки I_{2H} (и, естественно, номинальному току первичной обмотки I_{1H}) при законченных вторичных обмотках.

Учитывая, что сопротивление продольной ветви значительно меньше сопротивлений поперечной ветви, резистивное и индуктивное сопротивления продольной ветви схемы замещения определяются по формулам:

$$R_k = \frac{P_{1k}}{I_{1H}^2},$$

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

где $P_{1\kappa} \approx P_{\text{пн}}$ – мощность, потребляемая трансформатором в режиме короткого замыкания, характеризующая номинальные потери в проводах обмоток.

На практике трансформаторы рассчитываются таким образом, чтобы нагревание обмоток происходило равномерно, поэтому в Т-образной схеме замещения приведенного трансформатора сопротивления продольных ветвей считают равными, т.е.

$$R_1 = R'_2 = 0,5R_{\kappa},$$

$$X_1 = X'_2 = 0,5X_{\kappa}.$$

Резистивное и индуктивное сопротивления вторичной обмотки реального трансформатора определяются с учетом коэффициента трансформации:

$$R_2 = R'_2 \frac{1}{K_{\text{тр}}^2},$$

$$X_2 = X'_2 \frac{1}{K_{\text{тр}}^2}.$$

Найденные значения X_1 и X_2 позволяют определить индуктивности рассеяния первичной $L_{\sigma 1}$ и вторичной $L_{\sigma 2}$ обмоток трансформатора:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_1}{2\pi f}, \quad L_{\sigma 2} = \frac{X_2}{2\pi f}.$$

Опыт короткого замыкания проводится при пониженном входном напряжении, которое обычно выражается в процентах к номинальному:

$$U_{\kappa} \% = \frac{U_{1\kappa}}{U_{1\text{н}}} 100 \%.$$

Последняя величина позволяет определить ток короткого замыкания первичной обмотки при номинальном напряжении:

$$I_{1\kappa} = I_{1\text{н}} \frac{U_{1\text{н}}}{U_{1\kappa}} = I_{1\text{н}} \frac{100}{U_{\kappa} \%}.$$

Значение $I_{1\kappa}$ используется при выборе элементов защиты мощных трансформаторов от короткого замыкания в цепи нагрузки.

Работа трансформатора под нагрузкой характеризуется внешней $U_2(I_2)$ и рабочими $P_1(I_2)$, $I_1(I_2)$, $\eta(I_2)$, $\cos \varphi_1(I_2)$ характеристиками, где U_2 , I_2 – напряжение и ток вторичной обмотки; P_1 – потребляемая активная мощность; I_1 – ток первичной обмотки; η – коэффициент полезного действия; $\cos \varphi_1$ – коэффициент мощности (показывает, какая часть электрической энергии необратимо преобразуется в другие виды энергии и, в частности, используется на выполнение полезной работы) при произвольной нагрузке.

Значения η и $\cos \varphi_1$ вычисляются по формулам:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 \%,$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1},$$

где $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ – полезная мощность (при активной нагрузке, $\cos \varphi_2 = 1$); $S_1 = U_1 I_1$ – полная мощность трансформатора.

Внешняя характеристика трансформатора $U_2(I_2)$ описывается выражением

$$U_2 = U_{20}(1 - \delta U),$$

где $\delta U = \beta(U_{\text{ка}} \cos \varphi_2 + U_{\text{кx}} \sin \varphi_2)$; $\beta = I_2/I_{2\text{н}}$ – коэффициент нагрузки; $U_{\text{ка}}$, $U_{\text{кx}}$ – соответственно активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания; φ_2 – угол сдвига фаз между напряжением U_2 и током I_2 вторичной обмотки, который зависит от характера нагрузки.

Вид внешней характеристики при активном характере нагрузки показан на рис. 2.8.

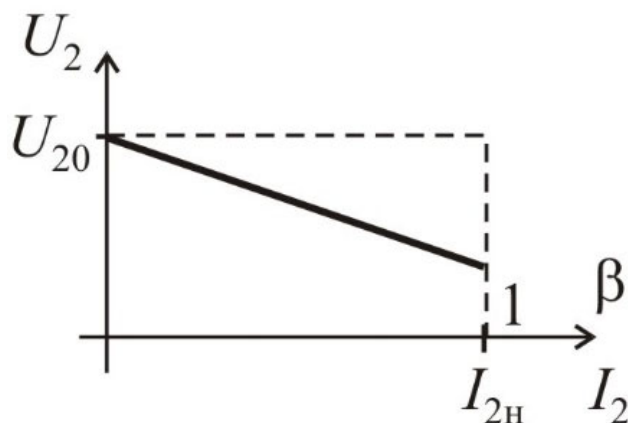


Рис. 2.8. Внешняя характеристика

Коэффициент полезного действия трансформатора зависит от нагрузки:

$$\eta = \frac{\beta P_{\text{пн}}}{P_{\text{с}} + \beta P_{\text{пн}} + \beta^2 P_{2\text{н}}},$$

где $P_{\text{с}}$ – потери в сердечнике; $P_{\text{пн}}$ – номинальные потери в обмотках; $P_{2\text{н}}$ – номинальная полезная мощность.

Вид зависимости КПД трансформатора от коэффициента нагрузки $\eta(\beta)$ показан на рис. 2.9.

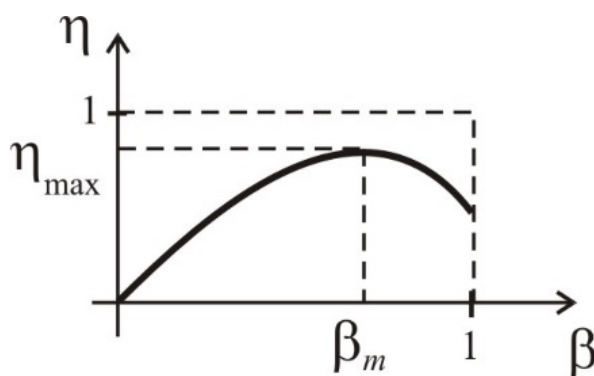


Рис. 2.9. Зависимость $\eta(\beta)$

При расчете трансформаторов стремятся обеспечить, чтобы максимальное значение η_{max} достигалось при значениях $\beta = 0,6\text{--}0,7$, поскольку большую часть времени они работают при нагрузке от 60 до 70 % от номинальной.

Контрольные вопросы

1. Что такое трансформатор?
2. Как определяется коэффициент трансформации и от чего зависит его значение?
3. Как и для чего проводится опыт холостого хода?
4. Как и для чего проводится опыт короткого замыкания?
5. Что характеризует активная мощность, измеряемая в опыте холостого хода?
6. Что характеризует активная мощность, измеряемая в опыте короткого замыкания?
7. Какие величины измеряются, а какие рассчитываются при проведении опыта холостого хода?

8. Какие величины измеряются, а какие рассчитываются при проведении опыта короткого замыкания?

9. Что такое внешняя характеристика трансформатора? Почему ее вид зависит от характера нагрузки?

10. Как определяется коэффициент нагрузки трансформатора β ? Каким режимам работы трансформатора соответствуют его минимальное и максимальное значения?

11. Как определяется КПД трансформатора? Перечислите составляющие потребляемой трансформатором мощности.

12. Какой вид имеет зависимость КПД трансформатора от нагрузки?

13. Почему у трансформаторов максимальный КПД не обеспечивается при номинальной нагрузке?

14. Что характеризуют элементы схемы замещения трансформатора?

15. Какие условия должны выполняться при приведении вторичной обмотки трансформатора к первичной?

16. Почему на сердечнике трансформатора обмотки высшего и низшего напряжений размещают на общем стержне?

17. Напишите уравнение МДС трансформатора.

18. Начертите схему замещения трансформатора.

19. Начертите векторные диаграммы трансформатора для случаев нагрузки его чисто резистивным и резистивно-индуктивным сопротивлениями.

20. Начертите схему опыта холостого хода трансформатора и объясните, какие величины определяются в этом опыте.

Лабораторная работа № 3

Исследование генераторов постоянного тока независимого и параллельного возбуждения

Цель работы: изучение устройства и принципа действия генераторов постоянного тока (ГПТ) независимого и параллельного возбуждения, экспериментальное определение их основных характеристик.

Состав экспериментальной установки

Экспериментальная установка включает электромашинный агрегат, представляющий собой соединенные на одном валу три электрические машины: асинхронный двигатель, двигатель постоянного тока, генератор постоянного тока, и следующие модули стенда: модуль питания, модуль асинхронного двигателя, модуль генератора постоянного тока, модуль двигателя постоянного тока, модуль амперметров постоянного тока, модуль мультиметров.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия [1–3], настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

- изучить устройство, принцип действия генераторов постоянного тока независимого и параллельного возбуждения, их основные параметры и характеристики;

- ознакомиться с методикой экспериментального исследования генераторов постоянного тока независимого и параллельного возбуждения по методическим указаниям, с устройством лабораторной установки и модулей, применяемых в данной работе.

1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории ответить на контрольные вопросы настоящих методических указаний.

1.3. Подготовить таблицы, необходимые при выполнении лабораторной работы.

2. Работа в лаборатории:

2.1. Перед началом работы следует ознакомиться с номенклатурой электрооборудования, необходимого для исследования генерато-

ра постоянного тока, поскольку при проведении лабораторной работы используются не только модули стенда.

Записать паспортные данные исследуемого ГПТ (ПЛ-062), указанные в лабораторной работе № 1.

Примечание. Паспортные данные приведены не полностью.

2.2. Сборка лабораторной установки.

Для выполнения лабораторного задания необходимо произвести соединения модулей проводами, показанными на схемах проведения экспериментов жирными линиями.

2.3. Исследование характеристики холостого хода ГПТ независимого возбуждения.

Эта характеристика представляет собой зависимость электродвижущей силы (ЭДС) генератора от тока возбуждения $E_{\text{я}} = f(I_{\text{в}})$ при неизменной скорости вращения якоря $n = \text{const}$ и токе нагрузки, равном нулю $I = 0$.

Собрать электрическую цепь в соответствии со схемой рис. 3.1 и схемой соединения модулей, изображенной на рис. 3.2.

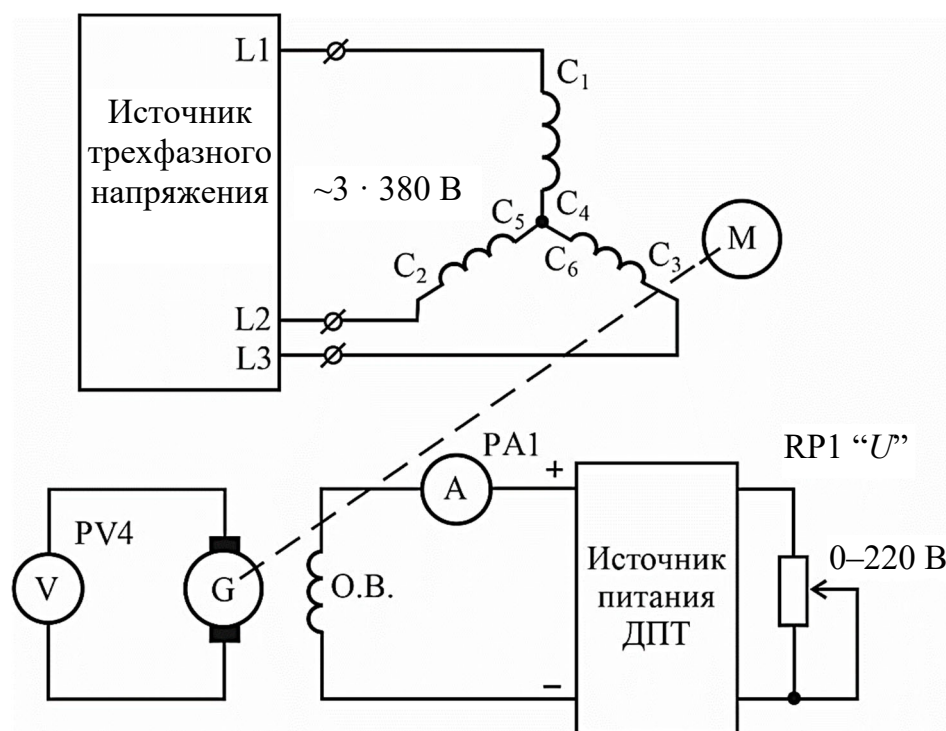


Рис. 3.1. Электрическая схема опыта исследования характеристики холостого хода

Для измерения ЭДС генератора используется вольтметр постоянного тока PV4 с пределом измерения 250 В модуля вольтметров.

Измерение тока возбуждения производится амперметром РА1 с пределом 1А модуля амперметров постоянного тока.

Убедиться, что регулятор напряжения модуля двигателя постоянного тока находится в положении минимума напряжения (крайнем левом).

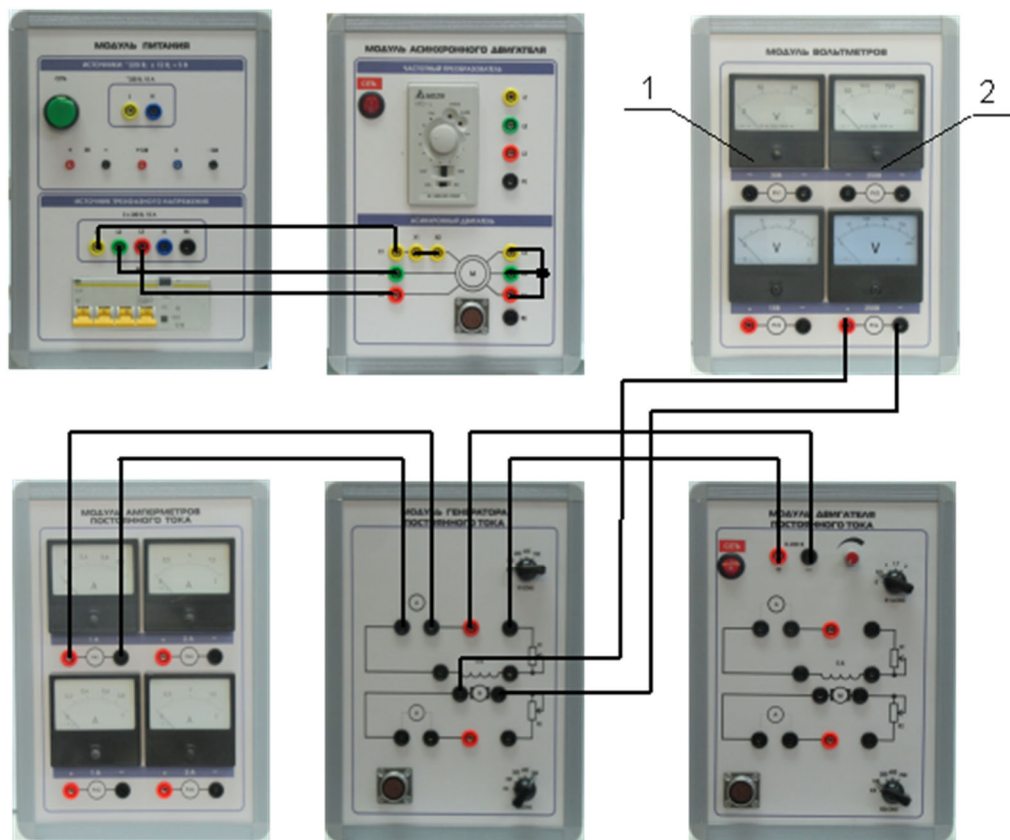


Рис. 3.2. Схема соединений модулей стенда для исследования характеристики холостого хода

Переключатель $R1$ модуля генератора постоянного тока перевести в положение «0».

Выключатели «Сеть» модулей питания и двигателя постоянного тока перевести во включенное положение. При этом асинхронный двигатель начнет вращать якорь ГПТ.

Плавно изменяя ток возбуждения ГПТ поворотом ручки регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока от нуля до номинального значения $I_{\text{вном}} = 0,2 \text{ А}$, измерять ЭДС генератора $E_{\text{я}}$.

После этого, также плавно уменьшая ток возбуждения от номинального значения до нуля, повторить измерения ЭДС.

Полученные значения занести в табл. 3.1.

После проведения опыта отключить выключатель «Сеть» модуля питания.

Характеристика холостого хода

$I_{\text{в}}, \text{A}$	0							
$E_{\text{я}}, \text{В}$								

2.4. Исследование внешней характеристики ГПТ независимого возбуждения.

Внешней характеристикой называют зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки $U_{\text{я}} = f(I_{\text{я}})$ при неизменном сопротивлении цепи возбуждения $R_{\text{в}} = \text{const}$ и постоянной частоте вращения якоря $n = \text{const}$.

Принципиальная схема проведения опыта показана на рис. 3.3, а схема соединения модулей представлена на рис. 3.4.

Измерение тока нагрузки производится амперметром РА3 с пределом измерения 1А модуля амперметров постоянного тока.

Установить переключатель $R1$ модуля генератора постоянного тока в положение «0», а переключатель $R2$ этого модуля – в положение «700 Ом».

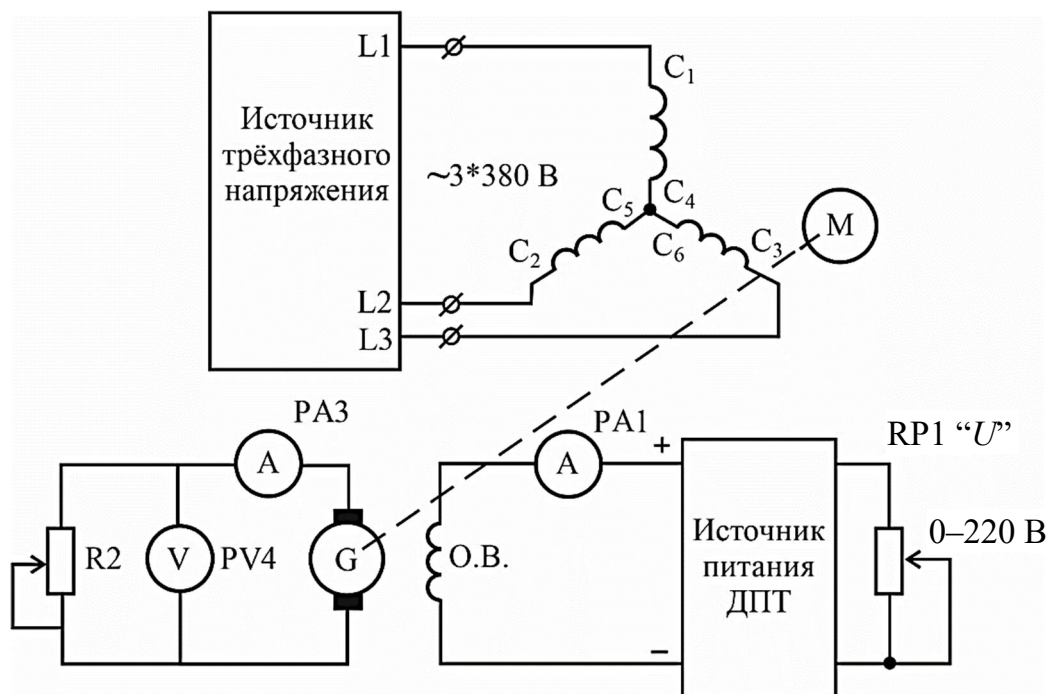


Рис. 3.3. Схема проведения опыта определения внешней характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения

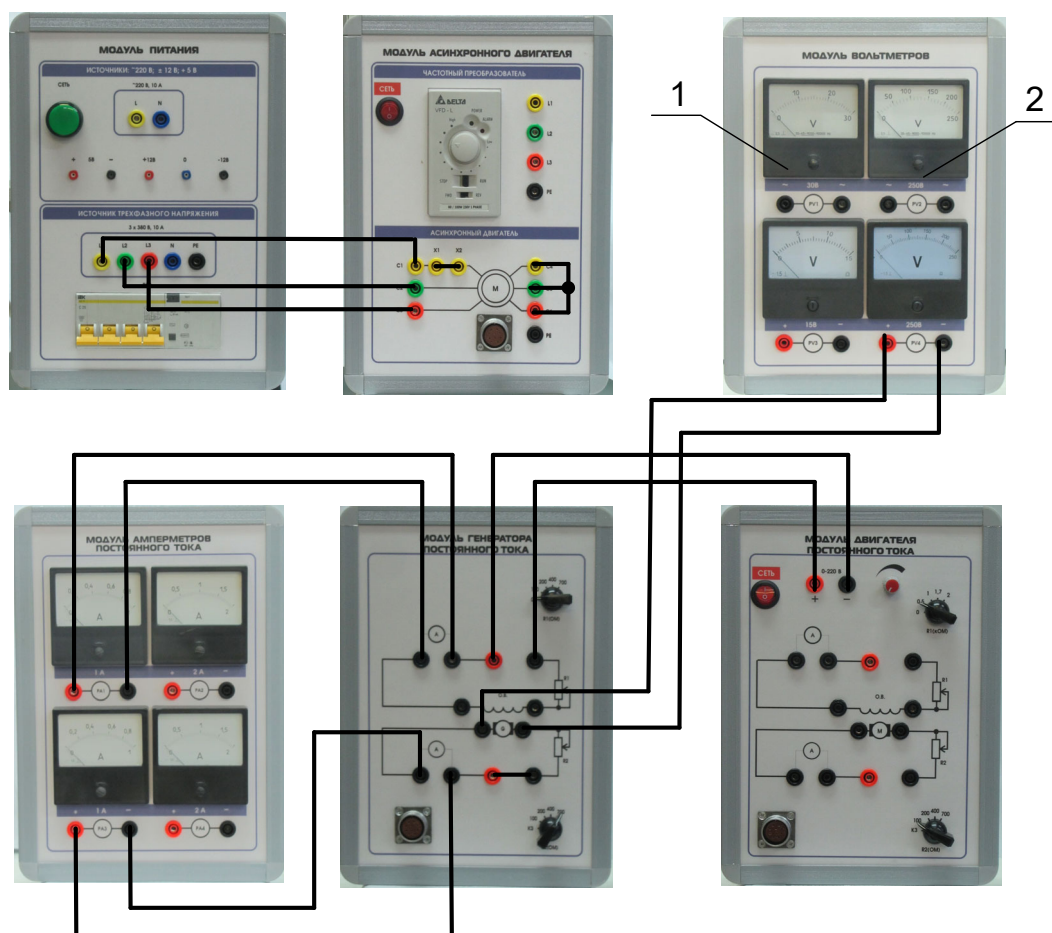


Рис. 3.4. Схема соединения модулей
для определения внешней характеристики
генератора постоянного тока независимого возбуждения

Затем выключатели «Сеть» модулей питания и двигателя постоянного тока перевести во включенное положение. Асинхронный двигатель начнет вращать якорь ГПТ.

Поворотом ручки регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока установить ток возбуждения равным номинальному ($I_{\text{вном}} = 0,2 \text{ A}$).

Отключить нагрузку $R2$ и измерить напряжение на выходе генератора в режиме холостого хода ($I_{\text{я}} = 0$).

Снова подключить нагрузку и, изменяя сопротивление нагрузки с помощью переключателя $R2$ от 700 до 100 Ом, измерять ток нагрузки $I_{\text{я}}$ и выходное напряжение U ГПТ. Полученные значения занести в табл. 3.2.

ВНИМАНИЕ! При проведении эксперимента переключатель $R2$ модуля генератора постоянного тока не устанавливать в положение «КЗ»!

Таблица 3.2

**Внешняя характеристика для двигателя постоянного тока
независимого возбуждения**

$U, \text{В}$								$I_B = 0,2\text{А}$
$I_A, \text{А}$								

После проведения опыта ручку регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока вернуть в исходное положение и отключить выключатель «Сеть» модуля питания.

2.5. Исследование регулировочной характеристики ГПТ независимого возбуждения.

Эта характеристика представляет собой зависимость $I_B = f(I_A)$ при постоянных напряжении ГПТ $U = \text{const}$ и частоте вращения $n = \text{const}$.

Установить переключатель $R1$ модуля генератора постоянного тока в положение «0», а переключатель $R2$ этого модуля – в положение «700».

Выключатель «Сеть» модуля питания перевести во включенное положение. Асинхронный двигатель снова начнет вращать якорь ГПТ.

Изменяя ток возбуждения ГПТ поворотом ручки регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока, установить выходное напряжение ГПТ равным $U_A = 100 \text{ В}$.

Измерить значения токов нагрузки и возбуждения, результаты занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

**Регулировочная характеристика для генератора постоянного тока
независимого возбуждения**

$I_A, \text{А}$								$U_A = 100 \text{ В}$
$I_A, \text{А}$								

С помощью переключателя $R2$ модуля генератора постоянного тока произвести изменение тока нагрузки, а поворотом ручки регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока снова установить напряжение ГПТ равным $U_A = 100 \text{ В}$. Вновь произвести измерения токов. Таким образом снять несколько точек регулировочной характеристики.

ВНИМАНИЕ! При проведении эксперимента переключатель R2 модуля генератора постоянного тока не устанавливать в положение «КЗ»!

После проведения опыта вернуть ручку регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока в исходное положение и отключить выключатель «Сеть» модуля питания.

2.6. Исследование внешней характеристики ГПТ параллельного возбуждения.

Собрать электрическую цепь в соответствии с принципиальной схемой опыта, приведенной на рис. 3.5.

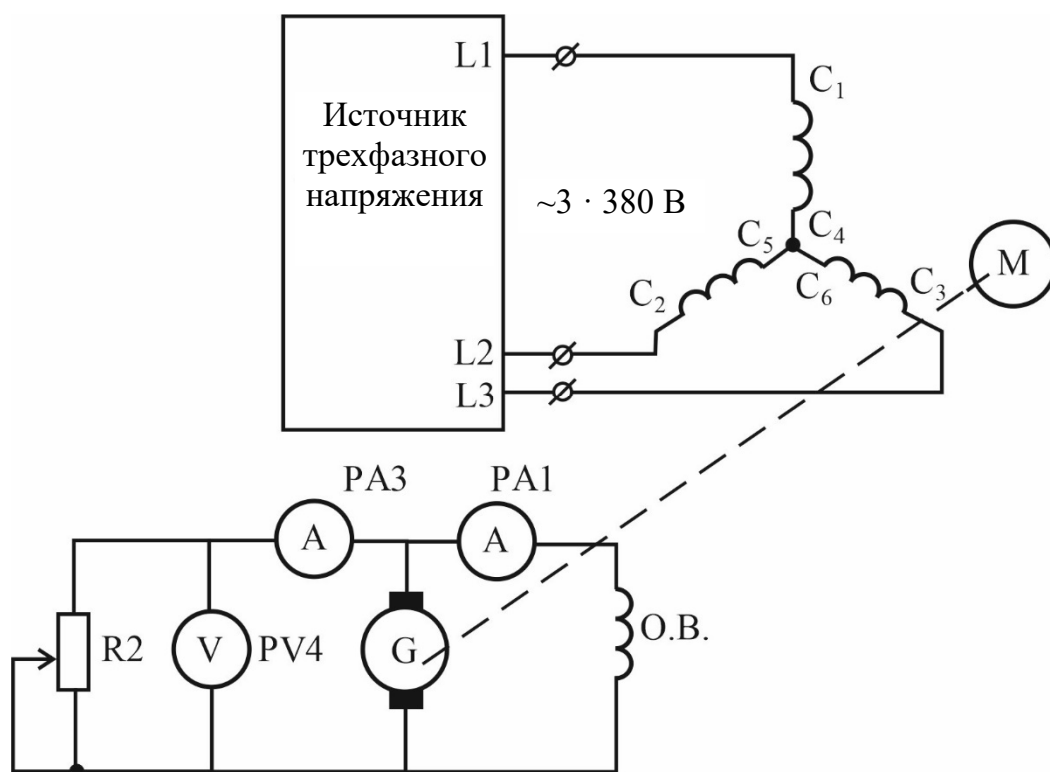


Рис. 3.5. Схема исследования внешней характеристики генератора постоянного тока параллельного возбуждения

Установить переключатель R2 модуля генератора постоянного тока в положение «700».

Выключатель «Сеть» модуля питания перевести во включенное положение. Асинхронный двигатель начнет вращать якорь ГПТ.

Если ГПТ не возбудился (выходное напряжение не превышает нескольких вольт), отключить питание выключателем «Сеть» модуля питания и поменять местами провода, подключенные к выводам обмотки возбуждения. Снова включить питание стенда выключателем «Сеть» модуля питания.

Отключив нагрузку $R2$, измерить ток нагрузки I и напряжение U генератора в режиме холостого хода. Полученные значения занести в табл. 3.4.

Снова подключить нагрузку и, изменяя с помощью переключателя $R2$ сопротивление от 700 до 100 Ом, измерять напряжение и ток нагрузки. Полученные результаты занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

**Внешняя характеристика генератора постоянного тока
параллельного возбуждения**

$U, \text{В}$								
$I, \text{А}$								

После проведения эксперимента разомкнуть выключатели «Сеть» модулей питания и двигателя постоянного тока.

2.7. Собрать цепь для снятия осциллограммы выходного напряжения ГПТ, после проверки цепи преподавателем сохранить осциллограмму с использованием клавиши «PrtScr» и добавить в отчет.

3. Обработка результатов исследований:

3.1. По данным табл. 3.1 построить и проанализировать характеристику холостого хода ГПТ независимого возбуждения.

3.2. По данным табл. 3.2, 3.4 построить в одних координатных осях внешние характеристики ГПТ независимого и параллельного возбуждения, проанализировать их и сравнить с теоретическими.

3.3. По данным табл. 3.3 построить и проанализировать регулировочную характеристику ГПТ независимого возбуждения.

Методические указания

Электрические машины постоянного тока обладают свойством обратимости, т.е. могут работать как в режиме двигателя, так и в режиме генератора. Двигатели постоянного тока (ДПТ) позволяют экономично регулировать частоту вращения в широких пределах. Генераторы постоянного тока (ГПТ) используются в качестве источников энергии для двигателей и других устройств, работающих на постоянном токе.

Основные части конструкции электрических машин – это статор и ротор (якорь). На статоре размещаются полюсы постоянного магнита или электромагнита, образованного обмоткой возбуждения. Вращающаяся часть – ротор (якорь) – состоит из сердечника, в пазы которого уложена якорная обмотка, и коллектора, выполняющего роль

механического выпрямителя у генератора или инвертора у двигателя. Напряжение с коллектора снимается (или подводится к нему) с помощью щеток.

В зависимости от способа включения обмоток возбуждения и якоря различают следующие типы электрических машин постоянного тока:

1) с независимым возбуждением – обмотка возбуждения включается в сеть отдельного источника постоянного тока, при этом ток возбуждения I_b не зависит от тока якоря I_a ;

2) с параллельным возбуждением – обмотка возбуждения подключена к обмотке якоря параллельно нагрузке;

3) с последовательным возбуждением – обмотка возбуждения соединена последовательно с якорной обмоткой и нагрузкой;

4) со смешанным возбуждением – у них имеются две обмотки возбуждения: одна подключена параллельно нагрузке, другая – последовательно с ней.

Если электрические машины постоянного тока работают в режиме генератора, то при подключении к якорной цепи нагрузки R_n в ней будет протекать ток якоря, равный

$$I_a = \frac{E}{R_a + R_n},$$

где $E = C_E n \Phi$ – ЭДС индукции в обмотке якоря; C_E – коэффициент, определяемый конструкцией электрической машины; n – частота вращения якоря; Φ – магнитный поток, пропорциональный току в обмотке возбуждения; R_a – внутреннее сопротивление машины, обусловленное сопротивлениями обмотки якоря и переходных контактов между щеточным аппаратом и коллектором.

Тогда выходное напряжение генератора постоянного тока будет равно

$$U_a = I_a R_n = E - I_a R_a = C_E n \Phi - I_a R_a.$$

Из последнего уравнения видно, что выходное напряжение ГПТ U_a зависит от частоты вращения якоря n , магнитного потока Φ и тока якоря I_a . При этом характер данных зависимостей, а значит, и свойства ГПТ обусловлены способом включения обмоток возбуждения и якоря.

В лабораторной работе исследуются свойства генераторов с независимым и параллельным возбуждением как получивших наибольшее распространение. При этом используется одна и та же электрическая машина, поскольку большинство из выпускаемых промышленностью генераторов с параллельным возбуждением могут включаться и по схеме с независимым возбуждением.

Основными характеристиками, определяющими эксплуатационные свойства ГПТ, являются:

- 1) характеристика холостого хода $E_{\text{я}}(I_{\text{в}})$;
- 2) внешняя характеристика $U_{\text{я}}(I_{\text{н}})$;
- 3) регулировочная характеристика $I_{\text{в}}(I_{\text{я}})$;
- 4) нагрузочная характеристика $U_{\text{я}}(I_{\text{в}})$.

Характеристикой холостого хода ГПТ с независимым возбуждением называют зависимость напряжения холостого хода от тока возбуждения при номинальной частоте вращения якоря $n_{\text{н}} = \text{const}$ и отключенной нагрузке ($I_{\text{я}} = I_{\text{н}} = 0$). В режиме холостого хода машины напряжение на зажимах якоря равно ЭДС $E = C_{\text{еп}}\Phi$. Поскольку частота вращения якоря постоянная, напряжение на зажимах обмотки якоря зависит только от магнитного потока Φ , т.е. от тока возбуждения $I_{\text{в}}$. Поэтому характеристика холостого хода подобна магнитной характеристике $\Phi(I_{\text{в}})$ и имеет вид петли гистерезиса. При токе возбуждения, равном нулю ($I_{\text{в}} = 0$), в обмотке якоря потоком остаточного магнетизма индуцируется остаточная ЭДС $E_{\text{я}}(0) = E_{\text{ост}}$, значение которой составляет 2–4 % от номинального значения напряжения, соответствующего номинальному току якоря.

В ГПТ с параллельным возбуждением используется принцип самовозбуждения, при котором обмотка возбуждения получает питание непосредственно от обмотки якоря генератора. Для самовозбуждения необходимо выполнение следующих условий:

- 1) ГПТ должен иметь остаточный магнитный поток;
- 2) направление магнитодвижущей силы обмотки возбуждения должно совпадать с направлением остаточного магнитного потока. Если они не совпадут, самовозбуждения не возникает (выходное напряжение не превышает нескольких вольт). В этом случае следует поменять местами выводы обмотки якоря;

3) сопротивление обмотки возбуждения должно быть меньше критического.

Третье условие ограничивает диапазон регулирования тока возбуждения генератора и его напряжения. Поэтому для ГПТ с параллельным возбуждением характеристика холостого хода не снимается.

Внешней характеристикой генератора с независимым возбуждением называют зависимость выходного напряжения генератора от тока нагрузки $U_{\text{я}}(I_{\text{н}})$ при номинальной частоте вращения якоря $n_{\text{н}} = \text{const}$ и номинальном токе возбуждения $I_{\text{вн}} = \text{const}$.

В генераторе с независимым возбуждением ток нагрузки равен току якоря. С увеличением данного тока выходное напряжение гене-

ратора снижается от значения $E_{\text{я}}(I_{\text{н}} = 0)$ до значения $U_{\text{ян}}(I_{\text{н}} = I_{\text{ян}})$. Это уменьшение обусловлено падением напряжения на внутреннем сопротивлении машины $R_{\text{я}}$ и уменьшением ЭДС индукции в результате размагничивающего действия реакции якоря.

Изменение напряжения при переходе от режима номинальной нагрузки к режиму холостого хода равно

$$\delta U = \frac{E_{\text{я}} - U_{\text{ян}}}{U_{\text{ян}}}$$

и составляет для генераторов с независимым возбуждением 5–15 %.

Поскольку в генераторе с параллельным возбуждением практически невозможно обеспечить постоянство тока возбуждения, внешняя характеристика такого ГПТ представляет собой зависимость $U_{\text{я}}(I_{\text{н}})$ при номинальной частоте вращения якоря $n_{\text{н}} = \text{const}$ и постоянном сопротивлении обмотки возбуждения $R_{\text{в}} = \text{const}$. При одних и тех же значениях тока нагрузки $I_{\text{н}}$ выходное напряжение ГПТ с параллельным возбуждением меньше, чем у ГПТ с независимым возбуждением. Это объясняется тем, что в данном случае, кроме упомянутых выше двух причин, вызывающих уменьшение напряжения генератора с ростом тока нагрузки, существует еще третья причина – уменьшение тока возбуждения:

$$I_{\text{в}} = \frac{U_{\text{я}}}{R_{\text{в}}},$$

который зависит от выходного напряжения генератора $U_{\text{я}}$, а стало быть, и от тока нагрузки $I_{\text{н}}$.

Генератор с параллельным возбуждением может быть нагружен только до некоторого максимального тока нагрузки $I_{\text{н кр}}$. При дальнейшем уменьшении сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ ток нагрузки

$$I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{я}}}{R_{\text{н}}}$$

начинает уменьшаться, так как напряжение генератора $U_{\text{я}}$ падает быстрее, чем уменьшается сопротивление $R_{\text{н}}$. Работа на данном участке внешней характеристики неустойчива, генератор переходит в режим короткого замыкания.

Регулировочной характеристикой ГПТ с независимым возбуждением называют зависимость тока возбуждения от тока якоря $I_{\text{в}}(I_{\text{я}})$ при постоянном выходном напряжении $U_{\text{я}} = \text{const}$ и номинальной частоте вращения якоря $n_{\text{н}} = \text{const}$. Она показывает, каким образом сле-

дует регулировать ток возбуждения, чтобы поддерживать постоянным напряжение генератора при изменении нагрузки.

Нагрузочной характеристикой ГПТ с независимым возбуждением называют зависимость выходного напряжения от тока возбуждения $U_{\text{я}}(I_{\text{в}})$ при номинальной частоте вращения якоря и номинальном значении тока нагрузки. При одинаковых значениях тока возбуждения нагрузочная характеристика проходит ниже характеристики холостого хода, которую можно рассматривать как частный случай нагрузочной при $I_{\text{н}} = 0$. Разность двух характеристик обусловлена размагничивающим действием реакции якоря и падением напряжения на внутреннем сопротивлении машины $R_{\text{я}}$.

Регулировочные и нагрузочные характеристики ГПТ с параллельным возбуждением имеют такой же характер, как и у генератора с независимым возбуждением.

Контрольные вопросы

1. Каковы конструктивные особенности машин постоянного тока?
2. Каково назначение коллекторно-щеточного аппарата?
3. В чем заключается принцип действия генераторов постоянного тока?
4. Какие характеристики ГПТ считаются основными?
5. При каких условиях происходит самовозбуждение ГПТ параллельного возбуждения?
6. Как протекает процесс самовозбуждения генераторов постоянного тока?
7. Как определяется и для чего служит характеристика холостого хода ГПТ?
8. Какой вид имеет характеристика холостого хода ГПТ?
9. Чем обусловлено наличие остаточного магнетизма в машинах постоянного тока?
10. Что собой представляют и как определяются внешние характеристики генераторов постоянного тока?
11. Почему внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения более мягкая, чем у ГПТ независимого возбуждения?
12. Что собой представляет и как снимается регулировочная характеристика ГПТ?
13. Что собой представляет и как снимается нагрузочная характеристика ГПТ?

14. Какие типы возбуждения используются в генераторах постоянного тока?

15. Почему последовательное возбуждение практически не используется в генераторах постоянного тока?

16. Почему исследовать генератор независимого возбуждения в отличие от генератора параллельного возбуждения нежелательно в режиме короткого замыкания? Поясните с использованием внешних характеристик этих генераторов.

Лабораторная работа № 4

Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Цель работы: исследование способов регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока (ДПТ) и экспериментальное определение его основных характеристик.

Состав экспериментальной установки

Экспериментальная установка включает электромашинный агрегат, представляющий собой соединенные на одном валу три электрические машины: асинхронный двигатель, двигатель постоянного тока, генератор постоянного тока, и следующие модули стенда: модуль питания, модуль генератора постоянного тока, модуль двигателя постоянного тока, модуль амперметров постоянного тока, модуль вольтметров. Дополнительно для измерения частоты вращения вала двигателя используется не входящий в состав стенда лазерный тахометр DM6234P.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя учебные пособия и материалы лекционных занятий, изучить устройство и принцип действия двигателей постоянного тока параллельного возбуждения, их основные параметры и характеристики.

1.2. Ознакомиться с методикой исследования двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением по методическим указаниям.

1.3. В процессе подготовки к работе в лаборатории ответить на контрольные вопросы.

1.4. Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации лазерного тахометра, приведенной в лабораторной работе № 1.

2. Работа в лаборатории:

2.1. Перед началом работы следует ознакомиться с номенклатурой электрооборудования, необходимого для исследования двигателя постоянного тока, поскольку при проведении лабораторной работы используются не только модули стенда.

Записать паспортные данные исследуемого ДПТ, указанные в лабораторной работе № 1.

Примечание. Паспортные данные приведены не полностью.

2.2. Сборка лабораторной установки.

Для выполнения лабораторного задания необходимо произвести соединения модулей проводами, показанными на схемах проведения экспериментов жирными линиями.

2.3. Исследование регулировочных характеристик ДПТ.

Собрать электрическую цепь в соответствии со схемой проведения опыта по исследованию регулировочных характеристик ДПТ параллельного возбуждения, показанной на рис. 4.1.

2.3.1. Регулировочная характеристика ДПТ параллельного возбуждения при изменении питающего напряжения представляет собой зависимость частоты вращения якоря n от напряжения на зажимах цепи якоря $U_{\text{я}}$ $n = f(U_{\text{я}})$ при постоянном моменте на валу $M_2 = \text{const}$.

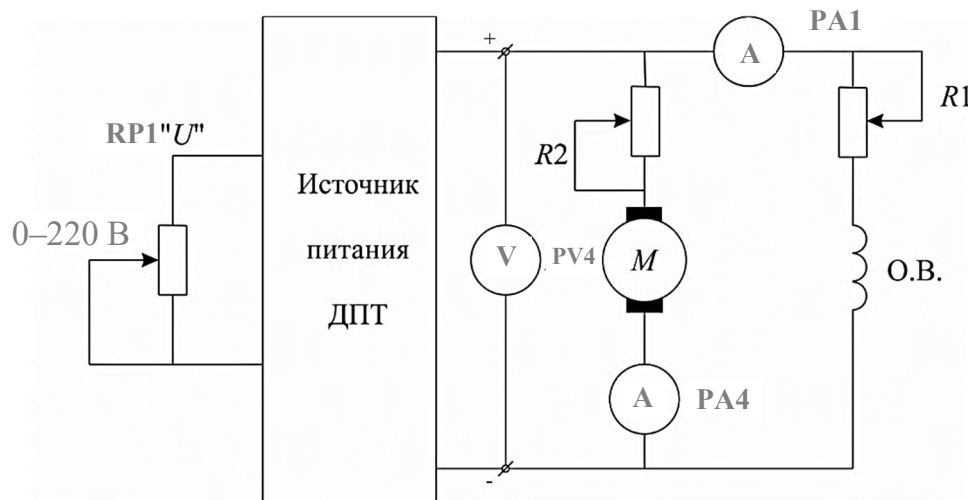


Рис. 4.1. Схема исследования двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Для измерения значения питающего напряжения ДПТ используется вольтметр постоянного тока PV4 с пределом 250 В из модуля вольтметров.

Измерение значения тока возбуждения производится амперметром PA1 с пределом 1 А из модуля амперметров постоянного тока.

Измерение значения тока якоря производится амперметром PA3 с пределом 1 А из модуля амперметров постоянного тока.

Снятие регулировочной характеристики при изменении напряжения на зажимах цепи якоря проводят в следующей последовательности.

Регулятор напряжения модуля двигателя постоянного тока установить в положение минимума напряжения (крайнее левое положение).

Переключатели $R1$ и $R2$ модуля двигателя постоянного тока – в положение «0» и «КЗ» соответственно.

Затем выключатели «Сеть» модулей питания и двигателя постоянного тока перевести во включенное положение. Вал ДПТ начнет вращаться.

Изменяя напряжение на зажимах цепи якоря двигателя $U_{\text{я}}$ в пределах от 0 до 220 В поворотом ручки регулятора напряжения модуля двигателя постоянного тока, измерить с помощью тахометра частоту вращения якоря ДПТ n в нескольких точках.

Полученные данные занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Зависимость n ($U_{\text{я}}$)

$U_{\text{я}}, \text{В}$								$M_2 = \text{const}$
$n, \text{об/мин}$								

2.3.2. Регулировочная характеристика двигателя при изменении тока возбуждения представляет собой зависимость частоты вращения от тока возбуждения $n = f(I_{\text{в}})$ при постоянном моменте на валу $M_2 = \text{const}$ и номинальном напряжении питания $U_{\text{я}} = U_{\text{ном}}$.

Снятие регулировочной характеристики при изменении тока возбуждения проводят в следующей последовательности.

Установить регулятором напряжения модуля двигателя постоянного тока номинальное напряжение $U_{\text{яном}} = 220 \text{ В}$. Изменяя положение переключателя $R1$ от 0 до 2 Ом, измерять ток возбуждения и частоту вращения ДПТ.

Результаты измерений занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Зависимость n ($I_{\text{в}}$)

$I_{\text{в}}, \text{А}$								$U_{\text{я}} = 220 \text{ В}$ $M_2 = \text{const}$
$n, \text{об/мин}$								

2.3.3. Регулировочная характеристика двигателя при изменении сопротивления в цепи якоря двигателя – зависимость частоты вращения от сопротивления в цепи якоря $n = f(R_2)$ при номинальном токе возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{вном}}$ и постоянном моменте на валу $M_2 = \text{const}$.

Снятие регулировочной характеристики при изменении сопротивления в цепи якоря двигателя проводят в следующей последовательности.

Регулятор напряжения модуля двигателя постоянного тока установить в положение минимума напряжения.

Переключатели $R1$ и $R2$ модуля двигателя постоянного тока перевести в положение «0» и «К3» соответственно.

Установить регулятором напряжения модуля двигателя постоянного тока номинальный ток возбуждения ДПТ ($I_{\text{вном}} = 0,2 \text{ А}$). Изменяя положение переключателя $R2$ от 0 (К3) до 700 Ом, измерить с помощью тахометра частоту вращения ДПТ в нескольких точках.

Данные опыта занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Зависимость n (R_2)

R_2 , Ом	0	100	200	400	700	$I_{\text{вном}} = 0,2 \text{ А}$ $M_2 = \text{const}$
n , об./мин						

Вернуть регулятор напряжения модуля двигателя постоянного тока в исходное положение минимума напряжения и отключить питание стенда.

2.4. Исследование естественной механической и рабочих характеристик ДПТ.

Естественная механическая характеристика ДПТ представляет собой зависимость частоты вращения от момента на валу двигателя $n = f(M)$ при постоянных напряжении питания $U_{\text{я}} = U_{\text{яном}} = \text{const}$ и токе возбуждения $I_{\text{в}} = \text{const}$.

Рабочие характеристики двигателя представляют собой зависимости частоты вращения $n = f(P_2)$, электромагнитного момента $M = f(P_2)$, тока якоря $I_{\text{я}} = f(P_2)$ и КПД $\eta = f(P_2)$ от полезной мощности на валу двигателя при постоянных значениях напряжения на зажимах цепи якоря $U_{\text{я}} = U_{\text{яном}} = \text{const}$ и тока возбуждения $I_{\text{в}} = \text{const}$.

Механический момент для ДПТ создает генератор постоянного тока независимого возбуждения.

Экспериментальное определение исследуемых характеристик проводят в следующей последовательности.

Собрать электрическую цепь, схема которой показана на рис. 4.2.

Переключатели $R1$ и $R2$ модуля двигателя постоянного тока перевести в положение «0» и «К3» соответственно.

Переключатель $R1$ модуля генератора постоянного тока установить в положение «0», а переключатель $R2$ этого модуля – в положение «700 Ом».

Затем выключатели «Сеть» модулей питания и двигателя постоянного тока перевести во включенное положение. Вал ДПТ начнет вращаться.

Регулятором напряжения модуля двигателя постоянного тока установить номинальное напряжение якоря ДПТ $U_{\text{яном}} = 220 \text{ В}$.

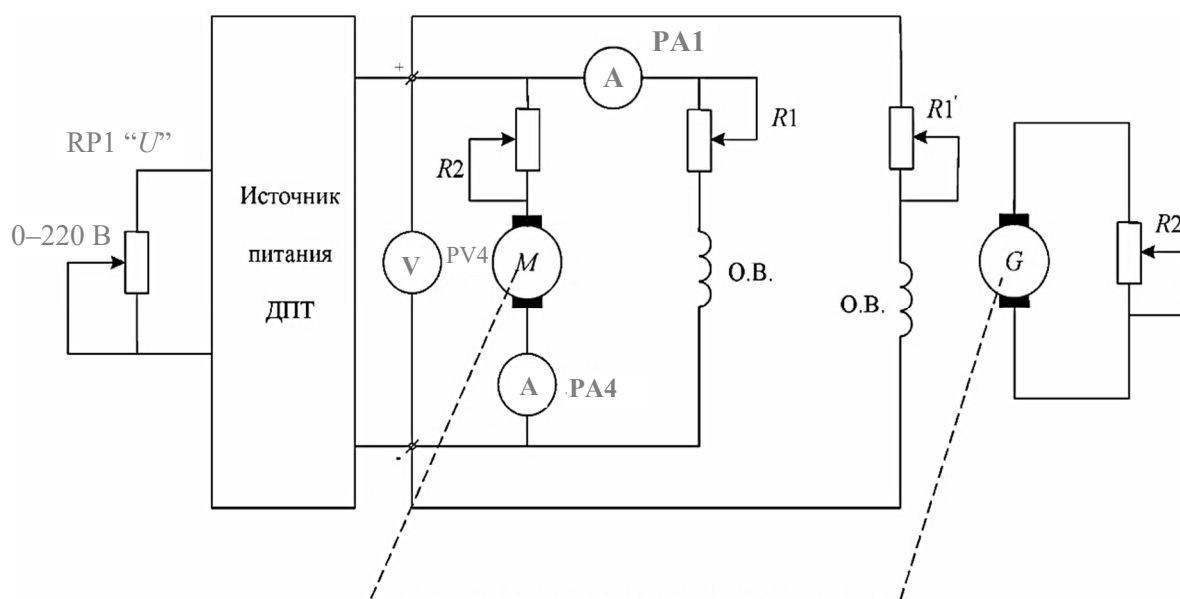


Рис. 4.2. Схема исследования механической и рабочих характеристик двигателя постоянного тока

Разомкнуть цепь обмотки якоря ГПТ (отключив нагрузку) и произвести измерения напряжения якоря $U_{\text{я}}$, тока якоря $I_{\text{я}}$, тока возбуждения $I_{\text{в}}$ генератора и частоты вращения ДПТ n при тормозном моменте двигателя $M_{\text{т}}$.

Снова подключить нагрузку ГПТ и, изменяя положение переключателя $R2$ модуля генератора постоянного тока от 700 до 100 Ом (тем самым варьируя момент нагрузки ДПТ), повторить измерения.

ВНИМАНИЕ! При проведении эксперимента переключатель $R2$ модуля генератора постоянного тока не устанавливать в положение «К3»!

Результаты измерений занести в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Механические и рабочие характеристики двигателя постоянного тока

Данные опыта				Расчетные данные			
$U_{\text{я}}, \text{В}$	$I_{\text{я}}, \text{А}$	$n, \text{об/мин}$	$I_{\text{в}}, \text{А}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$P_2, \text{Вт}$	$P_1, \text{Вт}$	$\eta, \%$

2.5. Исследование способов регулирования частоты вращения ДПТ:**2.5.1. Полюсное регулирование.**

Искусственная механическая характеристика ДПТ при полюсном регулировании представляет собой зависимость $n = f(M)$, полученную при включенном последовательно с обмоткой возбуждения дополнительном резисторе $R1$ и номинальном напряжении питания $U_{\text{я}} = U_{\text{яном}} = \text{const}$. Переключатель $R1$ модуля двигателя постоянного тока установить в положение «0,5 Ом».

Разомкнуть цепь обмотки якоря ГПТ (отключив нагрузку) и произвести измерения напряжения якоря $U_{\text{я}}$, тока якоря $I_{\text{я}}$, тока возбуждения $I_{\text{в}}$ и частоты вращения ДПТ n при тормозном моменте двигателя $M_{\text{т}}$.

Снова подключить нагрузку ГПТ и, изменяя положение переключателя $R2$ модуля генератора постоянного тока от 700 до 100 Ом (тем самым варьируя момент нагрузки ДПТ), повторить измерения.

Результаты занести в табл. 4.5, указав в примечании способ регулирования.

Таблица 4.5

Искусственная механическая характеристика двигателя постоянного тока

Данные опыта				Расчетные данные	Примечание
$U_{\text{я}}, \text{В}$	$I_{\text{я}}, \text{А}$	$n, \text{об/мин}$	$I_{\text{в}}, \text{А}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	Способ регулирования

2.5.2. Реостатное регулирование.

Искусственная механическая характеристика ДПТ при реостатном регулировании представляет собой зависимость $n = f(M)$, полученную при включенном последовательно с обмоткой якоря дополнительном резисторе $R2$ и номинальном напряжении питания $U_{\text{я}} = u_{\text{яном}} = \text{const}$.

Переключатель $R1$ модуля двигателя постоянного тока вернуть в положение «0», а переключатель $R2$ перевести в положение «400 Ом».

Произвести измерения аналогично п. 2.5.1, результаты занести в табл. 4.5, указав в примечании способ регулирования.

После проведения эксперимента выключатели «Сеть» модулей питания и двигателя постоянного тока выключить.

3. Обработка результатов исследований:

3.1. По данным табл. 4.1 построить регулировочную характеристику при изменении напряжения питания $n = f(U_{\text{я}})$.

3.2. По данным табл. 4.2 построить регулировочную характеристику при изменении тока возбуждения $n = f(I_{\text{в}})$.

3.3. По данным табл. 4.3 построить регулировочную характеристику при изменении сопротивления в цепи якоря $n = f(R_2)$.

3.4. По данным табл. 4.4, пользуясь методическими указаниями, произвести необходимые расчеты и построить рабочие характеристики $n = f(P_2)$; $M = f(P_2)$; $I_{\text{я}} = f(P_2)$; $\eta = f(P_2)$.

3.5. По данным табл. 4.4, 4.5 в одних координатных осях построить естественную и искусственные механические характеристики $n = f(M)$.

3.6. По данным табл. 4.4 построить скоростную характеристику $n = f(I_{\text{я}})$.

3.7. По данным табл. 4.4 построить характеристику момента $M = f(I_{\text{я}})$.

3.8. Проанализировать построенные характеристики и сделать выводы по проделанной работе. Оформить отчет.

Методические указания

Двигателями постоянного тока (ДПТ) называют электрические машины, преобразующие электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.

В зависимости от конструктивного исполнения и способа включения обмотки возбуждения различают двигатели независимого, параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

Наиболее часто на практике используют ДПТ параллельного возбуждения.

При подключении такой машины к сети постоянного тока по обмоткам возбуждения и якоря начнут протекать токи. Ток возбуждения создает магнитный поток в магнитной цепи машины, значение которого зависит от конструкции и материала магнитопровода, а также от силы тока возбуждения.

Суммарное взаимодействие токов всех проводников обмотки якоря с магнитным полем создает механический момент на валу двигателя:

$$M = C_m I_a \Phi, \quad (1)$$

где M – механический момент на валу двигателя; C_m – магнитная постоянная, зависящая от конструкции машины; I_a – ток якоря; Φ – магнитный поток.

Под действием механического момента якорь машины начинает вращаться с частотой n .

Одновременно в каждом проводнике якоря, перемещающемся в магнитном поле машины, возникает ЭДС индукции. В результате суммарная электродвижущая сила всей якорной обмотки может быть определена из уравнения

$$E = C_E \Phi n, \quad (2)$$

где E – ЭДС обмотки якоря; C_E – электрическая постоянная, зависящая от конструкции машины; n – частота вращения якоря.

Если частота вращения n измеряется в оборотах в минуту, то

$$C_m / C_E = 60 / 2\pi \approx 9,55. \quad (3)$$

Направление ЭДС индукции противоположно направлениям токов проводников обмотки якоря, поэтому ее часто называют противо-ЭДС, подчеркивая тем самым, что она противодействует приложенному напряжению и току якоря:

$$E = U_a - R_a I_a, \quad (4)$$

где U_a – напряжение питания, подводимое к двигателю; R_a – сопротивление обмотки якоря.

Основными характеристиками, которыми оцениваются эксплуатационные свойства двигателя, являются:

- 1) механические – $n(M)$ при $U_a = \text{const}$, $I_b = \text{const}$;
 - 2) скоростная – $n(I_a)$ при $U_a = \text{const}$, $I_b = \text{const}$;
 - 3) момента – $M(I_a)$ при $U_a = \text{const}$, $I_b = \text{const}$;
 - 4) регулировочные – $n(U_a)$ при $M = \text{const}$;
 - 5) рабочие – $n = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $I_a = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ при $U_a = U_{\text{ном}}$,
- где P_2 – полезная мощность на валу двигателя.

Механическая характеристика является основной для двигателей постоянного тока. При этом различают естественную и искусственные механические характеристики.

Естественная механическая характеристика – это зависимость $n(M)$ при номинальном напряжении питания $U_{\text{я}} = U_{\text{яном}}$, номинальном токе якоря $I_{\text{я}} = I_{\text{яном}}$ (в цепи якоря отсутствуют дополнительные сопротивления) и номинальном токе возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{вном}}$ (т.е. при номинальном магнитном потоке $\Phi_{\text{ном}}$).

При изменении значения одной из перечисленных величин зависимость $n(M)$ называется искусственной механической характеристикой.

Выражая из вышеприведенных формул частоту вращения n , получаем, что

$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{R_{\text{я}} M}{C_E C_M \Phi^2}. \quad (5)$$

Таким образом, механическая характеристика двигателя постоянного тока выражается прямой линией (рис. 4.3), а построить ее можно, используя паспортные данные двигателя, по двум точкам:

1-я точка: $M = 0$, $n_0 = U_{\text{яном}} / C_E \Phi$;

2-я точка: $M = M_{\text{ном}}$, $n = n_{\text{ном}}$,

где $U_{\text{яном}}$ – номинальное напряжение питания ДПТ; $n_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$ – номинальные частота вращения и момент.

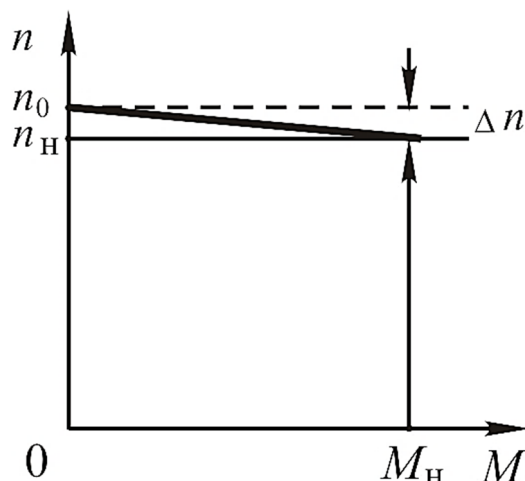


Рис. 4.3. Рабочая часть механической характеристики двигателя постоянного тока

Рабочая часть механической характеристики, ограниченная режимом холостого хода ($M = 0$) и номинальным значением момента на валу $M_{\text{ном}}$, занимает лишь начальную часть полной характеристики

(см. рис. 4.3), в пределах которой частота вращения изменяется незначительно.

Механическая характеристика, когда при изменении момента от нулевого до номинального значения частота вращения изменяется незначительно, называется *жесткой*.

Точку пересечения механической характеристикой оси абсцисс можно определить из условий пуска двигателя. При подключении его в сеть из-за инерционности якоря частота вращения в начальный момент времени равна нулю $n = 0$. ПротивоЭДС обмотки якоря тоже равна нулю, и тогда напряжение оказывается приложенным только к сопротивлению цепи якоря. Таким образом, из (4) можно найти значение пускового тока

$$I_{\text{яп}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}, \quad (6)$$

которое из-за малых значений $R_{\text{я}}$ в несколько раз превышает номинальное (рис. 4.4).

Механический момент, развиваемый двигателем при пуске, называют пусковым $M_{\text{п}}$, и его значение определяется формулой

$$M_{\text{п}} = C_{\text{м}} I_{\text{п}} \Phi = C_{\text{м}} \frac{U}{R_{\text{я}}} \Phi. \quad (7)$$

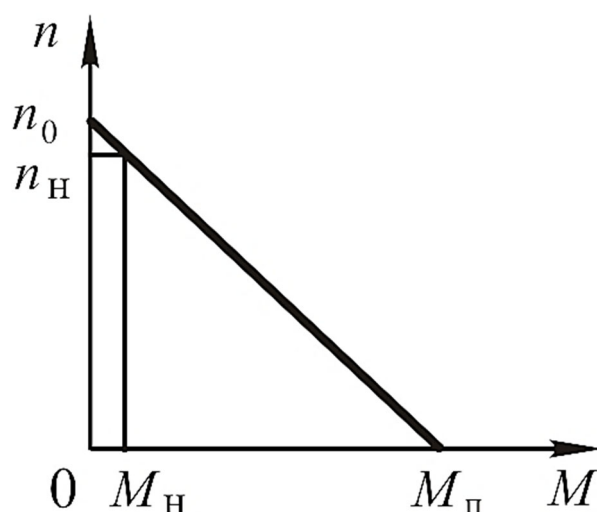


Рис. 4.4. Полная механическая характеристика двигателя постоянного тока

Основным преимуществом двигателей постоянного тока является сравнительная простота регулирования частоты вращения якоря в больших пределах. Выделяют три способа управления частотой вращения якоря:

- реостатное регулирование;
- полюсное регулирование;
- якорное регулирование.

Если представить (5) в виде

$$n = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_2)}{C_E \Phi}, \quad (8)$$

где R_2 – сопротивление регулировочного реостата, включенного последовательно в цепь якоря, то видно, что частоту вращения ДПТ можно регулировать тремя способами (при заданном моменте):

- 1) включением регулировочного реостата (R_2) в цепь обмотки якоря – реостатное регулирование;
- 2) изменением магнитного потока Φ – полюсное регулирование;
- 3) изменением питающего напряжения – якорное регулирование.

Реостатное регулирование

Под реостатным управлением двигателя постоянного тока понимают изменение частоты вращения двигателя путем изменения сопротивления цепи якоря (рис. 4.5).

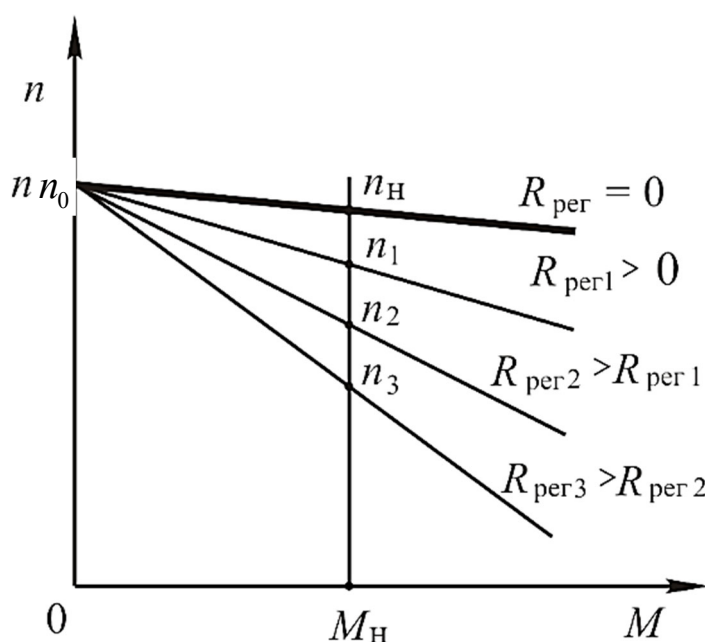


Рис. 4.5. Механические характеристики при реостатном регулировании

Для такого регулирования последовательно с якорем включают реостат R_2 . Изменение частоты вращения двигателя постоянного тока с помощью регулировочного реостата возможно в том случае, когда

двигатель нагружен механическим моментом, близким к номинальному. Принцип регулирования основан на том, что при увеличении сопротивления цепи якоря увеличивается угол наклона механической характеристики двигателя к оси моментов и при постоянном механическом моменте сопротивления на валу частота вращения уменьшается.

Данный способ позволяет только уменьшить частоту вращения. Его основной недостаток – большие потери в регулировочном реостате. Поэтому с точки зрения энергетических затрат такой способ регулирования частоты вращения неэффективен.

Полюсное регулирование

Под полюсным управлением двигателя постоянного тока понимают регулирование частоты вращения якоря путем изменения напряжения на зажимах обмотки возбуждения. При этом ток якоря и напряжение на якоре остаются неизменными при постоянном моменте на валу.

Полюсное регулирование обеспечивается изменением тока возбуждения, что приводит к изменению магнитного потока. При изменении тока возбуждения угол наклона механических характеристик изменяется. Так, уменьшение тока возбуждения приводит к увеличению частоты вращения, а увеличение тока возбуждения дает уменьшение частоты вращения двигателя (рис. 4.6).

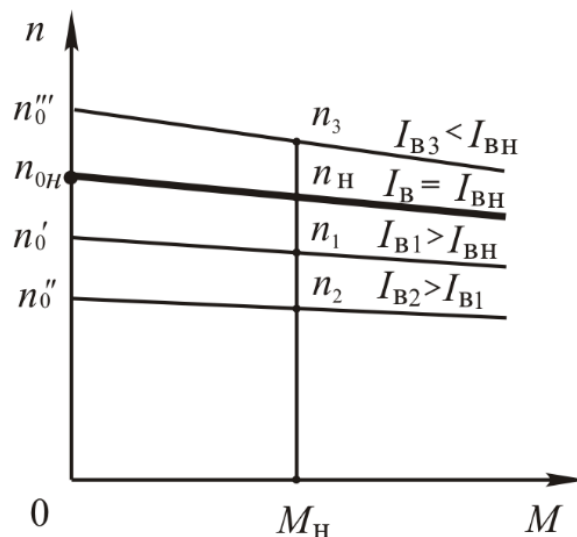


Рис. 4.6. Механические характеристики при полюсном регулировании

Данный способ весьма прост и экономичен, однако диапазон изменения частоты вращения сравнительно невелик.

Нижний предел ограничивается возможностью перегрева обмотки возбуждения и насыщением магнитной цепи машины. Значительное увеличение тока возбуждения свыше номинального значения приводит к перегреву обмотки возбуждения. Иногда допускают превышение тока возбуждения на 15–20 %.

Верхний предел ограничивается устойчивостью работы двигателя. Теоретически уменьшение тока возбуждения в два раза приводит к двукратному росту частоты вращения, что уже недопустимо. Дальнейшее же уменьшение тока возбуждения приводит к аварийной ситуации и к выходу двигателя из строя. Поэтому в ряде случаев применяют системы защиты двигателя, которые отключают напряжение питания якоря при опасно малых токах возбуждения.

Наиболее просто полюсное регулирование реализуется путем включения последовательно с обмоткой возбуждения дополнительного реостата. При увеличении его сопротивления ток возбуждения уменьшается, а частота вращения якоря увеличивается.

Якорное регулирование

Под якорным управлением понимают регулирование частоты вращения якоря двигателей постоянного тока путем изменения напряжения на зажимах якоря. Напряжение на обмотке возбуждения при этом должно оставаться неизменным.

При таком способе управления двигателем регулировочное сопротивление не используют, и сопротивление цепи якоря определяется только сопротивлением обмотки якоря $R_{\text{я}}$.

Как следует из (8) при увеличении напряжения на якоре частота вращения также увеличивается (рис. 4.7).

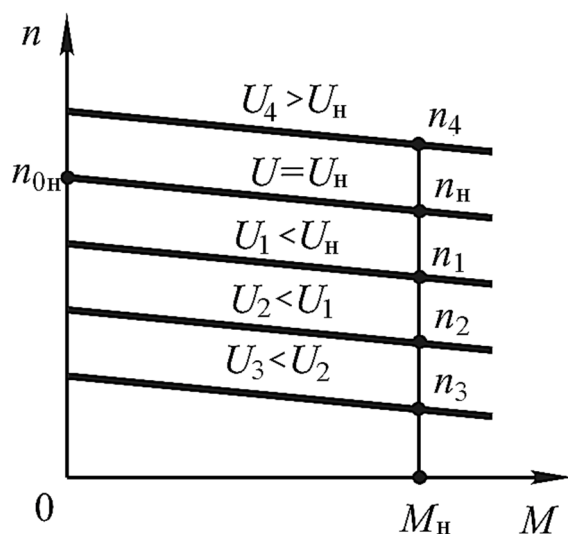


Рис. 4.7. Механические характеристики при якорном регулировании

Однако превышение напряжением номинального значения нежелательно, так как частота вращения при этом становится больше номинальной, а это может привести к преждевременному износу машины. На практике иногда допускается увеличение напряжения на якоре на 15–20 % свыше номинального напряжения.

Кроме механической, к основным характеристикам двигателей постоянного тока относят скоростную характеристику момента.

Скоростной характеристикой называют зависимость частоты вращения от тока якоря двигателя $n = f(I_{\text{я}})$ при постоянном номинальном напряжении питания $U_{\text{яном}} = \text{const}$ и постоянном токе возбуждения $I_{\text{в}} = \text{const}$.

В формуле (8) от тока якоря зависят две составляющие: произведение $(R_{\text{я}} + R_2) I_{\text{я}}$ и результирующий магнитный поток машины Φ .

Произведение $(R_{\text{я}} + R_2) I_{\text{я}}$ определяет падение напряжения в цепи якоря и при увеличении тока якоря приводит к пропорциональному уменьшению частоты вращения.

Магнитный поток при увеличении тока якоря несколько уменьшается из-за реакции якоря. Эта зависимость магнитного потока от тока якоря нелинейная, поэтому и скоростная характеристика двигателей с независимым и параллельным возбуждением оказывается нелинейной.

В зависимости от соотношения влияния на частоту вращения падения напряжения в цепи якоря и изменения магнитного потока двигателя характеристика скорости может иметь различный вид. На рис. 4.8 кривая 1 представляет собой характеристику скорости двигателя, у которого влияние $(R_{\text{я}} + R_2) I_{\text{я}}$ преобладает перед влиянием потока Φ , кривая 3 представляет собой скоростную характеристику двигателя, у которого влияние потока Φ преобладает перед влиянием произведения $(R_{\text{я}} + R_2) I_{\text{я}}$.

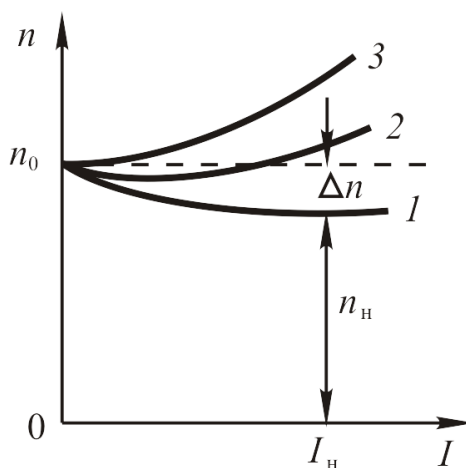


Рис. 4.8. Скоростная характеристика двигателя постоянного тока

Чаще всего встречаются двигатели, у которых уменьшение частоты вращения за счет падения напряжения на сопротивлении цепи якоря преобладает перед влиянием реакции якоря, приводящей к уменьшению магнитного потока.

Характеристикой **момента** называют зависимость механического момента на валу двигателя от тока якоря $M_2 = f(I)$ при постоянном номинальном напряжении питания $U_{\text{я}} = U_{\text{яном}} = \text{const}$ и при постоянном номинальном токе возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{вном}} = \text{const}$.

Ток якоря ненагруженного двигателя не равен нулю. Это объясняется наличием потерь в двигателе, работающем без нагрузки. Такой ток называется током холостого хода $I_{\text{я0}}$.

Тогда механический момент на валу двигателя, работающего в режиме холостого хода, согласно (1), будет равен $M_0 = C_{\text{м}} I_{\text{я0}} \Phi$.

Нагруженный двигатель при токе якоря $I_{\text{я}}$ развивает механический момент $M_{\text{эм}} = C_{\text{м}} I_{\text{я}} \Phi$, который называется электромагнитным.

Механический момент на выходе двигателя равен разности электромагнитного момента и момента холостого хода $M_2 = M_{\text{эм}} - M_0$.

При неизменном значении магнитного потока Φ зависимости $M_{\text{эм}} = f(I_{\text{я}})$ и $M_0 = f(I_{\text{я}})$ были бы линейными. Однако магнитный поток машины несколько уменьшается при увеличении тока якоря $I_{\text{я}}$ из-за реакции якоря, поэтому реальные характеристики $M_{\text{эм}} = f(I_{\text{я}})$ и $M_2 = f(I_{\text{я}})$ являются нелинейными (рис. 4.9).

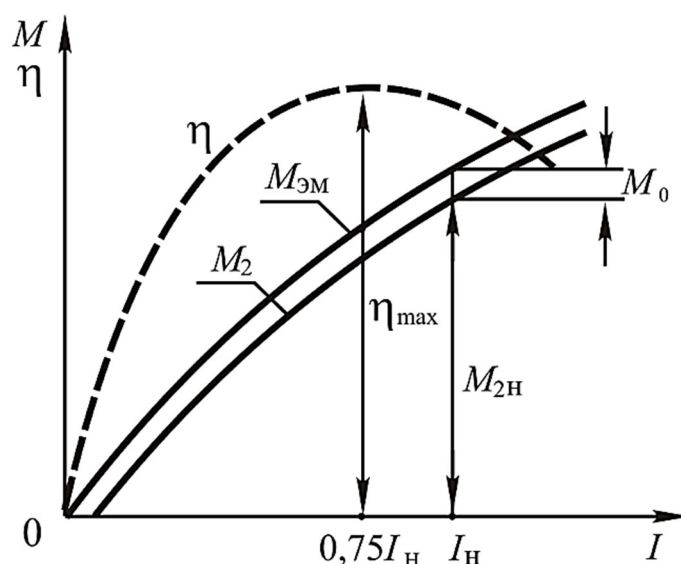


Рис. 4.9. Зависимости $M(I)$, $\eta(I)$

Регулировочные характеристики показывают зависимость частоты вращения n от напряжения питания $U_{\text{я}}$ при постоянном момен-

те на валу двигателя $M = \text{const}$, при этом напряжение $U_{\text{я}}$, при котором начинается вращение якоря двигателя, называется напряжением трогания $U_{\text{т}}$. Расчетную характеристику $n(U_{\text{я}})$ для момента $M = M_{\text{ном}}$ можно построить по точкам:

$$1\text{-я точка: } U_{\text{тр}} = R_{\text{я}} I_{\text{яном}}, n = 0;$$

$$2\text{-я точка: } U_{\text{я}} = U_{\text{ном}}, n = n_{\text{ном}}.$$

Кроме этого, используются и регулировочные характеристики при изменении тока возбуждения $n = f(I_{\text{в}})$ и сопротивления в цепи якоря $n = f(R_2)$.

Среди *рабочих* характеристик $n = f(P_2)$; $M = f(P_2)$; $I_{\text{я}} = f(P_2)$; $\eta = f(P_2)$, которые отражают эксплуатационные свойства двигателей постоянного тока, особый интерес представляет зависимость КПД. Эта характеристика при постоянном напряжении питания имеет тот же вид, что и зависимость КПД от тока якоря, показанная на рис. 4.9. КПД равен нулю при токах, меньших тока холостого хода ($M_2 = 0$ и $P_2 = 0$). При дальнейшем увеличении мощности он увеличивается и достигает максимального значения при токе якоря, равном примерно $0,75 I_{\text{ян}}$. При больших токах КПД начинает уменьшаться. КПД двигателей средней и большой мощности при номинальном токе достигает 85–95 %.

При определении расчетных данных следует использовать следующие соотношения:

P_1 – мощность, подводимая к ДПТ (потребляемая), Вт:

$$P_1 = U_{\text{я}} (I_{\text{я}} + I_{\text{в}});$$

P_2 – полезная мощность на валу двигателя без учета механических потерь, Вт:

$$P_2 \approx (U_{\text{я}} - R_{\text{я}} I_{\text{я}}) I_{\text{я}},$$

где $R_{\text{я}} = 100$ Ом – сопротивление цепи якоря ДПТ; M – электромагнитный момент, Н·м; $M = 9,55 I_{\text{я}} (U_{\text{я}} - R_{\text{я}} I_{\text{я}}) / n = 9,55 P_2 / n$;

η – КПД, %,

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 \text{ \%}.$$

Контрольные вопросы

1. Опишите устройство двигателя постоянного тока.
2. В чем заключается принцип действия двигателей постоянного тока?
3. Какие способы возбуждения возможны в двигателях постоянного тока?
4. Какая характеристика двигателя называется механической?
5. Чем отличаются искусственные механические характеристики от естественной?
6. Какие способы регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока параллельного возбуждения существуют? В чем их достоинства и недостатки?
7. Почему у ДПТ возрастает ток якоря при увеличении нагрузки на его валу?
8. Почему с ростом нагрузки на валу уменьшается частота вращения якоря?
9. Почему при уменьшении тока возбуждения частота вращения ДПТ возрастает?
10. Как должен изменяться ток якоря при уменьшении тока возбуждения и постоянном моменте сопротивления на валу двигателя?
11. Как изменится вид механической характеристики двигателя, если ввести в цепь якоря регулировочный реостат?
12. Как изменится вид механической характеристики двигателя, если ввести в цепь возбуждения дополнительный реостат?
13. Какая характеристика двигателя постоянного тока называется скоростной? Какой вид она имеет и почему?
14. Какая характеристика двигателя постоянного тока называется характеристикой момента? Какой вид она имеет и почему?
15. Что представляют собой регулировочные характеристики двигателя постоянного тока?
16. Какие характеристики двигателя постоянного тока являются рабочими? Какой вид они имеют?

Лабораторная работа № 5

Исследование трехфазного асинхронного двигателя малой мощности

Цель работы: экспериментальное определение основных характеристик и наиболее важных параметров трехфазного асинхронного двигателя (АД).

Состав экспериментальной установки

Экспериментальная установка включает электромашинный агрегат, представляющий собой соединенные на одном валу три электрические машины: асинхронный двигатель, двигатель постоянного тока, генератор постоянного тока, и следующие модули стенда: модуль питания, модуль асинхронного двигателя, модуль генератора постоянного тока, модуль амперметров переменного тока, модуль мультиметров, модуль реактивных элементов. Дополнительно используются не входящие в состав стенда лазерный тахометр DM6234P и ваттметр Д5064.

Программа работы

1. Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории:

1.1. Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия [1–3], настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

- ознакомиться с принципом действия трехфазного асинхронного двигателя;
- изучить устройство лабораторной установки и модулей, применяемых в данной работе, ознакомиться с электрическими схемами экспериментов, представленных на рис. 5.1, 5.3.

1.2. В процессе подготовки к работе в лаборатории ответить на контрольные вопросы настоящих методических указаний.

1.3. Подготовить таблицы, необходимые при выполнении лабораторной работы.

2. Работа в лаборатории:

2.1. Лабораторная работа выполняется на универсальном учебно-исследовательском стенде. Перед началом работы необходимо ознакомиться с номенклатурой электрооборудования, поскольку при про-

ведении лабораторных исследований используются не только модули стенда. Записать паспортные данные исследуемого асинхронного двигателя АИР56А4У3, указанные в лабораторной работе № 1.

2.2. Сборка лабораторной установки.

Для выполнения лабораторного задания необходимо произвести соединения модулей проводами, показанными на схемах проведения экспериментов жирными линиями.

2.3. Исследование асинхронного двигателя в трехфазном режиме:

2.3.1. Собрать электрическую цепь в соответствии со схемой, изображенной на рис. 5.1. Для этого произвести соединения проводами между модулями, показанными на рис. 5.2 жирными линиями.

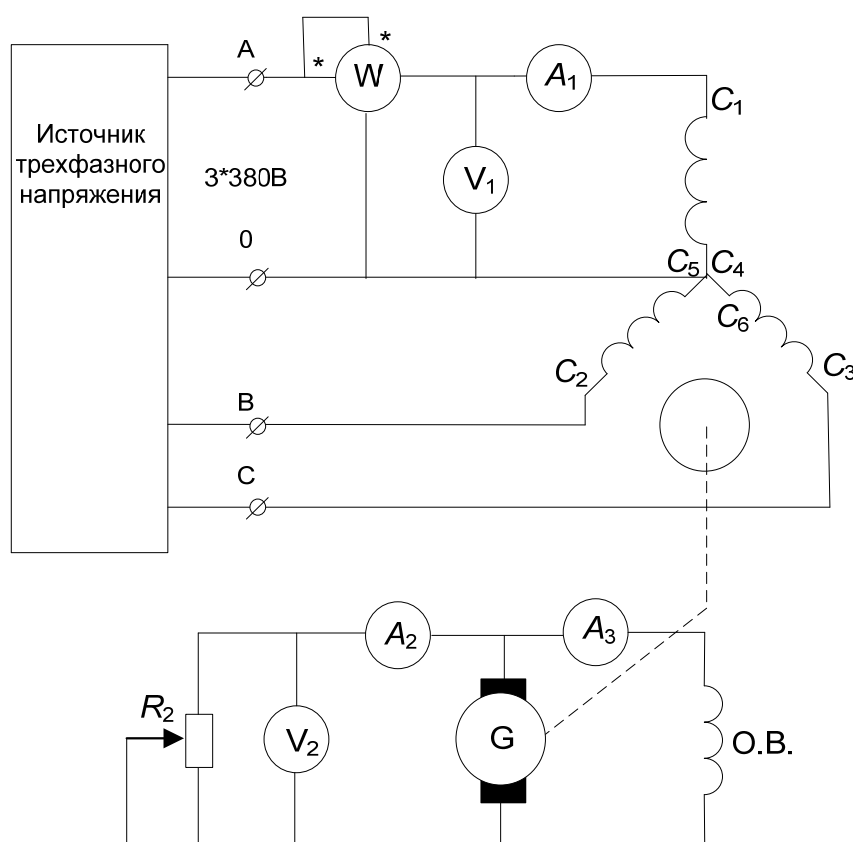


Рис. 5.1. Электрическая схема для исследования параметров асинхронного двигателя в трехфазном режиме

С помощью амперметра A1 производится измерение тока фазы «А» обмотки статора асинхронного двигателя. Для этого используется цифровой мультиметр 1, при этом его переключатель следует перевести в положение измерения переменного тока с пределом измерения $I_{1\sim} = 20$ А.

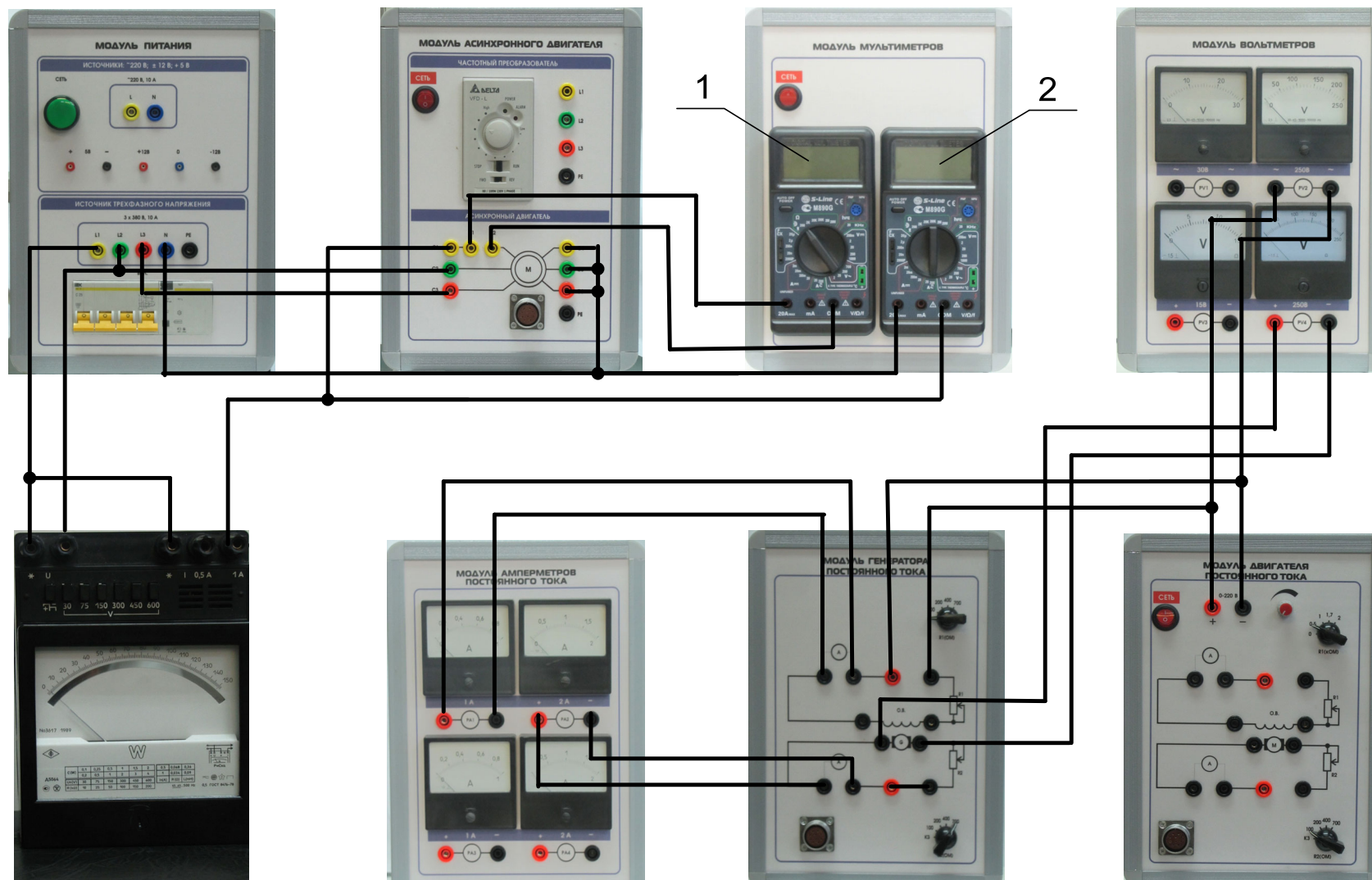


Рис. 5.2. Электрическая схема соединений модулей стенда для исследования параметров асинхронного двигателя в трехфазном режиме

Вольтметр V1 предназначен для измерения фазного напряжения обмотки статора асинхронного двигателя. Это осуществляется стрелочным вольтметром переменного тока $pV2$ с пределом измерения $U_{1\sim} = 250$ В из модуля вольтметров.

Ваттметр W позволяет измерять активную мощность фазы «А» обмотки статора асинхронного двигателя. Для этого необходимо установить переключатель напряжений ваттметра в положение $U = 300$ В и использовать клемму амперметра $I = 0,5$ А, тогда предел измерения ваттметра составит $P_{1\phi} = 150$ Вт.

Амперметры A2 и A3 предназначены соответственно для измерения тока якоря и тока возбуждения генератора постоянного тока. Это осуществляется стрелочными амперметрами $pA1$ и $pA3$ с пределами измерения $I_2 = I_3 = 1$ А из модуля амперметров постоянного тока.

В качестве вольтметра V2 использовать цифровой мультиметр 1, при этом его переключатель перевести в положение измерения постоянного напряжения с пределом измерения $U_2 = 200$ В.

2.3.2. Произвести пуск асинхронного двигателя в режиме холостого хода.

Переключатель R_1 модуля генератора постоянного тока перевести в положение «0», а переключатель R_2 – в положение «700 Ом».

После проверки собранной электрической цепи преподавателем с помощью выключателя модуля питания произвести пуск двигателя. При этом питание модуля двигателя постоянного тока должно быть отключено.

Произвести измерения значений соответствующих величин и занести данные в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Механическая и рабочие характеристики асинхронного двигателя

Результаты измерений					Результаты вычислений							
n_2 , об/мин	U_1 , В	$P_{1\phi}$, Вт	$U_{я}$, В	$I_{я}$, А	I_1 , А	P_1 , Вт	P_2 , Вт	η , %	$\cos \phi_1$	S , В · А	M , (Н · м)	s , %

2.3.3. Исследовать асинхронный двигатель в трехфазном режиме под нагрузкой:

2.3.3.1. Включить питание модуля двигателя постоянного тока и регулятором напряжения этого модуля (0–220) В с помощью амперметра A3 установить номинальный ток возбуждения генератора $I_B = 0,2$ А.

2.3.3.2. Исследовать механическую $n_2(M)$ и рабочие характеристики АД в трехфазном режиме.

Изменяя с помощью нагрузочного резистора R_2 модуля генератора постоянного тока значение момента на валу двигателя M от момента холостого хода M_0 , когда нагрузка генератора постоянного тока R_2 отключена, до максимально возможного значения момента $M_{\max}$ ($R_2 = 100$ Ом), измерить частоту вращения ротора n_2 , напряжение U_1 , ток I_1 и мощность $P_{1\phi}$ фазы А двигателя, а также напряжение $U_{\text{я}}$ и ток $I_{\text{я}}$ якоря генератора. Результаты измерений занести в табл. 5.1.

2.4. Исследование асинхронного двигателя в однофазном режиме:

2.4.1. Собрать электрическую цепь включения АД в однофазном режиме в соответствии с электрической схемой на рис. 5.3. Для этого произвести соединения проводами между модулями, показанными на рис. 5.4 жирными линиями.

В качестве пускового $C_{\text{п}}$ и рабочего $C_{\text{р}}$ конденсаторов использовать магазин емкостей из модуля реактивных элементов.

2.4.2. Произвести пуск асинхронного двигателя в режиме холостого хода.

Для этого установить на магазине емкостей значение $C = 10$ мкФ, что будет соответствовать параллельному включению рабочего и пускового конденсаторов ($C = C_{\text{р}} + C_{\text{п}}$).

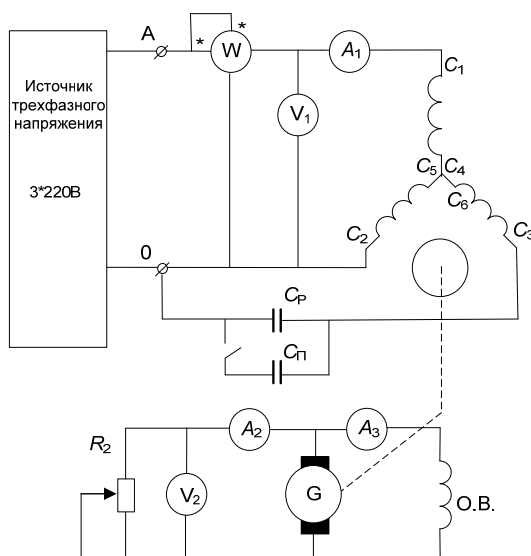


Рис. 5.3. Принципиальная электрическая схема для исследования параметров трехфазного асинхронного двигателя при включении в однофазном режиме

После проверки собранной электрической цепи преподавателем с помощью выключателя модуля питания произвести пуск двигателя. При этом питание модуля двигателя постоянного тока должно быть отключено.

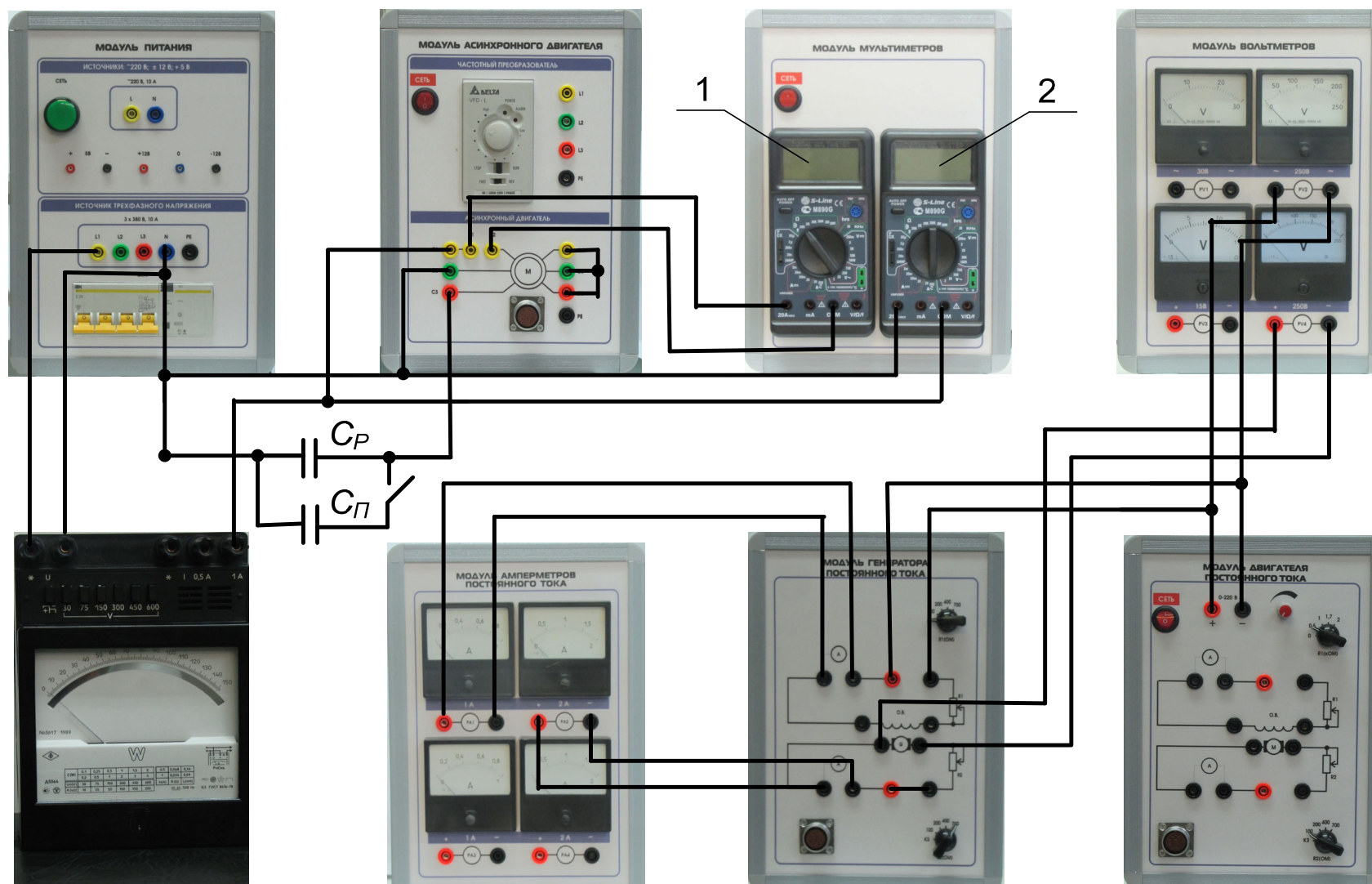


Рис. 5.4. Схема соединений модулей стенда для исследования параметров асинхронного двигателя при включении в однофазном режиме

Как только двигатель перейдет в режим установившегося вращения, изменить емкость магазина на значение $C = 4$ мкФ, что будет соответствовать включению только рабочего конденсатора ($C = C_p$).

Произвести измерения соответствующих величин и занести данные в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Характеристики асинхронного двигателя
в однофазном режиме с рабочим конденсатором и без него**

Результаты измерений			Результаты вычислений	
n_2 , об/мин	$U_{я}$, В	$I_{я}$, А	M , Н · м	примечание

2.4.3. Снять механическую характеристику $n_2(M)$ двигателя в однофазном режиме с рабочим конденсатором.

Переключатель R_2 модуля генератора постоянного тока перевести в положение «700 Ом».

Включить питание модуля двигателя постоянного тока и регулятором напряжения этого модуля (0–220) В с помощью амперметра АЗ установить номинальный ток возбуждения генератора $I_B = 0,2$ А.

Изменяя сопротивление нагрузочного резистора R_2 модуля генератора, измерить частоту вращения ротора двигателя n_2 , напряжение $U_{я}$ и ток $I_{я}$ якоря генератора. Результаты измерений занести в табл. 5.2, указав в примечании режим работы АД – «однофазный с конденсатором».

2.4.4. Снять механическую характеристику $n_2(M)$ двигателя в однофазном режиме без рабочего конденсатора.

Выключить питание модуля двигателя постоянного тока.

При вращающемся роторе двигателя отключить магазин емкостей.

Произвести измерения частоты вращения ротора двигателя n_2 , напряжения $U_{я}$ и тока $I_{я}$ якоря генератора в режиме холостого хода.

Переключатель R_2 модуля генератора постоянного тока перевести в положение «700 Ом».

Снова включить питание модуля двигателя постоянного тока и регулятором напряжения этого модуля с помощью амперметра АЗ установить номинальный ток возбуждения генератора $I_B = 0,2$ А.

Произвести измерения аналогично п. 2.4.3, занести результаты в табл. 5.2, указав в примечании режим работы АД – «однофазный без конденсатора».

2.4.4. Отключить питание модулей, разобрать электрические цепи.

3. Обработка экспериментальных данных:

3.1. По результатам эксперимента произвести необходимые вычисления, результаты занести в табл. 5.1.

3.2. По данным табл. 5.1, 5.2 построить в одних координатных осях механические характеристики $n_2(M)$ для всех трех исследованных режимов работы АД. Сравнить полученные зависимости между собой.

3.3. Для трехфазного режима работы АД построить электро-механическую $M(S)$ и рабочие характеристики $M(P_2)$, $n_2(P_2)$, $I_1(P_2)$, $\eta(P_2)$ и $\cos \varphi_1(P_2)$.

3.4. Проанализировать полученные характеристики и сделать выводы.

Методические указания

При подключении обмоток трехфазного асинхронного двигателя к сети трехфазного тока в магнитопроводе статора возникает вращающееся магнитное поле, частота вращения которого

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}, \text{ об/мин,}$$

где f_1 – частота питающего напряжения, Гц; p – число пар полюсов статора.

Вращающееся магнитное поле статора, пересекая проводники обмоток ротора, индуцирует в них ЭДС, под действием которых в проводниках ротора возникают токи. Взаимодействие вращающегося поля статора с токами обмоток ротора создает электромагнитный момент, который приводит ротор во вращение в том же направлении, что и поле статора. Частота вращения ротора n_2 всегда меньше частоты вращения магнитного поля статора n_1 . Отставание ротора характеризуется скольжением S :

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

При изменении скольжения от $S = 0$ (скорость вращения ротора немногим меньше скорости вращения поля статора) до $S = 1$ (ротор неподвижен) электромагнитный момент M сначала увеличивается

с ростом скольжения, достигает максимума $M_{\max}$ (при критическом скольжении), а затем уменьшается до пускового момента $M_{\text{п}}$, которое значительно меньше $M_{\max}$.

Во избежание перегрева двигателя при выполнении лабораторной работы исследуется только начальный участок зависимости момента от скольжения, называемой электромеханической характеристикой. На практике для оценки рабочих и пусковых свойств двигателя чаще пользуются механической и рабочими характеристиками.

Механической характеристикой называется зависимость частоты вращения ротора от момента $n_2(M)$. Эта зависимость для трехфазного АД показана на рис. 5.5 и имеет несколько характерных точек, соответствующих моменту $M = 0$, номинальному $M_{\text{н}}$, пусковому $M_{\text{п}}$ и максимальному $M_{\max}$ двигателя.

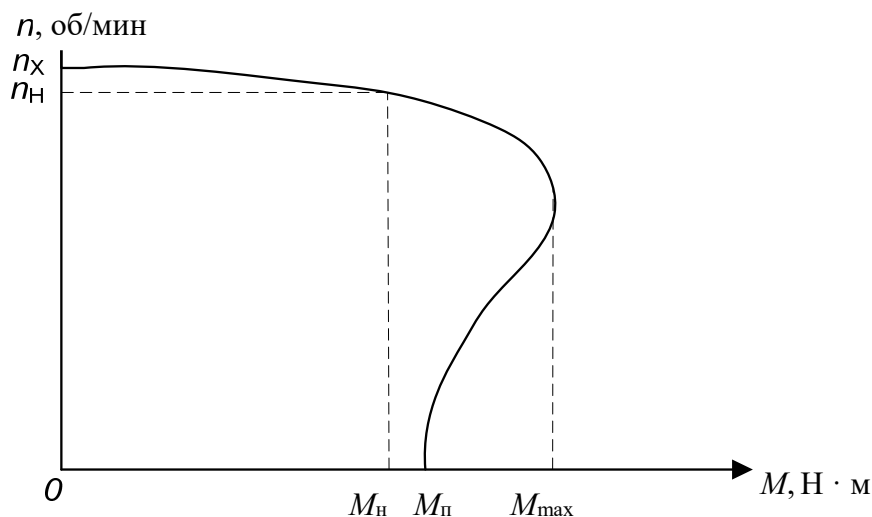


Рис. 5.5. Механическая характеристика асинхронного двигателя

По причине, указанной выше, зависимость $n_2(M)$ снимается также только на начальном участке (при $M < M_{\max}$).

Рабочими характеристиками АД являются зависимости $M(P_2)$, $n_2(P_2)$, $I_2(P_2)$, $\eta(P_2)$ и $\cos \varphi_1(P_2)$. Они определяют эксплуатационные свойства двигателя и его технико-экономические показатели.

При этом

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 \% \text{ — коэффициент полезного действия;}$$

$$P_2 = 0,1047 M n_2 \text{ — мощность на валу двигателя, Вт;}$$

$$P_1 = 3 P_{1\Phi} \text{ — мощность, потребляемая двигателем, Вт;}$$

$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{3U_1 I_1}$ – коэффициент мощности в трехфазном режиме;

M – электромагнитный момент двигателя, Н · м;

n_2 – частота вращения ротора, об/мин;

U_1 – фазное напряжение, приложенное к АД, В;

I_1 – фазный ток, А.

При работе АД в однофазном режиме (в данном эксперименте две последовательно включенные обмотки статора А и В подключаются к линейному напряжению U_{AB} , см. рис. 5.3) создается пульсирующее магнитное поле статора, но пусковой момент M_{π} при неподвижном роторе ($S=1$) равен нулю. Для создания начального пускового момента используется вспомогательная обмотка, с которой последовательно включается фазосдвигающий элемент – пусковой конденсатор, значение емкости которого C_{π} выбирается из условия получения кругового поля при пуске.

При этом вспомогательная обмотка может быть включена на все время работы АД или только на время пуска. В первом случае из-за возможного перегрева двигателя сразу после запуска пусковой конденсатор C_{π} отключается, а в цепи остается рабочий конденсатор C_p (значение емкости C_p рассчитывается из условий получения кругового поля при номинальной нагрузке).

По своим рабочим свойствам АД в однофазном режиме с рабочим конденсатором приближается к трехфазному.

Тормозной момент, задаваемый генератором постоянного тока, необходимый для снятия механической характеристики АД, определяется по следующей формуле:

$$M = 9,55 I_{\text{я}} (U_{\text{я}} - R_{\text{я}}) / n = 9,55 P_2 / n,$$

где $I_{\text{я}}, U_{\text{я}}, R_{\text{я}}$ – соответственно ток, напряжение, сопротивление якоря.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия асинхронного двигателя.
2. Почему ротор асинхронного двигателя не может вращаться с частотой вращения магнитного поля?
3. Что такое скольжение асинхронной машины?
4. Как устроен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором?

5. Как устроен асинхронный двигатель с фазным ротором?
6. Как создается вращающееся магнитное поле при трех- и двух-фазном токе?
7. От чего зависят частота и направление вращения магнитного поля?
8. Как зависит электромагнитный момент асинхронной машины от магнитного потока и тока ротора?
9. Как изменить направление вращения АД?
10. Объясните рабочие характеристики АД.
11. Как определяется число пар полюсов в АД?
12. Какие параметры, как правило, указываются на шильдике АД?
13. Какие из этих параметров можно отнести к электрическим, а какие – к механическим?
14. Какие две схемы включения обмоток статора используются в АД?
15. Каковы основные достоинства АД?
16. Каковы недостатки АД?

Список литературы

1. Брускин Д. Э. Электрические машины и микромашины. М. : Высш. шк., 1985. 432 с.
2. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины. М. : Высш. шк., 1989. 480 с.
3. Методические указания по выполнению лабораторных работ на лабораторном комплексе «ЭЛОС-ПО». Казань : Профтехобразование, 2013. 62 с.
4. Техническое описание лабораторного комплекса «ЭЛОС-ПО». Казань : Профтехобразование, 2013. 36 с.

Учебное издание

**Исследование
силовых элементов электроприводов**

Составители :

**Ашанин Василий Николаевич,
Исаев Сергей Геннадьевич,
Ларкин Сергей Евгеньевич,
Чапаев Вячеслав Сергеевич**

Редактор *Н. А. Сидельникова*
Технический редактор *С. В. Денисова*
Компьютерная верстка *С. В. Денисовой*

Подписано в печать 18.04.2025.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 4,88.
Тираж 50. Заказ № 172.

Издательство ПГУ
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru

