

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

# ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация  
транспортно-технологических машин и комплексов»  
и 23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Пенза 2016

УДК 621.637  
ББК 312  
О-28

Рекомендовано Редсоветом университета  
Рецензент – кандидат технических наук, доцент  
А. С. Ширшиков (ПГУАС)

**Общая** электротехника и электроника: метод. указания к выполнению лабораторных работ по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов» / Э.М. Пинт. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 40 с.

Приводится порядок выполнения лабораторных работ по курсу «Общая электротехника и электроника» и даются контрольные вопросы по каждой лабораторной работе.

Методические указания подготовлены на кафедре «Механизация и автоматизация производства» и предназначены для использования студентами, обучающимися по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов», при изучении дисциплины «Общая электротехника и электроника».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016  
© Пинт Э.М., 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью методических указаний является подготовка студентов к качественному выполнению лабораторных работ, закрепляющих теоретическую часть курса «Общая электротехника и электроника» и формирующих у студентов определённые практические навыки по эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов.

Методические указания подготовлены в соответствии с программой курса «Общая электротехника и электроника» и предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

В процессе изучения дисциплины «Общая электротехника и электроника», относящейся к базовой части профессионального цикла, должны быть сформированы некоторые общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, предусмотренные Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов»:

– способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

– владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией;

– владение знаниями технических условий и правил рациональной эксплуатации транспортной техники, причин и последствий прекращения её работоспособности;

– способность в составе коллектива исполнителей к анализу передового научно-технического опыта и тенденций развития технологий эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

– готовность к участию в составе коллектива исполнителей к деятельности по организации управления качеством эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов.

В результате освоения курса обучающийся должен:

з н а т ь :

– основные физические явления, фундаментальные понятия и законы электротехники и электроники;

– построение, принцип действия, характеристики и параметры основных электротехнических и электронных устройств;

у м е т ь :

– применять современные математические методы в прикладных задачах профессиональной деятельности;

– диагностировать состояние электротехнической и электронной аппаратуры;

в л а д е т ь :

– методологией проведения исследований электротехнических и электронных устройств;

– методикой расчёта схем электротехнических и электронных устройств.

# 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Выполнение студентом лабораторных работ включает следующие этапы:

1. **Самостоятельная подготовка.** Предусматривает повторение теоретического материала, изложенного в лекции (учебнике); ознакомление с рекомендованной к данной лабораторной работе литературой; заготовку в индивидуальной тетради следующего материала:

- наименование лабораторной работы и учебная цель;
- электрическая схема сборки и проведения экспериментов;
- порядок выполнения работы;
- таблицы заданных, измеряемых и расчетных параметров;
- расчетные формулы,

2. **Выполнение лабораторной работы.** Осуществляется индивидуально или в составе группы студентов в лаборатории кафедры под руководством преподавателя и лаборанта. Следует иметь в виду, что **включение питания при проведении экспериментов производится только с разрешения преподавателя (лаборанта) после проверки схемы сборки.** По окончании работы выключается питание установки. Результаты измерений в виде таблиц представляются преподавателю для подтверждения правильности выполнения лабораторной работы. После утверждения результатов схема разбирается и рабочее место приводится в порядок.

3. **Обработка результатов исследований и составление отчета.**

По итогам работы этот этап выполняется во внеурочное время.

Отчет должен быть написан чернилами, четко и аккуратно, иметь титульный лист установленного образца. Содержание отчета:

- наименование и дата выполнения работы;
- цель работы;
- электрическая схема (схемы), вычерченная с соблюдением размеров электрических элементов в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД. Подрисуночный текст обязателен;

– перечень используемых источников питания, электрических элементов с указанием их параметров, измерительных приборов. Для электро-механических измерительных приборов указываются наименование прибора, его заводской номер и год выпуска, класс точности, предел измерения и цена деления шкалы. Для цифровых электроизмерительных приборов указывается абсолютная погрешность, которая берется из паспортных данных. Для электрических машин и трансформаторов приводятся данные паспортного щитка, установленного на машине (трансформаторе);

– таблицы с результатами измерений и вычислений. Единицы измерений должны соответствовать Международной системе единиц (СИ). Каж-

дая таблица должна иметь наименование и содержать результаты измерений и вычислений, приведенные к единому порядку точности по исследуемому параметру;

- расчетные формулы, используемые при обработке результатов экспериментов;

- графики и векторные диаграммы, которые должны быть построены на миллиметровой или клетчатой бумаге. Следует обратить внимание на правильный выбор масштаба, чтобы не исказить физическую сущность процесса в исследуемой схеме и обеспечить необходимую точность и наглядность его представления;

- выводы по работе. В выводах, написанных в третьем лице множественного числа, должны быть отражены достижение цели работы, согласование результатов экспериментов с теоретическими положениями, оценка погрешностей результатов измерений.

**4. Защита отчета.** Осуществляется лично студентом при представлении преподавателю полностью оформленного отчета, в котором должны быть отражены наименование лабораторной работы, физическая сущность исследуемых процессов, согласование полученных в работе результатов с основными теоретическими положениями, ответы на все контрольные вопросы по данной лабораторной работе. Необходимо также самостоятельно уметь собирать электрическую схему по данной работе и при необходимости повторить тот или иной эксперимент с получением определенных результатов измерения параметров электрической цепи или характеристик исследуемой электрической установки.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ «УРАЛОЧКА»

Стенд «Уралочка» с набором комплектующих блоков и соединительных проводов предназначен для исследования процессов в цепях постоянного и переменного тока. На лицевой панели стенда размещены:

1. Три мультиметра ВР-11А – цифровые комбинированные электроизмерительные приборы с гнездами для включения их в измерительные цепи.
2. Автоматический выключатель ОР2 с контрольным светодиодом УД4 «30У» (рис. 1) для включения и отключения постоянного тока напряжением 30 В к выходным гнездам.

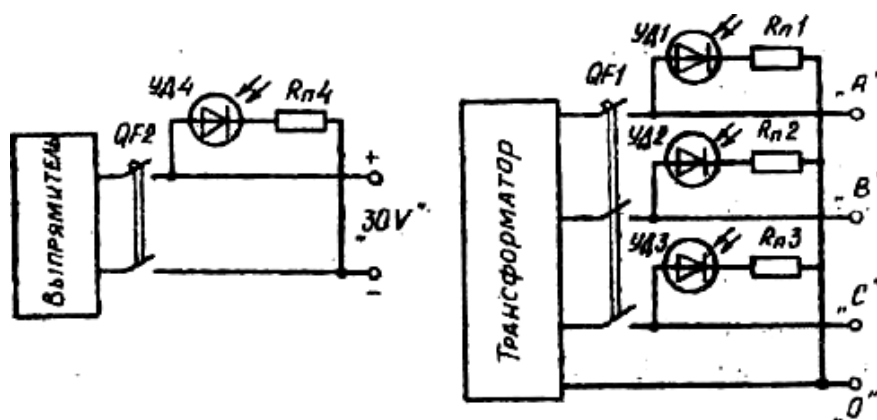


Рис. 1. Автоматические выключатели стенда «Уралочка»

3. Автоматический выключатель  $QF1$  с тремя светодиодами УД1...УД3 в фазах «А», «В» и «С» для включения и отключения трехфазного напряжения к гнездам «А», «В», «С» и «0».

4. Потенциометр  $R_n = 0-200$  Ом – переменное сопротивление для плавного изменения нагрузки потребителя.

5. Тумблер «ВКЛ» для включения и отключения мультиметров в ходе измерения электрических параметров.

6. Предохранитель «Пр1А» на один ампер для защиты мультиметров от перегрузки по току.

7. Лампа осветительная с гнездами подключения – служит в качестве индикатора при поиске неисправностей, возникших в ходе сборки схемы или в процессе работы, а также может быть потребителем электрической энергии.

Комплектующие блоки представляют собой набор резистивных, емкостных и индуктивных элементов, а также коммутационных аппаратов (переключателей). Они совместно с соединительными проводами служат для сборки и исследования простых и разветвленных электрических цепей.

### 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МУЛЬТИМЕТРЕ ВР-11А

Мультиметр ВР-11А представляет собой комбинированный цифровой измерительный прибор и предназначен для измерения напряжения и силы постоянного и переменного тока, сопротивления нагрузки постоянному току, а также частоты переменного тока.

На панели прибора ВР-11А (рис. 2) размещены:

- индикационное табло (1) для высвечивания результата измерения;
- переключатель режимов работы прибора (2) с кнопками:
  - «-V» – для включения прибора в цепи постоянного тока;
  - «~U» – для включения прибора в цепи переменного тока;
  - «kΩ» – для включения прибора в качестве омметра;
  - «kHz-10» – для включения прибора в качестве частотомера;
- переключатель пределов измерения «2мΩ» (3) с кнопками «2», «20», «200» и «2000».

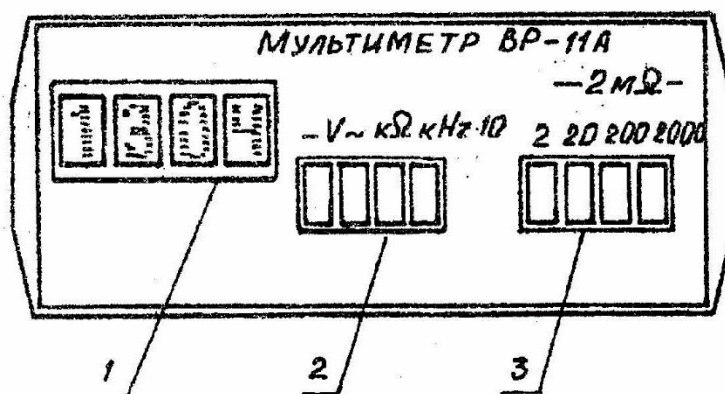


Рис. 2. Передняя панель прибора ВР-11А:  
1 – табло; 2 – переключатель режимов; 3 – переключатель пределов

Мультиметр ВР-11А комплектуется двумя токовыми шунтами (рис. 3) для использования его в качестве амперметра: один из них постоянный на 10 А, другой – переменный на 2, 20, 200 и 1000 мА.

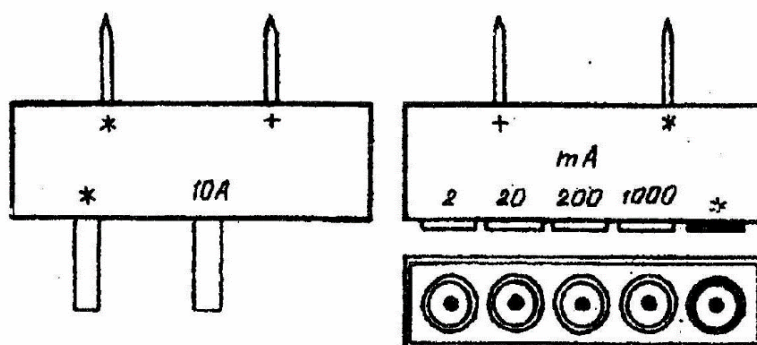


Рис. 3. Шунты ВР-11А для измерения силы тока. Гнезда «\*» являются входом, а гнезда «10А», «2, 20, 200, 1000» мА – выходом



Основные технические характеристики мультиметра ВР-11А приведены в таблице.

### Основные технические характеристики прибора ВР-11А

Измеряемая величина и размерность	Диапазон измеряемой величины	Пределы измерения на приборе	Относительная погрешность измерения, %
Напряжение постоянного тока, В	$10^{-3} \dots 10^3$	2, 20, 200, 1000*	$\pm 0,5$
Напряжение переменного тока, В $f=45 \text{ Гц} \dots 1 \text{ кГц}$	$10^{-3} \dots 500$	2, 20, 200, 500*	$\pm 1$
Сопротивление постоянному току, кОм	$10^{-3} \dots 2 \cdot 10^3$	2, 20, 200, 2000*	$\pm 1$
Сила постоянного тока, мА	$10^{-3} \dots 1 \cdot 10^3$	2, 20, 200, 1000*	$\pm 1$
Сила переменного тока, мА $f=20 \text{ Гц} \dots 10 \text{ кГц}$	$10^{-3} \dots 10 \cdot 10^3$	1000 10000	$\pm 2,5$ $\pm 5$
Частота переменного тока, кГц	$0,01 \dots 10^4$	2, 20, 200, 1000*	$\pm 1$

Пр и м е ч а н и е . \* На переключателе пределов «2mΩ» нажата кнопка «2000».

**Внимание.** Во избежание выхода мультиметра из строя необходимо быть внимательным при манипулировании кнопками переключателя пределов. Следует руководствоваться надписями на лицевой панели прибора; нажимать кнопки переключателя пределов в последовательности «2000», «200», «20», «2» при всех видах измерения; переходить на больший предел, когда прибор индицирует перегрузку (высвечивается буква «Ω» в старшем разряде), и изменять полярность входного сигнала при мигании знака в старшем разряде. Измерения частоты переменного тока следует производить при напряжении не более 20 В. При измерении напряжения более 500 В недопустима манипуляция кнопками переключателя пределов. Измерение силы тока более 0,5 А должно быть кратковременным (не более 20 с).

## 4. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН МУЛЬТИМЕТРОМ ВР-11А

### 4.1. Измерение напряжения постоянного и переменного тока

1. Нажать на переключателе режимов работы кнопку «-V».
2. Нажать на переключателе пределов «2мП» кнопку «200».
3. Подключить мультиметр, соблюдая полярность, к гнездам «+», «-» источника «30V» (рис. 4).

4. Включить автоматический выключатель QF2 «30V» (при этом загорается светодиод УД4 «30V») и снять отсчет на цифровом табло.

5. Выключить автоматический выключатель QF2 «30V», при этом гаснет светодиод «30V».

6. Нажать на переключателе режимов работы кнопку «~V».

7. Подключить мультиметр к гнездам «A» и «0» трехфазного источника.

8. Включить автоматический выключатель QF1, при этом загораются светодиоды УД1-УД3 фаз «A», «B» и «C». Снять отсчет на цифровом табло величины фазного напряжения  $U_A$ .

9. Повторить пункты 7 и 8 при измерении фазных напряжений  $U_B$  и  $U_C$  (гнезда «B»-»0» и «C»-»0»).

Определить среднее значение фазного напряжения источника:

$$U_{\phi} = \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C).$$

10. Подключая прибор к гнездам «A»-«B»; «B»-«C»; «C»-«A», определяем среднее значение линейного напряжения источника:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}).$$

11. Выключить автоматический выключатель QF1. При этом гаснут светодиоды УД1-УД3.

12. Определить отношение  $U_{\text{л}}/U_{\phi}$ .

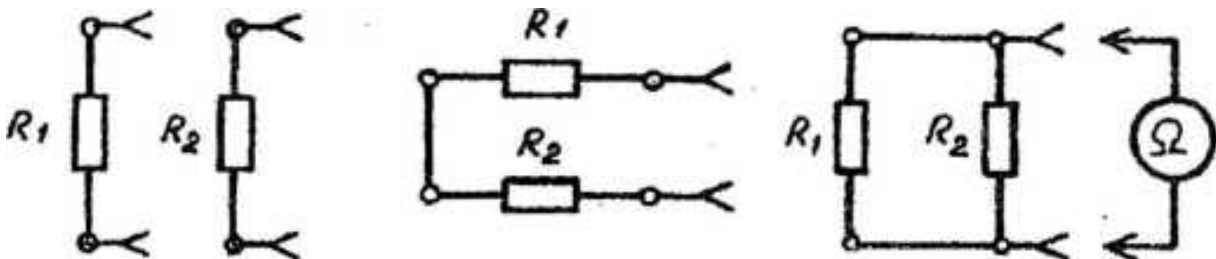


Рис. 4. Измерение сопротивления резистивной нагрузки

## 4.2. Измерение величины сопротивления резисторов

1. Нажать на переключателе режимов работы кнопку «kΩ», а на переключателе пределов «2мΩ» – кнопку «2».

2. Подключая прибор параллельно  $R_1$ ,  $R_2$  на комплектуемом блоке и группам их соединения (см. рис. 4), определяем величину сопротивления по результатам отсчета на цифровом табло.

3. Проверить соотношения: при последовательном соединении  $R_1$  и  $R_2$  – эквивалентное сопротивление  $R_3=R_1+R_2$ ; при параллельном –  $R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ .

## 4.3. Измерение силы тока

1. Подключить ко входу мультиметра токовый шунт (2...1000) мА.

2. Нажать на переключателе режимов работы кнопку «~V», а на переключателе пределов «2мΩ» – кнопку «2».

3. Собрать схему согласно рис. 5 для измерения силы тока и частоты питающего напряжения.

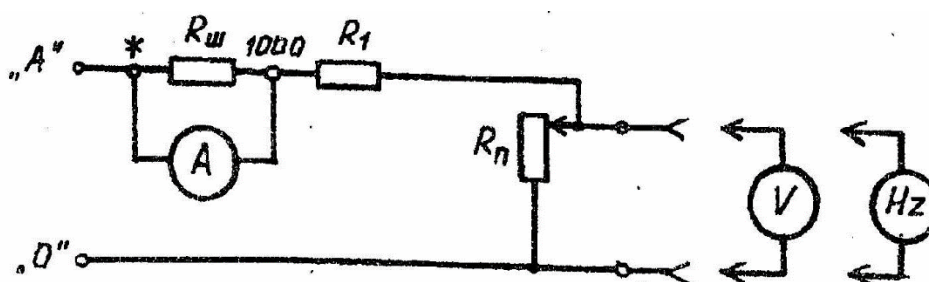


Рис. 5. Схема включения мультиметра ВР-11А

4. Включить автоматический выключатель QF1, при этом загораются светодиоды «А», «В» и «С».

5. Снять отсчет величины тока по цифровому табло при крайних положениях движка потенциометра  $R_п$ .

**Внимание.** При измерении силы тока на запятую, высвечивающуюся в старшем разряде, внимание не обращать. Предел измерения определяется задействованным выходом шунта (гравировка над гнездом).

6. Выключить автоматический выключатель QF1. При этом схему не разбирать.

#### 4.4. Измерение частоты переменного тока

1. Подготовить второй мультиметр ВР-11А для измерения переменного напряжения, подключить его к движку потенциометра  $R_{\Pi}=0-200$  Ом и к гнезду «0» нулевого провода (см. рис. 5).

2. Включить автоматический выключатель  $QF1$  и движком потенциометра  $R_{\Pi}$  установить по вольтметру напряжение менее 20 В.

3. Нажать кнопку «kHz-10» переключателя режима работы мультиметра, используемого в качестве вольтметра, а на переключателе пределов «2мΩ» – кнопку «2».

4. Снять по цифровому табло отсчет значения частоты переменного тока. Сравнить его со стандартным значением  $f=50$  Гц.

5. Выключить питание и представить результаты измерений преподавателю.

6. Разобрать схему.

## 5. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»

Стенд «Электрические машины» (рис. 6) предназначен для исследования режимов работы электрических машин постоянного и переменного тока, а также однофазного трансформатора и включает в себя:

- электрическую машину постоянного тока (3);
- трехфазный асинхронный двигатель с КЗ-ротором (2);
- лабораторный стол (1).

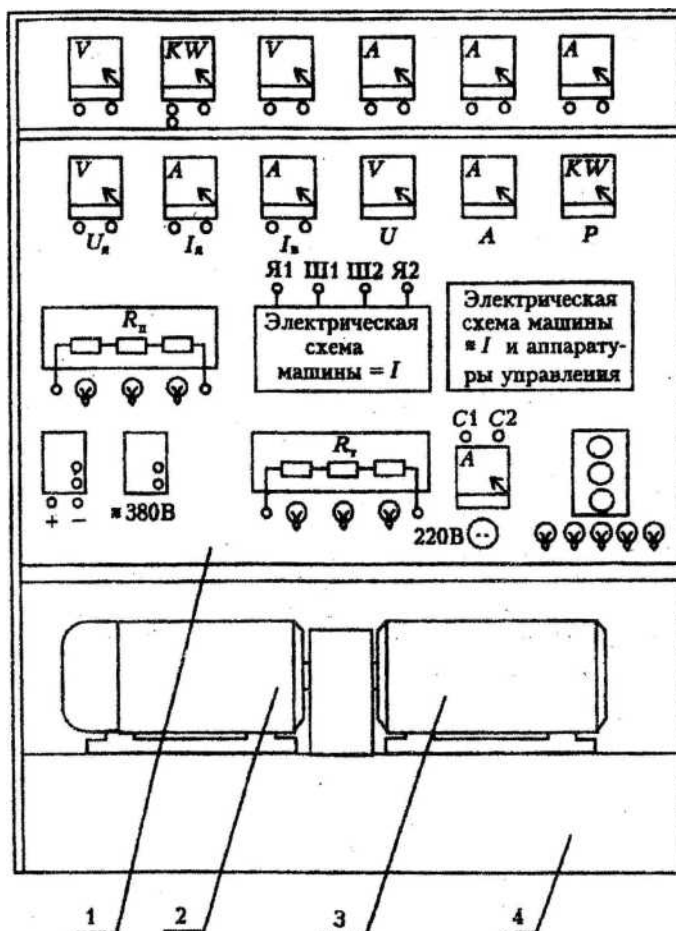


Рис. 6. Лабораторный стенд «Электрические машины»

Электрические машины установлены на бетонном фундаменте (4), а их вращающиеся части механически жестко связаны друг с другом. Последнее обеспечивает возможность проводить исследования режимов работы машины постоянного или переменного тока, при этом вторая машина является нагрузкой. Так, в силу обратимости электрических машин при исследовании трехфазного асинхронного двигателя его нагрузкой будет генератор постоянного тока, а при исследовании двигателя постоянного тока – электромашинный тормоз в виде трехфазной асинхронной машины с КЗ-ротором.

На лабораторном столе размещены (сверху вниз и слева направо):

1. Панель электромеханических измерительных приборов для исследования режимов работы однофазного трансформатора.
2. Панель электромеханических измерительных приборов для исследования режимов работы электрических машин постоянного и переменного тока.
3. Трехступенчатый пусковой реостат  $K_n$  с тремя однополюсными выключателями для защиты якорной цепи двигателя постоянного тока от перегрузки по пусковому току и плавного вывода его на номинальный режим работы.
4. Электрическая схема машины постоянного тока с выводами якорной цепи ( $Я1, Я2$ ) и цепи возбуждения ( $Ш1, Ш2$ ).
5. Электрическая схема трехфазной асинхронной машины и принципиальная электрическая схема системы управления пуском, торможением и реверсом машины.
6. Два автоматических выключателя для включения постоянного (клеммы «+» и «-») и трехфазного ( $\sim 380$  В) напряжения на лабораторном стенде.
7. Трехсекционный тормозной реостат  $R_r$  с тремя однополюсными выключателями для регулирования нагрузки асинхронного двигателя, работающего в режиме электромашиного тормоза.
8. Электрическая розетка «220В» для подачи питания на однофазный трансформатор и включения стробоскопического тахометра при измерениях частоты вращения валов электрических машин.
9. Кнопочная станция для управления работой трехфазного асинхронного двигателя.
10. Пять однополюсных выключателей для имитации возможных неисправностей в цепях системы управления трехфазным асинхронным двигателем.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что включает в себя этап самостоятельной подготовки студента к лабораторным занятиям?
2. Содержание отчета по лабораторной работе.
3. Как изображаются на принципиальной электрической схеме следующие элементы: резистор, выключатель, автоматический трехполюсный выключатель, конденсатор, катушка индуктивности, измерительный прибор, трехфазный асинхронный двигатель с КЗ-ротором? Их размеры.
4. Назначение элементов управления на лицевой панели стенда «Уралочка».
5. Как подготовить мультиметр ВР-11А к измерению силы переменного тока до 1 А?
6. Как измерить мультиметром ВР-11А величину фазного напряжения источника переменного тока?
7. Как измерить мультиметром ВР-11А величину сопротивления делителя напряжений на комплектующем блоке?
8. Назначение приборов контроля и элементов управления на лицевой панели лабораторного стенда «Электрические машины».

# Лабораторная работа №1

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Целью работы является приобретение навыков:

- в сборке электрических схем на лабораторных стендах и пользовании цифровыми и электромеханическими измерительными приборами при измерениях электрических величин;
- в обработке результатов измерений и оценке полученной при этом погрешности.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Собрать на стенде «Уралочка» схему согласно рис.1.1.

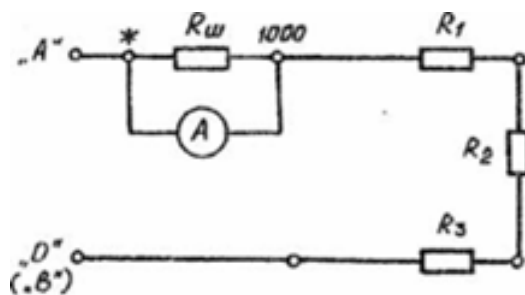


Рис. 1.1. Схема измерения параметров электрической цепи переменного тока

1.2. Измерить фазное и линейное напряжения источника питания, падение напряжений на делителе  $R_1, R_2, R_3$ , величину тока. Данные занести в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

Результаты измерения параметров электрической цепи  
и оценка погрешностей результатов измерений

	Измерено					Вычислено					
	$U$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$I$	$\Delta U$	$\Delta I$	$R$	$\Delta R$	$P$	$\Delta P$
	В	В	В	В	А	В	А	Ом	Ом	Вт	Вт
$U=U_\phi$											
$U=U_L$											

1.3. Оценить погрешности прямых и косвенных измерений, пользуясь следующими соотношениями:

$$R = \frac{U}{I}; \Delta R = \sqrt{\left(\frac{1}{I} \Delta U\right)^2 + \left(-\frac{U}{I^2} \Delta I\right)^2};$$

$$P = UI; \Delta P = \sqrt{(I \Delta U)^2 + (U \Delta I)^2},$$



где абсолютные погрешности приборов ВР-11А  $\Delta U$  и  $\Delta I$  взять из паспортных данных (см. таблицу в разд. 3).

1.4. На лабораторном стенде «Электрические машины» (см. рис. 6 в разд.5) включить автоматический выключатель «~380 В». Пользуясь кнопочной станцией магнитного пускателя, запустить асинхронный двигатель сначала «Вперед», а затем «Назад»\*, фиксируя показания амперметра А, вольтметра V и ваттметра КW.

Данные занести в табл.1.2.

Т а б л и ц а 1.2

Результаты измерения электрических параметров  
в цепи питания асинхронного двигателя

	Измерено			Вычислено							
	$U$	$I$	$P$	$U_{\text{ср}}$	$\Delta U$	$I_{\text{ср}}$	$\Delta I$	$P_{\text{ср}}^{\text{п}}$	$\Delta P^{\text{п}}$	$P_{\text{ср}}^{\text{к}}$	$\Delta P^{\text{к}}$
	В	А	Вт	В	В	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт
«Вперёд»											
«Назад»											

\*Внимание. Реверс осуществлять только после полной остановки ротора двигателя.

1.5. Оценить погрешности измерения электрических параметров в цепях питания асинхронного двигателя, пользуясь следующими соотношениями:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(U_{\text{в}} + U_{\text{н}}); \Delta U = \sqrt{\Delta U_{\text{град}}^2 + \Delta U_{\text{отсч}}^2 + \Delta U_{\text{разб}}^2}; \Delta U_{\text{раз}} = 3\Delta U_{\text{ср}};$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(I_{\text{в}} + I_{\text{н}}); \Delta I = \sqrt{\Delta I_{\text{град}}^2 + \Delta I_{\text{отсч}}^2 + \Delta I_{\text{разб}}^2}; \Delta I_{\text{разб}} = 3\Delta I_{\text{ср}};$$

$$P_{\text{ср}}^{\text{п}} = \frac{1}{2}(P_{\text{в}} + P_{\text{н}}); \Delta P^{\text{п}} = \sqrt{\Delta P_{\text{град}}^2 + \Delta P_{\text{отсч}}^2 + \Delta P_{\text{разб}}^2}; \Delta P_{\text{раз}} = 3\Delta P_{\text{ср}}^{\text{п}};$$

$$P_{\text{ср}}^{\text{к}} = U_{\text{ср}} I_{\text{ср}} \cos \varphi; \cos \varphi = (0,12 \dots 0,16);$$

$$\Delta P^{\text{к}} = \sqrt{(I_{\text{ср}} \Delta U)^2 + (U_{\text{ср}} \Delta I)^2}.$$

Индексы “в” и “н” соответствуют пуску двигателя “Вперед” и «Назад», “п” и “к” – прямым и косвенным измерениям. Значение  $\cos \varphi$  задается преподавателем.

#### Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются прямыми, а какие – косвенными?
2. Какие погрешности сопровождают процесс измерения?
3. Какие погрешности характеризуют средства измерения?
4. Что такое класс точности прибора?
5. Последовательность обработки результатов прямых измерений.
6. Как оценивается погрешность косвенного измерения?

## Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ R-, L-, C-ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: научиться исследовать изменение характера электрической цепи при различных соотношениях реактивных элементов, выявлять условия возникновения в цепи резонанса напряжений и получить практические навыки в построении векторных диаграмм по экспериментальным данным.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Собрать на стенде «Уралочка» схему (рис. 2.1), используя комплектующие блоки.

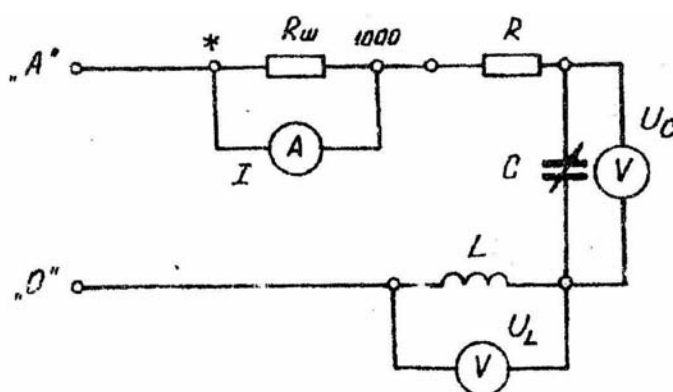


Рис. 2.1. Схема цепи с последовательным соединением R-, L-, C-элементов

Активное сопротивление катушки  $R_K < 5$  Ом, и ее можно считать чисто индуктивным сопротивлением  $X_L$ . В качестве переменной емкости необходимо использовать магазин емкостей, а активное сопротивление выбрать из магазина сопротивлений ( $R = 100$  Ом).

1.2. Включить питание и произвести измерения величин тока и падения напряжений на элементах схемы при значениях емкости  $C$  0,10,30,50,70 и 90 мкФ. Данные занести в табл.2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Результаты измерений и вычислений параметров электрической цепи  
с последовательным соединением R-, C-, L-элементов  
при изменении емкости C

Задано		Измерено				Вычислено									
R	C	U	I	U <sub>L</sub>	U <sub>C</sub>	U <sub>R</sub>	L	X <sub>L</sub>	X <sub>C</sub>	Z	cos φ	P	S	S	φ
Ом	мкф	В	А	В	В	В	Гн	Ом	Ом	Ом		Вт	ВА	ВАр	ГРАД

Расчетные формулы для табл. 2.1.

$$UR = IR; L = \frac{UL}{2\pi fI}; X_L = 2\pi fL; X_C = \frac{1}{2\pi fC};$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}; \cos \varphi = \frac{R}{Z} \text{ или } \cos \varphi = \frac{UR}{U};$$

$$P = I^2 R; S = \frac{P}{\cos \varphi}; Q = S \sin \varphi.$$

1.3. Рассчитать параметры электрической цепи при следующих исходных данных:  $R=100$  Ом,  $L_{\text{ср}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 L_i$  (по данным табл.2.1),  $C = 0, 10, 40, 90, \infty$  мкФ,  $U=U_{\text{ф}}$ . Данные занести в табл.2.2.

Т а б л и ц а 2.2

Расчетные значения параметров электрической цепи с последовательным соединением  $R$ -,  $L$ -,  $C$ - элементов

$C$ , мкФ	0	10	40	90	$\infty$
$X_C = \frac{1}{314C}$ , Ом					
$X_L = 314L_{\text{ср}}$ , Ом					
$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ , Ом					
$I = \frac{U}{Z}$ , А					
$U_R = IR$ , В					
$U_L = IX_L$ , В					
$U_C = IX_C$ , В					

1.4. Построить по данным табл.2.1 и 2.2 в общей системе координат графики зависимостей  $I=f(C)$ ,  $U_R=f(C)$ ,  $U_L=f(C)$ ,  $U_C=f(C)$ ,  $\varphi=f(C)$  и сравнить сходимость экспериментальных (см. табл.2.1) и расчетных (см. табл.2.2) результатов (рис. 2.2). По графикам определить значение резонансной емкости  $C = C_p$  и сравнить его с расчетным значением  $C_p = \frac{1}{\omega^2 L_{\text{ср}}}$ .

1.5. Построить в выбранном масштабе векторные диаграммы тока  $\dot{I}$  и напряжений  $\dot{U}_R$ ,  $\dot{U}_L$ ,  $\dot{U}_C$  и  $\dot{U}$  для трех случаев: до резонанса, при резонансе и после резонанса напряжений, используя экспериментальные данные (см. табл.2.1).

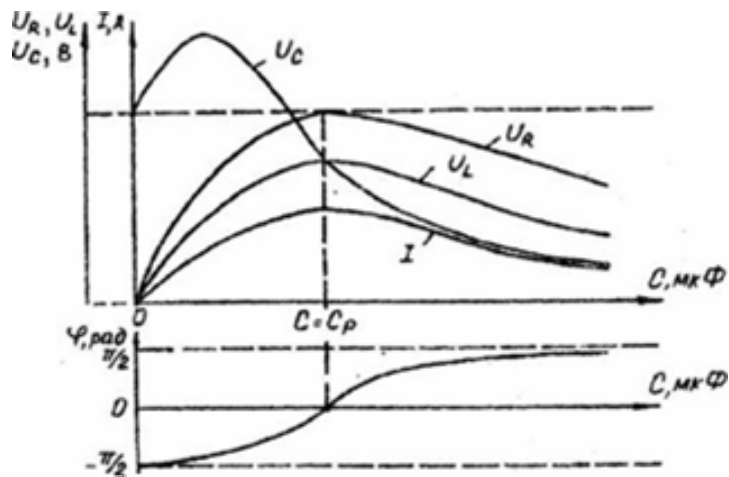


Рис. 2.2. Изменение параметров электрической цепи при изменениях емкости  $C$

Построение векторной диаграммы удобно начинать с вектора тока  $\dot{I}$ , который является одним и тем же для всех элементов цепи.

Векторы напряжений  $\dot{U}_R, \dot{U}_L, \dot{U}_C$  и  $\dot{U}$  ориентированы по отношению к вектору тока в соответствии с фазовыми соотношениями для  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементов. Следует обратить внимание на то, что вектор напряжения  $\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C$  при соблюдении масштаба построения для всех рассматриваемых случаев будет иметь одну и ту же величину, равную фазному напряжению источника. Особенно важно заметить, что вблизи резонанса и при резонансе напряжения на реактивных элементах  $\dot{U}_L$  и  $\dot{U}_C$ , находясь в противофазе, могут значительно превысить напряжение источника. Поэтому резонанс при последовательном соединении элементов называют резонансом напряжения.

1.6. Построить в выбранном масштабе на комплексной плоскости треугольники сопротивлений, напряжений и мощностей для одной строки табл.2.1 до или после резонанса напряжений.

1.7. Сделать выводы по работе и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Какое значение измеряемой величины показывают электроизмерительные приборы в цепи переменного тока?
2. Что называется углом сдвига фаз и какое влияние он оказывает на характер электрической цепи?
3. Дать характеристику цепи с  $R$  ( $L$  или  $C$ )-элементом.
4. Что такое резонанс напряжений и какими параметрами электрической цепи он характеризуется?
5. Начертить в комплексной плоскости треугольник сопротивлений и пояснить его построение.
6. Какой вид имеет векторная диаграмма для активно-индуктивной нагрузки в цепи переменного тока?

# Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ $R$ -, $L$ -, $C$ -ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: научиться исследовать состояние и определять параметры электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении приемников электрической энергии, а также выявлять условия возникновения резонанса токов в параллельной цепи реальной катушки и конденсатора; приобрести навыки построения векторных диаграмм состояния цепи по экспериментальным и расчетным данным.

## 1. Порядок выполнения работы

1.1. Собрать на стенде «Уралочка» схему согласно рис.3.1, предварительно измерив омметром сопротивление катушки индуктивности  $R_K$ .

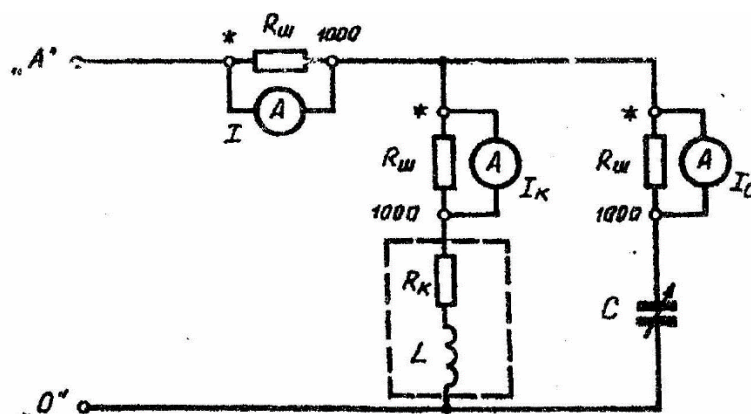


Рис. 3.1.Схема сборки цепи параллельного соединения  $R$ -,  $L$ -,  $C$ -элементов

1.2. Включить питание и, изменяя величину емкости  $C$  на комплектующем блоке от 0 до 10 мкФ с шагом 1 мкФ, измерить токи в ветвях и в неразветвленном участке цепи. Данные измерений занести в табл.3.1 для дальнейшей обработки.

Таблица 3.1

Изменение параметров цепи с параллельным соединением индуктивного и емкостного элементов при изменении емкости  $C$

Задано		Измерено				Вычислено							
$R$	$C$	$U$	$I$	$I_k$	$I_C$	$I_{к.а}$	$I_{к.р}$	$I_p$	$\cos\varphi$	$\varphi$	$S$	$P$	$Q$
Ом	мкФ	В	А	А	А	А	А	А		рад	ВА	Вт	ВАр

1.3. Произвести расчет параметров ветви с индуктивностью

$$\underline{Z}_k = \frac{U}{I_k}; L = \sqrt{\frac{Z_k^2 - R_k^2}{\omega^2}}; \cos \varphi_k = \frac{R_k}{Z_k}; \sin \varphi_k = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_k},$$

$$I_{k.a} = I_k \cos \varphi_k; I_{k.p} = I_k \sin \varphi_k.$$

Рассчитать параметры всей цепи.

Так как  $I_C = I_{Cp}$ , то реактивная составляющая общего тока

$$I_p = I_{k.p} - I_{Cp}, \cos \varphi = \frac{I_{k.a}}{I}; \sin \varphi = \frac{I_p}{I}; S = UI; P = S \cos \varphi;$$

$$Q = S \sin \varphi.$$

1.4. По данным табл.3.1 и результатам расчетов по п.1.3 построить:

– графики зависимостей  $I=f(C)$ ,  $I_k=f(C)$ ,  $I_C=f(C)$ ,  $\varphi=f(C)$ , определить по экспериментальным данным значение емкости  $C=C_p$ , при котором наступает резонанс токов (рис.3.2);

– векторные диаграммы до резонанса, при резонансе и после резонанса токов в цепи. При этом рекомендуется начинать построение с вектора напряжения  $\dot{U}$ , принимая во внимание, что его начальная фаза  $\psi_u=0$ ;

– треугольник мощностей для случая, когда параллельная цепь носит активно-индуктивный характер.

1.5. Рассчитать значение резонансной емкости  $C=C_p$  из условия  $\frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} = \frac{X_C}{R_C^2 + X_C^2}$  при  $R_C=0$ . Сравнить полученный результат с экспериментальными данными.

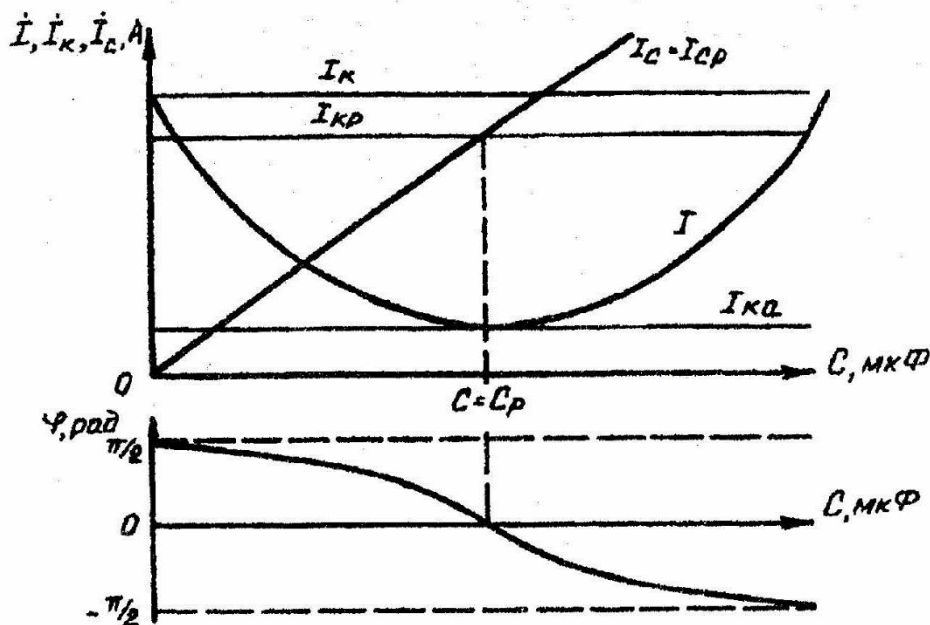


Рис. 3.2.Изменение параметров электрической цепи при изменении емкости  $C$

## Контрольные вопросы

1. Что такое проводимость ветви электрической цепи?
2. При каком условии параллельная цепь носит активно-емкостный характер?
3. Условия возникновения резонанса токов в параллельной цепи с  $L$ - и  $C$ -элементами.
4. Каково соотношение токов в ветвях и неразветвленной части цепи при резонансе в параллельной цепи  $L$ - и  $C$ -элементов?
5. Пояснить технико-экономическое значение повышения коэффициента мощности.

## Лабораторная работа №4 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ЗВЕЗДОЙ

Цель работы: научиться исследовать основные и аварийные режимы работы трехфазной цепи переменного тока при соединении приемников звездой, определять влияние нейтрального провода в четырехпроводной трехфазной цепи, строить по опытным данным векторные диаграммы токов и напряжений при симметричной и несимметричной нагрузках в фазах приемников электрической энергии.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Собрать на стенде «Уралочка» схему четырехпроводной трехфазной цепи (рис.4.1). Нагрузку в фазах подобрать на комплектующем блоке при условии  $R_a=R_b=R_c$ , а сопротивление  $R_n=100$  Ом – на магазине сопротивлений. Амперметры включить в фазу  $a$  и нейтральный провод. Подготовить один прибор ВР-11А в качестве вольтметра для измерения линейных и фазных напряжений в схеме.

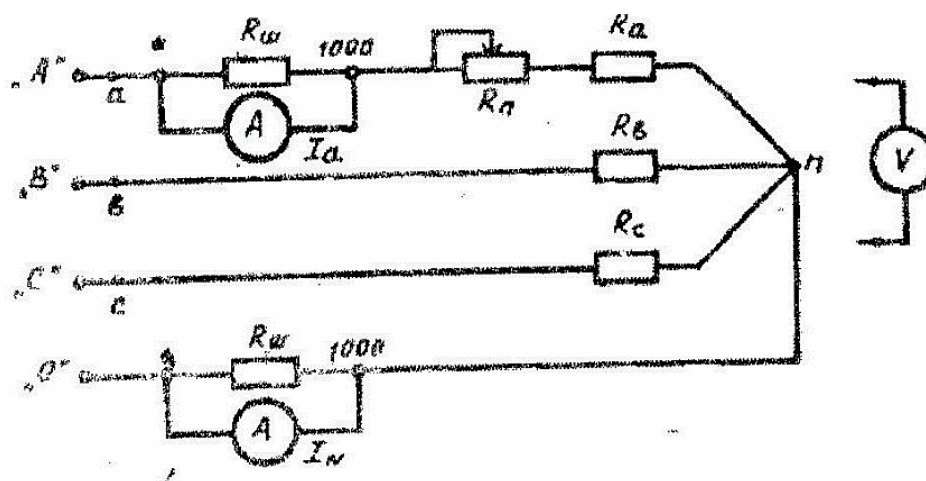


Рис.4.1. Схема четырехпроводной трехфазной цепи при включении фаз однородного приемника звездой

1.2. Включить трехфазный источник и измерить токи в фазах и нейтральном проводе, фазные и линейные напряжения для следующих случаев:

- симметричный приемник ( $R_n=0$ );
- несимметричный приемник ( $R_n=100$ );
- обрыв фазы  $b$ .

Закончив измерения, выключить питание.



1.3. Собрать на стенде трехпроводную трехфазную цепь для симметричного приемника  $R_a=R_b=R_c$  (рис.4.2,а). Включить питание источника и измерить токи и напряжения при обрыве фазы  $b$ . Выключить питание.

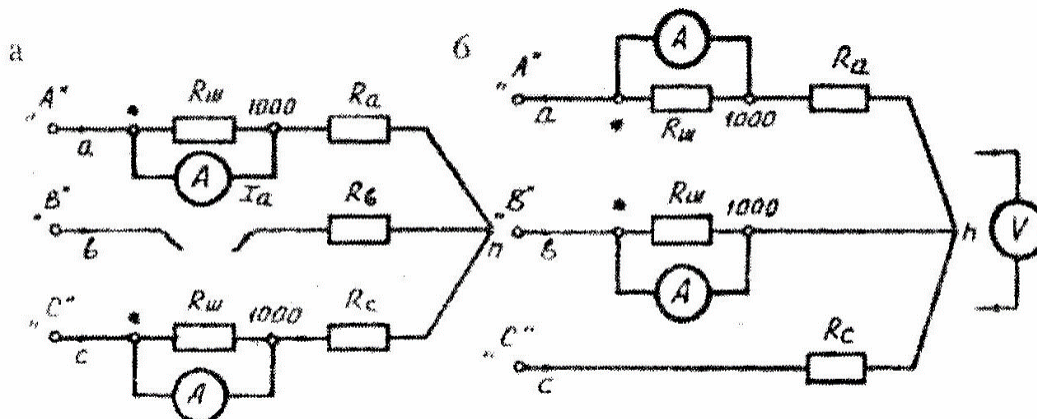


Рис.4.2.Схемы трехпроводной трехфазной цепи для исследования аварийных режимов:  
а – обрыв фазы  $b$ ; б – короткое замыкание в фазе  $b$

1.4. Собрать на стенде трехпроводную трехфазную цепь для приемника, включенного звездой (рис. 4.2,б), и исследовать режим работы при коротком замыкании в фазе  $b$ . Выключить питание.

Результаты измерений по пп. 1.2-1.4 занести в табл.4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Результаты измерений параметров трехфазной цепи при включении приемника звездой

Режим	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_N$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$
	А	А	А	А	В	В	В	В	В	В
1. Симметричный с нейтралью										
2. Несимметричный с нейтралью										
3. Обрыв фазы $b$ с нейтралью										
4. Обрыв фазы $b$ без нейтрали										
5. КЗ в фазе $b$ без нейтрали										

1.5. По данным табл.4.1 построить в масштабе векторные диаграммы для четырехпроводной и трехпроводной схем трехфазной цепи для исследуемых режимов работы.

1.6. Для каждого режима рассчитать активную мощность трехфазного приемника, используя следующие формулы:

$$P_a = I_a U_a, P_b = I_b U_b, P_c = I_c U_c, P = P_a + P_b + P_c.$$

1.7.Сделать выводы по работе и оформить отчет.

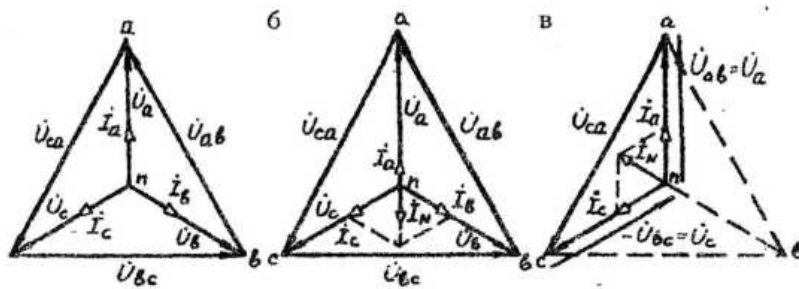


Рис.4.3. Векторные диаграммы токов и напряжений в четырехпроводной трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой для симметричного (а), несимметричного (б) приемников и при обрыве фазы *b* (в)

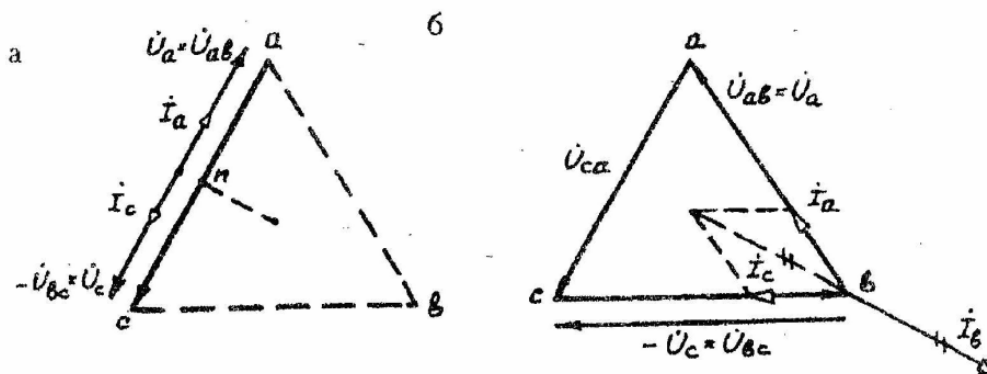


Рис.4.4. Векторные диаграммы токов и напряжений в трехпроводной трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой в аварийных случаях: а – обрыв фазы *b*; б – короткое замыкание в фазе *b*

### Контрольные вопросы

1. Характерная особенность четырехпроводной схемы трехфазной цепи переменного тока.
2. Раскрыть понятия «симметричный и несимметричный приемники трехфазной цепи».
3. Каково соотношение между фазными и линейными токами и напряжениями в схеме соединения приемника звездой?
4. Какова роль нейтрального провода в трехфазной цепи?
5. Можно ли ставить плавкий предохранитель или выключатель на линию нейтрального провода?
6. Аварийные случаи в трехфазной цепи переменного тока и возможные последствия их возникновения.

## Лабораторная работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

Цель работы: научиться исследовать основные и аварийные режимы работы трехфазной цепи переменного тока при соединении приемников треугольником; строить по опытным данным векторные диаграммы токов и напряжений при симметричной и несимметричной нагрузках в фазах приемников.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Собрать на стенде «Уралочка» схему трехпроводной цепи согласно рис.5.1 с включением мультиметров ВР-11 в качестве амперметров по 1-й позиции. Их показания определяют фазные токи приемника  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$ ,  $I_{ca}$ . Нагрузку в фазах следует брать:

$$R_{ab}=R_1+R_2, R_{bc}=R_3+R_4, R_{ca}=R_5+R_6,$$

где  $R_1, \dots, R_6$  – резисторы на комплектующем блоке.

В качестве потенциометра  $R_{\Pi}$  использовать  $R=200$  Ом из магазина сопротивлений.

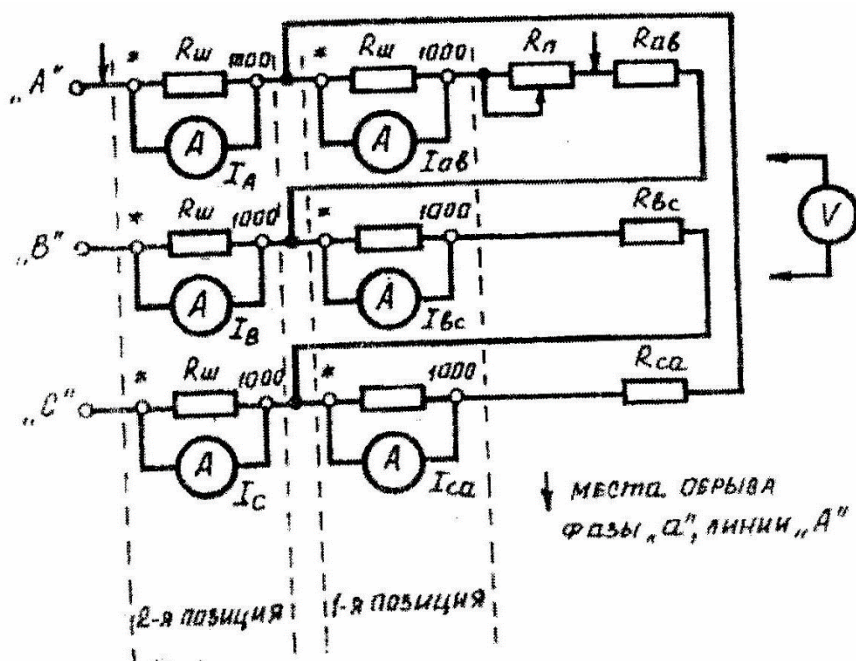


Рис.5.1. Схема сборки трехпроводной цепи при соединении фаз резисторного приемника треугольником

1.2. Включить питание стенда и измерить фазные токи приемника для следующих режимов:

- несимметричный приемник ( $R_{\Pi}=200$  Ом);

- симметричный приемник ( $R_n=0$ );
- обрыв фазы  $a$ ;
- обрыв линейного провода  $A$ .

Выключить питание.

1.3.Собрать схему трехпроводной цепи с включением амперметров по 2-й позиции (см. рис.5.1). Их показания определяют линейные токи  $I_A, I_B, I_C$ .

Включить питание стенда и измерить линейные токи для всех тех же режимов (см. п.1.2). Выключить питание.

1.4.Результаты измерений по пп.1.2. и 1.3 занести в табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5.1

Результаты исследования режимов работы трехпроводной трехфазной цепи при соединении приемников треугольником

Режимы	$I_{ab}$	$I_{bc}$	$I_{ca}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$
	А	А	А	А	А	А	В	В	В
1.Несимметричный приемник									
2.Симметричный приемник									
3.Обрыв фазы $a$									
4.Обрыв линии $A$									

Так как фазные напряжения приемника  $U_\phi$  равны линейным напряжениям источника, а они нам известны из результатов выполнения предыдущих лабораторных работ, то измерение  $U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$  следует провести только для режима «обрыв линейного провода».

1.5. По данным табл.5.1 в выбранном масштабе построить векторные диаграммы для всех исследуемых режимов.

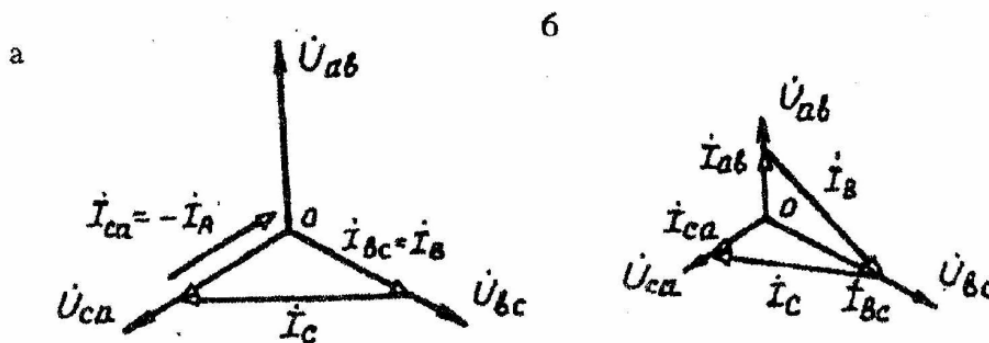


Рис. 5.2. Векторные диаграммы напряжений и токов симметричного приемника при аварийных режимах:  
а – обрыв фазы  $a$ ; б – обрыв линии  $A$

1.6. Рассчитать активную мощность приемника для каждого режима, используя формулы:

$$P_a = U_{ab} I_{ab}, P_b = U_{bc} I_{bc}, P_c = U_{ca} I_{ca}, P = P_a + P_b + P_c.$$

### Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют трехпроводные трехфазные цепи при соединении фаз приемника треугольником?
2. Каковы соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями в трехпроводной цепи при соединении приемника треугольником?
3. Построить векторную диаграмму для симметричного активно-индуктивного приемника, соединенного треугольником.
4. Как изменяются фазные напряжения приемника, соединенного треугольником, при обрыве линейного провода?
5. Чему равны активная, реактивная и полная мощности трехфазной цепи симметричного приемника?

# Лабораторная работа №6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: познакомиться с устройством и принципом действия трансформатора; исследовать основные режимы работы трансформатора, экспериментально определить его основные параметры.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Собрать на стенде «Электрические машины» схему согласно рис.6.1. Выписать данные трансформатора и электроизмерительных приборов.

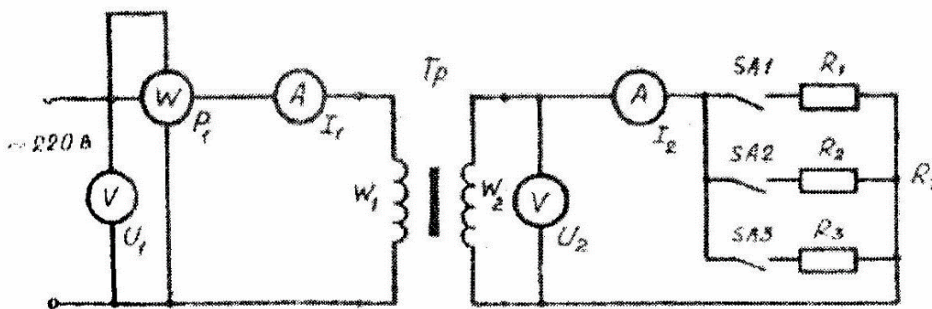


Рис.6.1. Схема исследования однофазного трансформатора на лабораторном стенде

1.2. Исследовать режимы ХХ и рабочий при изменении нагрузки  $R_T$ . Данные занести в табл.6.1.

Т а б л и ц а 6.1

Результаты исследования однофазного трансформатора

Режим работы	Измерено					Вычислено				
	$R_T$	$U_1$	$I_1$	$P_1$	$U_2$	$I_2$	$K$	$\cos \varphi$	$P_2$	$\eta$
		В	В	Вт	В	А			Вт	%
ХХ	$\infty$									
Рабочий	$R_T = R_1$ $R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ $R_T = R_T$									

Расчётные формулы для ХХ:

$$K = \frac{U_{1x}}{U_{2x}}, \cos \varphi_x = \frac{P_{1x}}{U_{1x} I_{1x}}.$$

Для рабочего режима:  $P_2 = U_2 I_2$  при  $\cos \varphi_2 = 0,85$ ,  $\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%$ .

1.3. Для рабочего режима построить внешнюю характеристику трансформатора  $U_2=f(I_2)$  и оценить величину  $\Delta U_2$ .

1.4. Сделать выводы по работе и оформить отчёт.

### Контрольные вопросы

1. Что называется трансформатором и каковы основные режимы его работы?

2. В чем заключается принцип трансформации напряжения и тока?

3. Что называется коэффициентом трансформации? Способы его определения.

4. Паспортные данные трансформатора. Что они определяют?

5. Показать графически внешнюю характеристику трансформатора. Что она определяет?

6. Применение трансформаторов на объектах строительства.

## Лабораторная работа №7

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: изучение особенностей конструкции трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, приобретение навыков построения его механической характеристики, исследование режимов работы двигателя при изменении нагрузки на валу.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Для асинхронного двигателя на лабораторном стенде типа А02-32-6У-3 выписать паспортные данные  $P_{2н}$ ,  $U_1$ ,  $I_{1н}/I_{1н}$ ,  $\cos\varphi_{н}$ ,  $\eta_{н}$ .

1.2. По паспортным данным двигателя построить его механическую характеристику  $n_2=f(M)$ .

**Пример.** Для асинхронного двигателя с КЗ ротором типа ЧА906У3 требуется построить механическую характеристику по следующим паспортным данным: :  $P_{2н}=2,2$  кВт,  $n_{2н}=950$  об/мин,  $\lambda=2,1$ .

Для этого:

1) определяем номинальный момент

$$M_{н} = 9,55 \frac{P_{2н}}{n_{2н}} = 9,55 \frac{2200}{950} \approx 22 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

2) находим критическое (максимальное) значение момента

$$M_{кр} = \lambda M_{н} = 2,1 \cdot 22 \approx 46 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

3) определяем частоту вращения магнитного поля статора  $n_1$ , исходя из следующих соображений:  $n_1$  чуть больше  $n_{2н}$ , имеет фиксированные значения в зависимости от числа пар полюсов  $p=1, 2, 3 \dots$

Так как  $n_{2н}=950$  об/мин, то  $n_1 = \frac{n_{2н}}{0,95} = 1000$  об/мин;

4) находим номинальное  $S_{н}$  и критическое  $S_{кр}$  скольжения

$$S_{н} = \frac{n_1 - n_{2н}}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05;$$

$$S_{кр} = S_{н} \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,05 \left( 2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1} \right) = 0,2;$$

5) определяем координаты основных режимов работы двигателя на механической характеристике, используя следующие уравнения:

$$M = \frac{2M_{кр}}{S / S_{кр} + S_{кр} / S}, \quad n_2 = n_1 (1 - S).$$



Результаты вычислений удобно свести в таблицу:

Режимы работы	Скольжение	$M = \frac{2 \cdot 46}{0,2 / S + S / 0,2}$ , Н·м	$n_2 = 1000(1 - S)$ . об/мин
Холостой ход	0	0	1000
Номинальный	0,05	22	950
Критический	0,2	46	800
Пусковой	1	18	0

Полученные результаты позволяют построить механическую характеристику двигателя  $n_2=f(M)$ . Для повышения точности построения участка устойчивой работы можно получить дополнительные данные для  $M$  и  $n_2$ , задаваясь значениями скольжения  $S$  в интервале 0-0,2.

1.3. Собрать на стенде схему, представленную на рис.7.1.

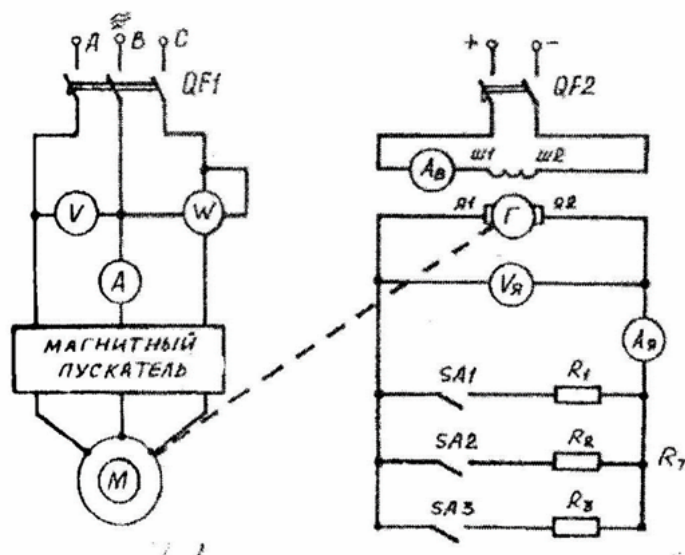


Рис. 7.1.Схема испытаний асинхронного двигателя

1.4.Подготовить стробоскопический тахометр для измерения частоты вращения вала двигателя. Тахометр состоит из измерительного блока и импульсной газоразрядной лампы. В измерительном блоке находится генератор импульсов регулируемой частоты, выполняющий роль регулятора вспышек лампы. На лицевой панели блока размещены:

- тумблеры включения сети, синхронизации и лампы;
- ручка переключателя диапазонов частоты;
- ручки для грубого и точного регулирования частоты вспышек газоразрядной лампы, связанные со стрелкой отчета.

Включить тахометр в сеть 220 В. После прогрева блока (5...10 мин) включить тумблер лампы. Выбор диапазона частот должен соответствовать паспортным данным исследуемого двигателя.

Работа с тахометром заключается в том, чтобы для вращающегося с неизвестной частотой вала, на котором закреплен диск с покрашенным сектором, подобрать такую частоту вспышек лампы, при которой интервал между вспышками будет равен времени одного оборота вала двигателя. Тогда для наблюдателя вращающийся вал с сектором будет казаться неподвижным. Показания на шкале блока в этот момент будут соответствовать частоте вращения вала  $n_2$ .

1.5. После проверки правильности сборки схемы и подготовки стробоскопического тахометра запустить асинхронный двигатель, записать в табл.7.1 показания электроизмерительных приборов в цепях питания двигателя, генератора постоянного тока и тахометра и следующие значения сопротивления  $R_T$ :

$$R_T = 0 \text{ (} SA1, SA2, SA3 \text{ разомкнуты);}$$

$$R_T = R_1 \text{ (замкнут } SA1);$$

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ (замкнуты } SA1 \text{ и } SA2);$$

$$R_T = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \text{ (замкнуты все выключатели } SA1, SA2, SA3).$$

Т а б л и ц а 7.1

Режимы работы	Измерено						Вычислено						
	$U$	$I$	$P$	$n_2$	$U_{и}$	$I_{и}$	$S$	$\cos \varphi$	$M$	$P_2$	$P_{2*}$	$\eta$	$\eta^*$
	В	А	Вт	об/мин	В	А	ВА		Н·м	Вт	Вт		
$R_T = 0$													
$R_T = R_1$													
$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$													
$R_T = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$													

Расчетные формулы:

– полной мощности, потребляемой двигателем,  $S = \sqrt{3}UI$  ;

– коэффициента мощности  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$  ;

– момента двигателя  $M = \frac{2M_{кр}}{S / S_{кр} + S_{кр} / S}$  , где  $S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$  – скольжение;

- механической мощности на валу двигателя  $P_2 = M \frac{n_2}{9,55}$ ;
- мощности, преобразуемой генератором постоянного тока в электрическую  $P_2 = \frac{U_a I_a}{\eta_r}$ , где  $\eta_r$  – КПД генератора (0,85);
- КПД двигателя  $\eta = \frac{P_2}{3P}$ ;
- КПД системы «двигатель – генератор»  $\eta^* = \frac{P_{2*}}{3P}$ ;

1.6. Результаты измерений и вычислений точек с координатами  $n_2$ ,  $M$  нанести на механическую характеристику двигателя, построенную по паспортным данным. Сделать выводы по режиму работы двигателя при изменении нагрузки.

1.7. Определить значения  $n_{2*} = \frac{n_2}{n_{2H}}$ ,  $\eta$ ,  $\cos\varphi$ ,  $I^* = \frac{I_1}{I_{1H}}$ ,  $M^* = \frac{M_1}{M_H}$  как функции аргумента  $\frac{P_2}{P_{2H}}$  для всех режимов работы двигателя.

Результаты нанести на типовые рабочие характеристики и сделать выводы о соответствии экспериментальных данных теоретическим положениям.

### Контрольные вопросы

1. Общее устройство и принцип работы асинхронного двигателя.
2. Почему двигатель называется асинхронным?
3. Какова роль скольжения в определении режима работы асинхронной машины?
4. Как определить частоту вращения магнитного поля статора по паспортным данным асинхронной машины?
5. Вычертить механическую характеристику асинхронного двигателя и указать на ней характерные точки, определяющие режимы работы двигателя.
6. В чем состоит свойство саморегулирования асинхронного двигателя?
7. Определить число пар полюсов магнитного поля статора, если известно, что номинальная частота вращения двигателя по паспортным данным равна 540 об/мин, 970 об/мин.

## Лабораторная работа №8 ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель работы: изучение особенностей конструкции электрической машины постоянного тока, исследование режимов работы двигателя постоянного тока при изменении нагрузки, построение механической и рабочих характеристик двигателя по опытным данным.

### 1. Порядок выполнения работы

1.1. Для двигателя постоянного тока типа П-32М, установленного на лабораторном стенде, выписать паспортные данные  $P_n$ ,  $U_n$ ,  $I_n$ ,  $n_n$ .

1.2. Собрать на стенде схему испытаний двигателя с параллельным возбуждением, представленную на рис. 8.1.

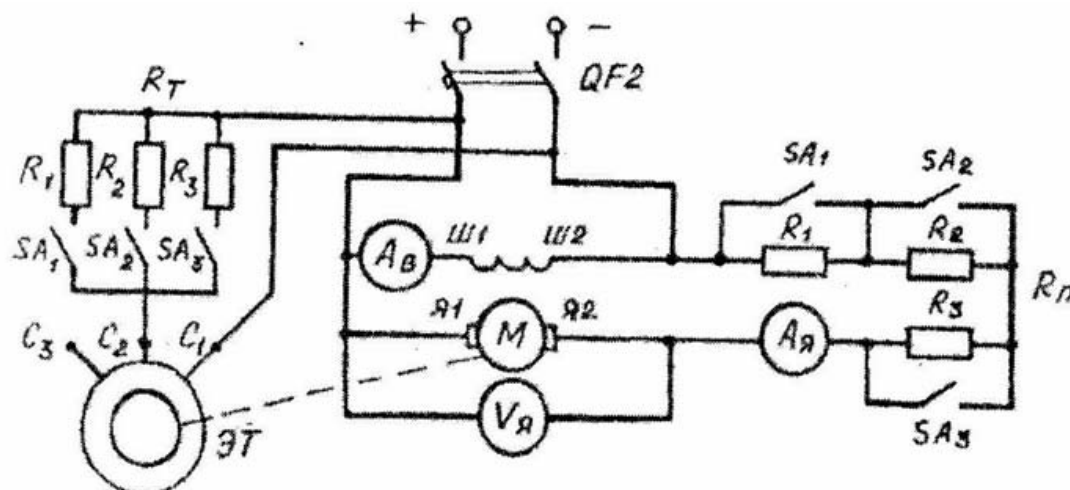


Рис.8.1. Схема испытаний двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

1.3. Подготовить стробоскопический тахометр для измерения частоты вращения вала двигателя.

1.4. После проверки правильности сборки схемы и готовности к работе стробоскопического тахометра запустить двигатель, включив автоматический выключатель  $QF2$ .

1.5. Включая поочередно переключатели  $SA1$ ,  $SA2$  и  $SA3$  пускового реостата  $R_n$ , вывести его из якорной цепи двигателя.

1.6. Снять показания электроизмерительных приборов и частоты вращения якоря при следующих значениях тормозного сопротивления:

- 1)  $R_T = \infty$  (разомкнуты  $SA1$ ,  $SA2$ ,  $SA3$   $R_T$ );
- 2)  $R_T = R_1$  (замкнут  $SA1$   $R_T$ );

$$3) R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ (замкнуты SA1 и SA2 } R_T);$$

$$4) R_T = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_1 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \text{ (замкнуты все переключатели } R_T).$$

Полученные данные занести в табл.8.1.

Т а б л и ц а 8.1

Результаты испытаний двигателя постоянного тока  
с параллельным возбуждением

№ п/п	Измерено				Вычислено					
	U	$I_{\text{я}}$	$I_{\text{н}}$	$n$	$P_{\text{эм}}$	$M$	$M_2$	$P_2$	$P_1$	$\eta$
	В	А	А	об/мин	Вт	Н·м	Н·м	Вт	Вт	%

П р и м е ч а н и е . В табл. 8.1 значения напряжения питания  $U$  соответствуют показаниям вольтметра  $V_{\text{я}}$ .

Расчетные формулы:

– электромагнитной мощности двигателя  $P_{\text{эм}} = UI_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ . Здесь

$$R_{\text{я}} = \frac{U}{I_{\text{н}}} 0,5(1 - \eta_{\text{н}}), \text{ а номинальный КПД } \eta_{\text{н}} = 0,73;$$

– электромагнитного момента  $M = 9,55 \frac{R_{\text{эм}}}{n}$ ;

– полезного момента  $M_2 = M - M_0 = M - 0,04M_{\text{н}}$ ;

– полезной мощности на валу двигателя:  $P_2 = 0,1047M_2 n$ ;

– электрической мощности, подводимой к двигателю:  $P_1 = U(I_{\text{я}} + I_{\text{н}})$ ;

– коэффициента полезного действия  $\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%$ .

1.7. По данным табл.8.1 построить механическую характеристику двигателя  $n=f(M)$  и рабочие характеристики (рис.8.2 и 8.3). При построении механической характеристики частоту вращения холостого хода следует рассчитывать по формуле

$$n_0 = n_{\text{н}} \frac{U_n}{U_n - I_{\text{н}} R_{\text{я}}}.$$

Естественная характеристика двигателя представляет собой прямую, проходящую через точки  $(n_0, 0)$  и  $(n_n, M_n)$ .

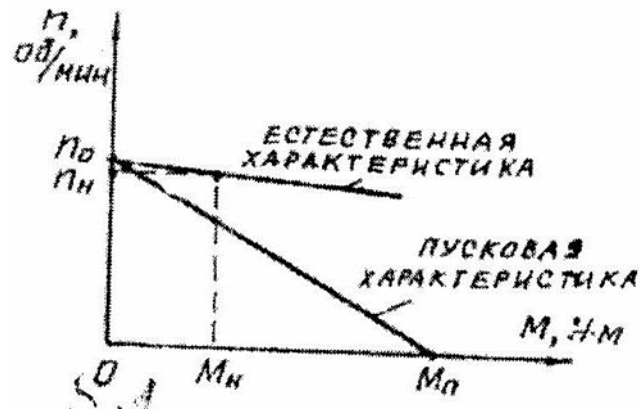


Рис.8.2. Механические характеристики двигателя параллельного возбуждения

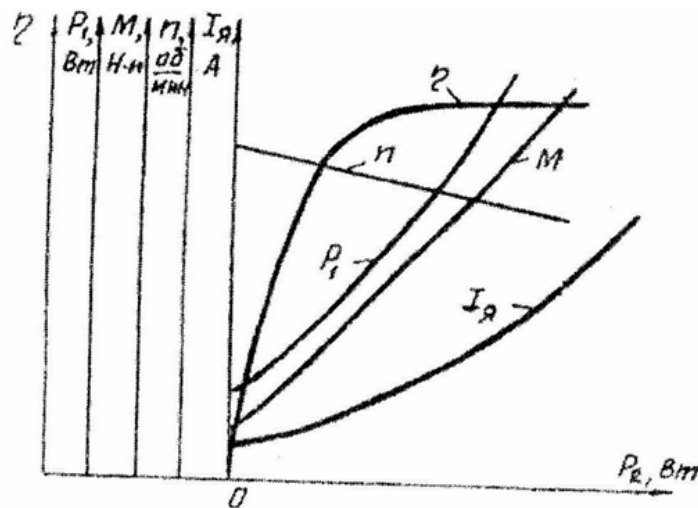


Рис.8.3. Рабочие характеристики двигателя параллельного возбуждения.

1.8. Сделать выводы о соответствии полученных экспериментальных данных теоретическим положениям.

### Контрольные вопросы

1. Особенности конструкции электрических машин постоянного тока. Их достоинства и недостатки.
2. Принцип работы двигателя постоянного тока.
3. Способы возбуждения двигателя постоянного тока.
4. Написать уравнение баланса мощностей и пояснить его физический смысл.
5. Почему при запуске двигателя постоянного тока используется пусковой реостат?
6. Начертить механическую характеристику двигателя и пояснить процесс выхода двигателя на естественную характеристику.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общая электротехника и электроника. Ч.1. Электроника [Текст]: учебник / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015.
2. Электротехника и электроника [Текст]: учебное пособие / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2014.
3. Основы теории расчета линейных электрических цепей и электро-снабжения объектов [Текст]: учебное пособие / Э.М. Пинт [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2012.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	5
2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ «УРАЛОЧКА» .....	7
3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МУЛЬТИМЕТРЕ ВР-11А .....	8
4. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН МУЛЬТИМЕТРОМ ВР-11А.....	10
5. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ» .....	13
Лабораторная работа №1. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	16
Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ $R$ -, $L$ -, $C$ -ЭЛЕМЕНТОВ .....	18
Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ $R$ -, $L$ -, $C$ - ЭЛЕМЕНТОВ .....	21
Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ЗВЕЗДОЙ.....	24
Лабораторная работа №5. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ТРЕУГОЛЬНИКОМ .....	27
Лабораторная работа №6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА .....	30
Лабораторная работа №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ.....	32
Лабораторная работа №8 ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ .....	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	39

Учебное издание

Пинт Эдуард Михайлович

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к выполнению лабораторных работ

по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Р е д а к т о р                    М.А. Сухова

В е р с т к а                     Н.А. Сазонова

Подписано в печать 9.03.16. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 2,3. Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 80 экз.

Заказ №182.

---

Издательство ПГУАС.

440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.