

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Осинниковский политехнический техникум»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
по учебной дисциплине**

ОП.02 и ОП.09 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

основной образовательной программы (ОПОП)

по профессиям:

**13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию оборудования (по
отраслям)**

Срок обучения 2 года 10 месяцев

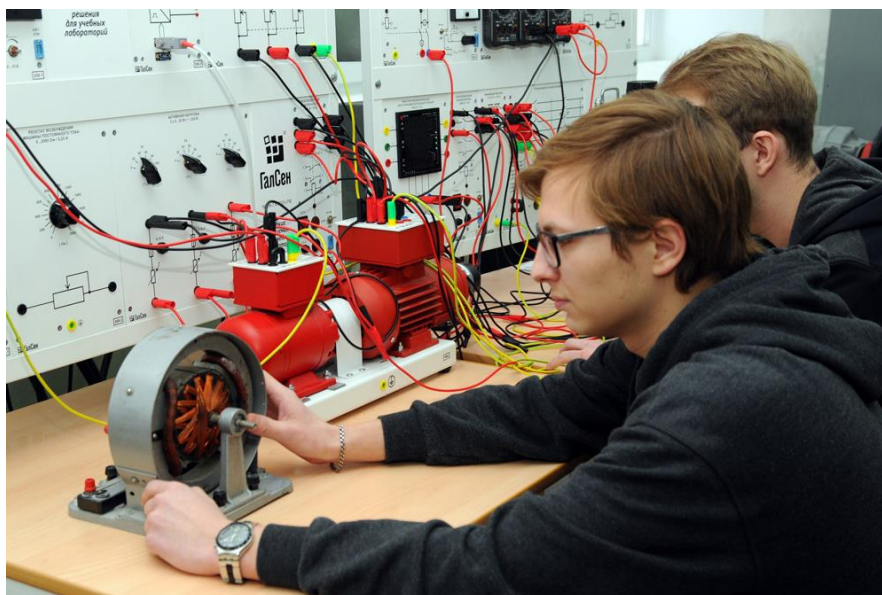
21.01.15 Электрослесарь подземный

Срок обучения 2 года 10 месяцев

по специальности

СПО 22.02.06 Сварочное производство

Срок обучения 3 года 10 месяцев



г.Осинники 2021

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Лабораторно-практические работы предназначены для углубления и закрепления теоретических знаний, а также приобретения навыков по сборке и наладке электрических схем, измерений в электрических цепях, проведения испытаний электротехнических установок, расчета и анализа электрических цепей, оформления результатов испытаний и расчетов.

Задача проведения лабораторно-практических работ – познакомить обучающихся с технологическими процессами и их закономерностями, с техническими устройствами и их характеристиками. Познакомить не путем прямого показа или объяснения преподавателя, а через направленную преподавателем практическую деятельность самих обучающихся. Деятельность их должна быть творческой, близкой к исследовательской работе.

Цели и задачи лабораторно-практических занятий:

- убедиться в истинности приобретенных знаний проверять результаты расчетов;
- отработать основные методы исследования различных технических устройств и их схемных решений, изучить методы оформления технических документов;
- получить навыки самостоятельной работы;
- уметь анализировать изучаемые теоретические и практические положения, устанавливать связь между ними.

Для успешного решения этих задач необходимо учитывать ряд дидактических требований:

1. Каждое лабораторное задание должно быть тщательно подготовлено;
 2. Содержание его должно соответствовать уровню знаний обучающихся на данном этапе обучения;
 3. Лабораторные работы должны обучающиеся выполнять самостоятельно;
- При организации и проведении лабораторно-практических работ преподаватель должен руководствоваться следующими методическими указаниями:
- а) заранее тщательно и детально подготовить каждое лабораторное занятие;
 - б) требовать от обучающихся постоянно строжайшего выполнения правил безопасности;
 - в) продумывать, предельно конкретно раскрывать обучающимся цель каждой лабораторной работы;
 - г) следить за тем, чтобы все обучающиеся, занятые лабораторной работой, были загружены одинаково;
 - д) требовать своевременной сдачи отчетов;
 - е) сопровождать прием отчета опросом по существу темы проведения работы и порядку ее выполнения, чтобы выяснить, насколько глубоко усвоил обучающийся содержание лабораторной работы;
 - ж) допускать обучающегося к очередному лабораторно-практическому занятию только после того, как он сдал отчет по предыдущей работе;

з) отчет должен быть составлен самостоятельно каждым обучающимся, групповые отчеты недопустимы.

Правила выполнения лабораторно-практических работ.

Лабораторно-практические работы выполняются учащимися по графику в соответствии с учебным расписанием занятий. Обучающийся, не выполнивший лабораторно-практическую работу, должен в двухнедельный срок с разрешения преподавателя выполнить ее в дни консультаций. Форма протокола испытаний и отчета приведена в описании каждой работы.

Структура лабораторно-практического занятия в основном сводятся к следующему:

- сообщение темы и цели работ;
- актуализация теоретических знаний, которые необходимы для рациональной работы с оборудованием, осуществления эксперимента или другой практической деятельности;
- непосредственное проведение лабораторных работ;
- обобщение и систематизация полученных результатов;
- подведение итогов занятия.

Для активизации познавательной деятельности учащихся в процессе выполнения лабораторно-практических работ должны широко использоваться демонстрационные макеты, модели, плакаты, планшеты с реальными электротехническими элементами и устройствами: резисторами, конденсаторами, катушками индуктивности и трансформаторами, диодами, транзисторами, микросхемами, переключателями и кнопками, индикаторами, проводами и кабелями, электродвигателями и генераторами, электроизмерительными приборами.

К выполнению работ допускаются обучающиеся:

1. прошедшие инструктаж по технике безопасности;
2. имеющие в тетради протоколы испытаний к очередной работе,
3. выполненные в соответствии с настоящим пособием;
4. ознакомившиеся с целью и порядком выполнения работы, а также с электрической схемой, которая будет применяться;
5. изучившие теоретический материал, относящийся к выполняемой работе, по рекомендуемым учебным пособиям, конспекту лекций.

Подготовленность обучающихся к выполнению лабораторно-практических работ проверяется преподавателем индивидуально. Обучающийся, получивший неудовлетворительную оценку, к выполнению работы не допускается.

Подача напряжения на лабораторный стенд без проверки и разрешения преподавателя или лаборанта **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩЕНА!**

В случае порчи приборов и оборудования по вине учащихся последние несут материальную ответственность.

По окончании работы электрическая цепь должна быть разобрана, стенд обесточен, провода и приборы убраны на место.

Результаты лабораторно-практической работы заносятся в протокол испытаний и таблицы карандашом и представляются преподавателю для

проверки. При неправильных результатах лабораторно-практическая работа должна быть переделана.

По результатам работы каждый учащийся оформляет отчет согласно настоящему пособию. Допускается на усмотрение преподавателя оформление одного протокола испытаний и отчета бригадой из двух учащихся

Все лабораторные работы выполняются на действующих стендах с соблюдением правил техники безопасности. Предлагаемые лабораторно-практические работы являются двухчасовыми и рассчитаны на выполнение подгруппой из 13-15 обучающихся в специально оборудованной лаборатории. Целесообразно с точки зрения техники безопасности за каждым стендом закрепить двух обучающихся.

В пособие включены инструкционные карты по 14-ти лабораторным работам. В каждой инструкционной карте указана тема и цель работы, необходимое оборудование, приведены схемы измерений и краткое описание хода выполнения работы, даются указания о содержании отчета и анализе полученных результатов. В конце описания каждой работы приведены контрольные вопросы для ее защиты.

Правила сборки электрических схем.

Перед сборкой электрической цепи (ЭЦ) необходимо определить все элементы, которые должны входить в нее в соответствии с принципиальной схемой: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, измерительные приборы, выключатели и переключатели, регулируемые элементы, источники питания и др. Переключатели пределов измерений приборов должны быть установлены в положения, указанные в описании лабораторной работы. Особое внимание следует обратить на универсальный прибор - мультиметр, в котором наряду с переключателем пределов измерений имеется переключатель рода работы с положениями: «R», «=U», «~U», «=I», «~I». Требуемое положение также указывается в описании лабораторной работы.

При сборке ЭЦ необходимо придерживаться следующих правил:

- начинать сборку от зажимов источника питания;
- в первую очередь собирать главную цепь, состоящую из последовательно соединенных элементов: резисторов, индуктивных катушек, амперметров, токовых катушек ваттметров и т. д.;
- во вторую очередь подключать параллельно подсоединяемые элементы, в том числе вольтметры, катушки напряжения ваттметров, осциллограф и др.

Разборку ЭЦ следует начинать от источника питания, предварительно отключив напряжение питания.

Потребность в руководстве преподавателя многие обучающиеся испытывают, когда приступают к выполнению задания. На этом этапе некоторым обучающимся нужна помощь, коррекция действий, проверка промежуточных результатов. Опытные преподаватели не спешат подсказать обучающимся готовое решение или исправить допущенную ошибку, а наоборот за действием обучающегося, одобряют или наоборот, предупреждают о возможной неудаче, ставят вспомогательные вопросы. Наблюдения за работой дают возможность

направлять в нужное русло ход мыслей обучающихся, развивать его познавательную самостоятельность, творческую активность, регулировать темп работы. Последовательно от занятия к занятию нарастают требования к самостоятельности обучающихся при выполнении практических работ.

Перечень лабораторных работ
Электрослесарь подземный
Срок обучения: 2 года 10 месяцев

№	Тема лабораторного занятия	Кол. часов	Обеспечение
1.	Л.З №1. Сборка линейной электрической цепи, измерение параметров (I, U), выполнение расчетов цепей постоянного тока. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
2.	Л.З №2. Сборка нелинейной электрической цепи, измерение параметров (I, U), выполнение расчетов нелинейных цепей постоянного тока.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
3.	Л.З №3 Сборка ЭЦ с последовательным соединением элементов, измерение указанных величин, расчёт S, Q, cosφ, Z, R, X. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
4.	Л.З №4 Сборка ЭЦ с параллельным соединением элементов, измерение указанных величин, расчёт S, Q, cosφ, Z, R, X. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
5.	Л.З №.5 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда». Контроль параметров работы электрооборудования	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
6.	Л.З №6 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «треугольник». Сборка четырехпроводной трехфазной ЭЦ, исследование режимов работы,	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода,

	вычисление по результатам измерений. Контроль параметров работы электрооборудования.		Сборник лабораторных работ.
7.	Л.З №7 Исследование диодов. Сборка схемы для исследования выпрямительного диода, измерение электрических параметров, выполнение ВАХ. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный стенд «Электроника и основы электроники», Сборник лабораторных работ.
8.	Л.З №8 Исследование режимов работы однофазного трансформатора. Сборка ЭЦ по рисунку, проведение опыта холостого хода, проведение измерений U и I , расчет электрических параметров.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, Сборник лабораторных работ, монтажные провода, лабораторная установка рабочее поле «Однофазный трансформатор» и «Измеритель мощности».
9.	Л.З №9 Управление трехфазным асинхронным двигателем. Сборка эл. схемы для пробного пуска, остановка ЭД, снятие характеристик, проведение измерений и вычислений. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, лабораторная установка рабочее поле «Асинхронный двигатель» и «Измеритель мощности», Сборник лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ

Электромонтер по ремонту и обслуживанию оборудования (по отраслям)

Срок обучения 2 года 10 месяцев

№	Тема лабораторного занятия	Кол. часов	Обеспечение
10.	Л.З №1. Сборка линейной электрической цепи, измерение параметров (I , U), выполнение расчетов цепей постоянного тока. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
11.	Л.З №2. Сборка нелинейной электрической цепи, измерение параметров (I , U), выполнение расчетов нелинейных цепей постоянного тока.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.

12.	Л.3 №3 Сборка ЭЦ с последовательным соединением элементов, измерение указанных величин, расчёт S , Q , $\cos\varphi$, Z , R , X . Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
13.	Л.3 №4 Сборка ЭЦ с параллельным соединением элементов, измерение указанных величин, расчёт S , Q , $\cos\varphi$, Z , R , X . Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
14.	Л.3 №5 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда». Контроль параметров работы электрооборудования	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
15.	Л.3 №6 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «треугольник». Сборка четырехпроводной трехфазной ЭЦ, исследование режимов работы, вычисление по результатам измерений. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
16.	Л.3 №7 Исследование диодов. Сборка схемы для исследования выпрямительного диода, измерение электрических параметров, выполнение ВАХ. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный стенд «Электроника и основы электроники», Сборник лабораторных работ.
17.	Л.3 №8 Исследование режимов работы однофазного трансформатора. Сборка ЭЦ по рисунку, проведение опыта холостого хода, проведение измерений U и I , расчет электрических параметров.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, Сборник лабораторных работ, монтажные провода, лабораторная установка рабочее поле «Однофазный трансформатор» и «Измеритель мощности».
18.	Л.3 №9 Управление трехфазным асинхронным двигателем. Сборка эл. схемы для пробного пуска,	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать

останова ЭД, снятие характеристик, проведение измерений и вычислений. Контроль параметров работы электрооборудования.		электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, лабораторная установка рабочее поле «Асинхронный двигатель» и «Измеритель мощности», Сборник лабораторных работ.
---	--	--

Перечень лабораторных работ
Сварочное производство
Срок обучения 3 года 10 месяцев

№	Тема лабораторного занятия	Кол. часов	Обеспечение
1.	Л.3 №1. Сборка линейной электрической цепи, измерение параметров (I, U), выполнение расчетов цепей постоянного тока. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
2.	Л.3 №2. Сборка нелинейной электрической цепи, измерение параметров (I, U), выполнение расчетов нелинейных цепей постоянного тока.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
3.	Л.3 №3 Сборка ЭЦ с последовательным соединением элементов, измерение указанных величин, расчёт S, Q, cosφ, Z, R,X. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
4.	Л.3 №4 Сборка ЭЦ с параллельным соединением элементов, измерение указанных величин, расчёт S, Q, cosφ, Z, R,X. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
5.	Л.3 №.5 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда». Сборка четырехпроводной трехфазной ЭЦ, исследование режимов работы, вычисление по результатам измерений. Контроль параметров работы электрооборудования	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.

6.	Л.З №6 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «треугольник». Сборка трехпроводной трехфазной ЭЦ, исследование режимов работы, вычисление по результатам измерений. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, Сборник лабораторных работ.
7.	Л.З №7 Исследование диодов. Сборка схемы для исследования выпрямительного диода, измерение электрических параметров, выполнение ВАХ. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный стенд «Электроника и основы электроники», Сборник лабораторных работ.
8.	ЛР №8 Исследование тиристорov. Сборка схемы для исследования тиристора, измерение электрических параметров, выполнение ВАХ. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный стенд «Электроника и основы электроники», Сборник лабораторных работ.
9.	Л.З №9 Исследование режимов работы однофазного трансформатора. Сборка ЭЦ по рисунку, проведение опыта холостого хода, проведение измерений U и I , расчет электрических параметров.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, Сборник лабораторных работ, монтажные провода, лабораторная установка рабочее поле «Однофазный трансформатор» и «Измеритель мощности».
10.	Л.З №10 Управление трехфазным асинхронным двигателем. Сборка эл. схемы для пробного пуска, остановка ЭД, снятие характеристик, проведение измерений и вычислений. Контроль параметров работы электрооборудования.	2	Лабораторный моноблок «Электрические цепи и основы электроники», лабораторные минимодули, позволяющие набрать электрические схемы для проведения лабораторных занятий, монтажные провода, лабораторная установка рабочее поле «Асинхронный двигатель» и «Измеритель мощности», Сборник лабораторных работ.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

► Перед сборкой цепи необходимо убедиться, что все коммутационные аппараты на лабораторном стенде отключены

- ▶ Сборку цепи производить только исправными проводниками
- ▶ Включать источники питания и выполнять лабораторную работу можно только после проверки схемы преподавателем
- ▶ Для выполнения измерений необходимо определить цену деления (постоянную) приборов, входящих в измерительную цепь
- ▶ Если в процессе выполнения работы необходимо сделать некоторые изменения в схеме или переключения, то для этого следует её отключить от источника питания, затем произвести переключения и после проверки преподавателем снова включить
- ▶ Если при выполнении лабораторной работы обнаружены неисправные приборы, следует об этом сообщить преподавателю
- ▶ Запрещается проверять наличие напряжения в цепи посторонними предметами (ручками, линейками и др.)
- ▶ В случае зашкаливания стрелки прибора цепь отключить от источника тока и сменить предел измерения
- ▶ Результаты измерений показать преподавателю до разборки цепи
- ▶ Разбирать цепь только при отключении её от источника
- ▶ После выполнения работы привести в порядок рабочее место

Каждый студент обязан строго соблюдать правила техники безопасности!

Общие методические рекомендации по выполнению лабораторных работ

Подготовка к лабораторным работам.

Экспериментальные задачи, предлагаемые на лабораторных занятиях, могут быть успешно решены в отведенное в соответствии с расписанием занятий время только при условии тщательной предварительной подготовки к каждой из них. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

- 1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- 2) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;
- 3) по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 4) до проведения лабораторной работы подготовить в рабочей тетради соответствующие схемы, таблицы наблюдений, расчетные формулы;
- 5) завершает этап подготовки к выполнению лабораторной работы составление ответов на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.
- б) неподготовленные студенты к работе не допускаются.

Выполнение лабораторной работы.

Для успешного выполнения лабораторных работ необходимо выполнение следующих требований.

1. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и измерительными приборами, предназначенными для проведения соответствующей лабораторной работы. При этом следует убедиться, что лабораторный стенд обесточен.
2. Сборку цепи необходимо проводить в точном соответствии с заданием. Целесообразно вначале соединить все элементы цепи, включаемые последовательно, а затем - параллельно. При сборке целесообразно пользоваться проводами разных цветов, например, для параллельных ветвей.
3. После окончания сборки электрическая цепь обязательно должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь под напряжение можно только с разрешения преподавателя или лаборанта.
4. Запись показаний всех приборов в процессе выполнения работы следует проводить по возможности одновременно и быстро. Следует избегать перерыва начатой серии наблюдений и во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных наблюдений, их необходимо повторить несколько раз.
5. Результаты измерений заносятся каждым студентом в свою рабочую тетрадь.
6. После выполнения отдельного этапа лабораторной работы результаты опыта вместе с простейшими контрольными расчетами предъявляются для проверки преподавателю до разборки электрической цепи.
7. Разбирать электрическую цепь, а также переходить к сборке новой можно только по разрешению преподавателя.
8. Если при исследовании цепи постоянного тока, стрелка измерительного прибора уходит за пределы шкалы в обратном направлении, надо отключить цепь и переключить подходящие к прибору провода.
9. Если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно выключить источник питания, доложить преподавателю или лаборанту.
10. Лабораторная работа считается выполненной только после утверждения её результатов преподавателем и приведения рабочего места в порядок.
11. Во время занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории во время занятия можно только с разрешения преподавателя.

Оформление отчета по лабораторным работам

Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной работе составить отчет. Требования к отчету:

- а) указать название и порядковый номер лабораторной работы, кратко сформулировать цель работы;
- б) указать тип и номинальные данные испытуемых электрических машин и аппаратов, типы, номера, пределы измерений, класс точности и системы измерительных приборов, используемых при выполнении лабораторной работы (например: амперметр типа М42100, № 01985, магнитоэлектрической системы, 30 делен., предел измерений 3А, кл. 1,5);
- в) схемы и графики вычертить с соблюдением принятых стандартных условных обозначений;
- г) отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы.

Критерии оценки

Оценка	«5» (отлично)	«4» (хорошо)	«3» (удовл.)	«2» (неудовл.)
% выполнения лабораторной или практической работы	100-90	89-80	79-60	менее 60

Лабораторная работа № 1.

СБОРКА ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ –

смешанное соединение элементов в электрической цепи постоянного тока

1. Цель работы

Получение навыков сборки электрических цепей, измерений токов и напряжений на отдельных участках электрической цепи; убедиться в соблюдении законов Кирхгофа в разветвленной линейной электрической цепи; научиться применять законы Кирхгофа в графическом виде. Исследовать особенности смешанного соединения элементов в электрических цепях постоянного тока.

2. Предварительное домашнее задание

- Изучить тему «Линейные электрические цепи постоянного тока», содержание данной лабораторной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы к ней.
- Начертить принципиальные схемы исследуемых цепей с включенными измерительными приборами.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

3.2. Собрать цепь со смешанным соединением резисторов (рис. 1). Собрать цепь со смешанным соединением резисторов, выбрав элементы цепи и величину напряжения питания в соответствии с заданным вариантом (табл. 1).

Представить схему для проверки преподавателю (рис. 1).

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6
E2, В	12	10	8	12	10	8
R1*	R3	R3	R3	R3	R3	R3
R2*	R5-1	R5-1	R5-1	R5-2	R5-2	R5-3
R3*	R8	R8	R8	R8	R8	R8

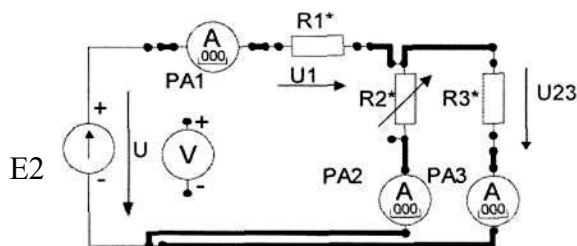


Рис.1.

3.3. После проверки схемы преподавателем включить источник питания E2, установить заданное значение величины напряжения питания и измерить напряжения на входе цепи U и на всех участках цепи (U1 и U2), а также все токи (I1, I2 и I3). Результаты занести в табл. 2.

3.4. С помощью соответствующего тумблера установить новое значение резистора R2 и снова измерить напряжения и токи в цепи. Выключить источник питания E2. По результатам измерений вычислить мощность каждого участка цепи P1, P2, P3 и всей цепи P, определить эквивалентное сопротивление цепи Rэ. Результаты вычислений занести в табл. 2. Выключить электропитание. Рис. 1

3.5. Проанализировать влияние изменения величины сопротивления резистора R2 на режим работы всей цепи и отдельных потребителей. Объяснить, почему это имеет место.

Таблица 2

Измерено						Вычислено				
U, В	U1, В	U2, В	I1, А	I2, А	I3, А	P1, Вт	P2, Вт	P3, Вт	P, Вт	Rэ, Ом

3.6. Проверить выполнение баланса мощностей.

3.7. Сделать выводы о выполнении законов Кирхгофа.

3.8. Включить электропитание. Плавно изменять величину входного напряжения с помощью потенциометра RP1, измерить значения напряжения и токов на всех участках цепи при трех различных значениях входного напряжения. Результаты измерений занести в табл. 3. Выключить электропитание.

Таблица 3

№ опыта	U, В	U1, В	U2, В	I1, мА	I2, мА	I3, мА
1						
2						
3						

3.9. По результатам измерений построить в одной координатной системе вольтамперные характеристики резисторов R1, R2, R3. Пользуясь ими, построить вольтамперную характеристику всей цепи $U_{вх} = f(I)$ и по ней определить эквивалентное сопротивление цепи $R_{экв}$. Здесь же построить экспериментальную вольтамперную характеристику цепи $U_{вх} = f(I)$, сравнить её с расчетной вольтамперной характеристикой всей цепи и сделать вывод о возможности графического применения законов Кирхгофа.

3.10. Сделать вывод о возможности применения законов Кирхгофа в графическом виде в электрической цепи постоянного тока.

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы полученных экспериментальных данных;
- результаты расчетов;
- выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

- Как по показаниям амперметра и вольтметра можно определить величину сопротивления участка электрической цепи постоянного тока и потребляемую им мощность?
- Нарисуйте схемы для измерения методом амперметра и вольтметра больших и малых электрических сопротивлений.
- Как определить величину эквивалентного сопротивления для исследуемой цепи?
- Для исследуемых электрических цепей запишите уравнения по законам Кирхгофа.
- Как по вольтамперной характеристике определить величину сопротивления цепи?
- Как применить закон Кирхгофа в графическом виде для последовательной и параллельной цепи?

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Линейные электрические цепи постоянного тока

(к лабораторно-практической работе № 1)

Любая электрическая цепь включает в себя источники электрической энергии (генераторы, аккумуляторы, батареи) и потребители электрической энергии (нагреватели, осветительные приборы, реле, двигатели и др.).

Источники характеризуются электродвижущей силой E , измеряемой в вольтах (В) и внутренним сопротивлением $R_{вн}$, измеряемым в омах (Ом). Потребители в электрических цепях постоянного тока характеризуются активным сопротивлением R (Ом). Они могут быть подключены к источнику питания последовательно (например, лампы елочной гирлянды - рис. Т.4, а), параллельно (лампы освещения промышленных и бытовых помещений, улиц - рис. Т.4, б) и смешанно (лампы двух и более елочных гирлянд - рис. Т.4, в).

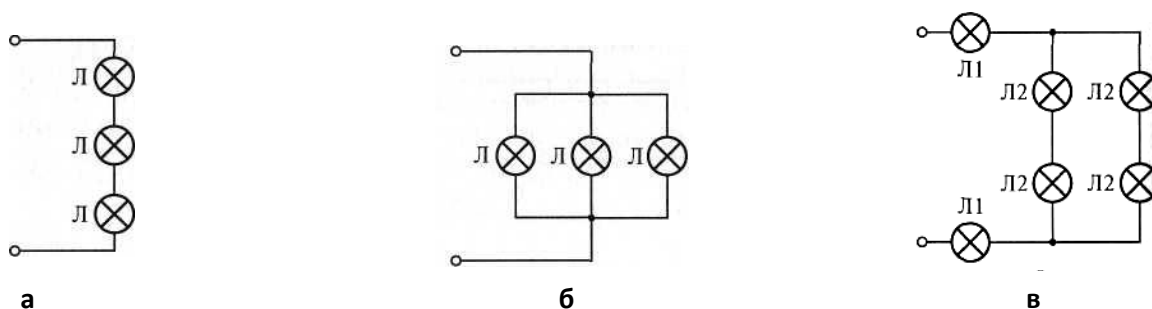


Рис. Т1. Схемы соединения ламп:

а - последовательного; б- параллельного; в – смешанного

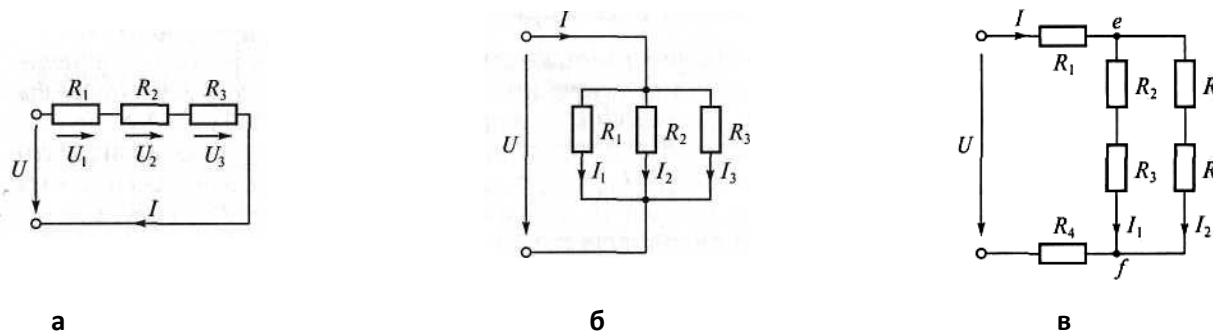


Рис. Т2. Схемы замещения ЭЦ с включением нагрузки:

а - последовательно; б- параллельно; в - смешанно

При **последовательном** соединении элементов конец цепи первого потребителя соединяется с началом второго, конец второго с началом третьего и т.д. Начало цепи первого и конец последнего потребителей подключаются к зажимам источника питания (рис. Т.5, а).

Общее сопротивление всей цепи равно сумме сопротивлений отдельных потребителей:

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (1)$$

Ток в цепи является общим для всех потребителей и определяется в соответствии с законом Ома:

$$I = U/R(2)$$

На каждом из потребителей падает напряжение. Падение напряжения на потребителе определяется сопротивлением потребителя и проходящим через него током:

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3. \quad (3)$$

В соответствии со 2-м *правилом Кирхгофа*

$$U = U_1 + U_2 + U_3(4)$$

Умножив левую и правую части уравнения (1) на I^2 , получим

$$I^2 R = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3 \quad (5)$$

или

$$P_{ЭЦ} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (6)$$

Таким образом, потребляемая ЭЦ мощность равна сумме мощностей, потребляемых каждым элементом цепи. Отдаваемая источником мощность равна мощности, потребляемой всей цепью:

$$P_{И} = UI = I^2 R = P_{ЭЦ} \quad (7)$$

Уравнение (7) является выражением баланса мощностей.

При **параллельном** соединении потребителей их начала соединяются в одну точку (1-й узел), а концы — в другую (2-й узел). Оба узла подключаются к клеммам источника питания (рис. Т.2, б).

В соответствии с *1-м правилом Кирхгофа* (следует отметить, что свои законы он сформулировал в 26 лет) алгебраическая сумма токов для любого узла ЭЦ равна нулю:

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \text{ или } I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (8)$$

Следовательно, сумма входящих в узел токов равна сумме отходящих. Поскольку напряжение для всех потребителей одно и то же, то в соответствии с законом Ома

$$I_1 = U/R_1; I_2 = U/R_2; I_3 = U/R_3; I = U/R \quad (9)$$

или

$$U/R = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3, \quad (10)$$

откуда

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3, \text{ или } g = g_1 + g_2 + g_3 \quad (11)$$

где $g = 1/R$ — величина, обратная сопротивлению, — проводимость потребителя, измеряемая в сименсах (См).

Таким образом, при параллельном соединении потребителей общая проводимость равна сумме проводимостей отдельных потребителей.

Умножив левую и правую части уравнения (11) на U^2 , получим

$$U^2/R = U^2/R_1 + U^2/R_2 + U^2/R_3, \quad (12)$$

или

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (13)$$

Таким образом, как и при последовательном соединении элементов, потребляемая ЭЦ мощность равна сумме мощностей, потребляемых каждым элементом цепи, и равна мощности, отдаваемой источником.

Схема со **смешанным** соединением потребителей показана рис. Т.2, в. Расчет такой ЭЦ может быть выполнен на основе приведенных выше соотношений. Так, общее сопротивление ЭЦ может быть вычислено в соответствии с выражением

$$R = R_1 + R_4, \quad (14)$$

где

$$R_4 = \frac{1}{1/(R_2 + R_3) + 1/(R_5 + R_6)}. \quad (15)$$

В соответствии с выражением для баланса мощностей мощность, отдаваемая источником, равна мощности, потребляемой всей ЭЦ и равна сумме мощностей, потребляемых каждым элементом цепи

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6. \quad (16)$$

В соответствии со 2-м правилом Кирхгофа

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (4)$$

Умножив левую и правую части уравнения (1) на I^2 , получим

$$I^2 R = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3 \quad (5)$$

или

$$P_{ЭЦ} = P_1 + P_2 + P_3. \quad (6)$$

Таким образом, потребляемая ЭЦ мощность равна сумме мощностей, потребляемых каждым элементом цепи. Отдаваемая источником мощность равна мощности, потребляемой всей цепью:

Общее сопротивление всей цепи равно сумме сопротивлений отдельных потребителей:

$$(1)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Ток в такой цепи является общим для всех потребителей и определяется в соответствии с *законом Ома*:

$$I = U/R. \quad (2)$$

На каждом из потребителей падает напряжение. Падение напряжения на потребителе определяется сопротивлением потребителя и проходящим через него током:

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3. \quad (3)$$

$$I = U/R. \quad (2)$$

На каждом из потребителей падает напряжение. Падение напряжения на потребителе определяется сопротивлением потребителя и проходящим через него током:

$$(3) \quad U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3.$$

Таким образом, как и при последовательном соединении элементов, потребляемая ЭЦ мощность равна сумме мощностей, потребляемых каждым элементом цепи, и равна мощности, отдаваемой источником.

Схема со смешанным соединением потребителей показана на рис. Т.5, в. Расчет такой ЭЦ может быть выполнен на основе приведенных выше соотношений. Так, общее сопротивление ЭЦ может быть вычислено в соответствии с выражением

$$R_{ЭЦ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6, \quad (14)$$

или

$$\text{где } R_{ЭЦ} = \frac{1}{1/(R_2 + R_3) + 1/(R_5 + R_6)}. \quad (15)$$

В соответствии с выражением для баланса мощностей мощность, отдаваемая источником, равна мощности, потребляемой всей ЭЦ и равна сумме мощностей, потребляемых каждым элементом цепи

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6.$$

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электроизмерительные приборы

Методические указания

Методические указания к п. 2.1

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации (см. табл. 5).

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки α прямо пропорционален измеряемому току I : $\alpha = KI$. Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки α здесь пропорционален квадрату тока: $\alpha = KI^2$. Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений.

Для практического использования измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. Предел измерений - это наибольшее значение электрической величины, которое может быть измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора в конце шкалы. Приборы с одним пределом измерения имеют на лицевой панели знак, обозначающий назначение прибора (A, V, mA, μ A, mV, μ V). Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений. Ценой деления прибора (постоянной прибора) называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора легко определяется как отношение предела измерений $A_{ном}$ к числу делений шкалы N :

$$C = A_{ном}/N.$$

На лицевой стороне стрелочных прибора указывается класс точности, который определяет приведенную относительную погрешность прибора $\gamma_{пр}$. Приведенная относительная погрешность прибора - это выраженное в процентах отношение максимальной для данного прибора абсолютной погрешности ΔA к номинальному значению прибора (пределу измерений) $A_{ном}$:

$$\gamma_{пр} = 100\Delta A/A_{ном}\%.$$




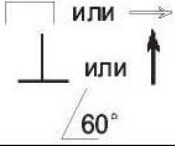


Промышленность в соответствии с ГОСТ выпускает приборы с различными классами точности (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0). Зная класс точности прибора, можно определить допустимую (максимальную) абсолютную ΔA и относительную погрешности измерения $\gamma_{изм}$, а также действительное значение измеряемой величины $A_{д}$:

$$\Delta A = \gamma_{пр}A_{ном}/100;$$

$$\gamma_{изм} = 100\Delta A/A;$$

$$A_{д} = A \pm \Delta A.$$

Таблица 5.

Условное графическое обозначение	Содержание условного обозначения
A, V, W, Ω, Hz, cosφ, F, H	Наименование измеряемой величины (ампер, вольт, ватт, ом, герц, коэффициент мощности, фарада, генри)
	Магнитоэлектрический измерительный механизм
	Электромагнитный измерительный механизм
	Магнитоэлектрический измерительный механизм с выпрямителем
0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0	Класс точности прибора
	Рабочее положение шкалы прибора: горизонтальное; вертикальное; под углом, например 60°
	Прибор предназначен для работы в цепи постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного; в трехфазной цепи переменного тока
A Б В ₁ ; В ₂ ; В ₃	А (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой от +10 °С до +35 °С и влажности до 80 % при 30 °С; Б – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой от –30 °С до +40 °С и влажности до 90 % при 30 °С; В – приборы для полевых и морских условий: В ₁ – при температуре от –40 °С до +50 °С и В ₂ – при температуре от –50 °С до +60 °С и влажности до 95 % при 35 °С; В ₃ – при температуре от –40 °С до +50 °С и влажности до 98 % при 40 °С.
	Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ
30–200 Hz	Рабочий частотный диапазон прибора

Нетрудно сделать вывод, что относительная погрешность измерения тем больше, чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальным значением прибора. Поэтому желательно не пользоваться при измерении начальной частью шкалы стрелочного прибора.

Для обеспечения малой методической погрешности измерения необходимо, чтобы сопротивление амперметра было значительно меньше сопротивления нагрузки, а сопротивление вольтметра было значительно больше сопротивления исследуемого участка.

Методические указания к п. 2.2

Расчетную относительную погрешность измерения в любой точке шкалы прибора можно определить, полагая, что его допустимая абсолютная погрешность ΔA известна и постоянна:

$$\gamma_{\text{изм}} = 100\Delta A/A_{\text{изм}},$$

где $A_{\text{изм}}$ условное измеренное значение величины, задаваемое в пределах шкалы прибора от минимального значения до номинального значения данного прибора. Обратите внимание на значение относительной погрешности измерения, соответствующее предельному значению измеряемой величины, и сравнить его с классом точности прибора.

Методические указания к п. 2.3-2.6

При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые мультиметры - комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. Для проведения конкретного измерения необходимо установить переключателем предполагаемый предел измерений измеряемой величины (ток, напряжение, сопротивление) с учетом рода тока (постоянный или переменный). Представление результата измерения происходит на цифровом отсчетном устройстве в виде обычных удобных для считывания десятичных чисел. Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические индикаторы. На передней панели такого прибора находится переключатель функций и диапазонов. *Этот переключатель используется для выбора функций и желаемого предела измерений.* Для продления срока службы источника электропитания переключатель должен находиться в положении «OFF» в тех случаях, когда прибор не используется.

К техническим характеристикам цифровых приборов, которые необходимо учитывать при выборе относятся:

- диапазон измерений (обычно прибор имеет несколько поддиапазонов);
- разрешающая способность, под которой часто понимают значение измеряемой величины, приходящееся на единицу дискретности, то есть один квант;
- входное сопротивление, характеризующее собственное потребление прибором энергии от источника измерительной информации;
- погрешность измерения, часто определяемая как $\pm(\%$ от считываемых данных + количество единиц младшего разряда).

Мультиметр часто имеет батарейное питание, поэтому перед использованием прибора необходимо проверить батарею электропитания путем включения прибора. Если батарея разряжена, то на дисплее возникнет условное изображение батареи. Мультиметры в данном стенде питаются от выпрямительного устройства, вмонтированного в модуль. Перед проведением измерений необходимо переключатель включения и выбора функций установить в соответствующую позицию. Мультиметры, используемые в стенде, имеют режим автоматического выбора предела измерений при измерении сопротивлений, постоянного и переменного напряжений.

Для предотвращения повреждения схемы прибора входные токи и напряжения не должны превышать указанных величин. *Если предел измеряемого тока или напряжения заранее неизвестен, следует устанавливать переключатель пределов на максимум и затем переключать его вниз по мере необходимости.*

С помощью кнопочного переключателя «Range» можно устанавливать требуемый поддиапазон измерения напряжения, тока, сопротивления вручную. При нажатии на кнопку «Range» можно установить следующие пределы измерений:

- при измерении постоянного напряжения 400,0 мВ; 4,000 В; 40,00 В; 400,0 В; 1000 В;

- при измерении переменного напряжения 400,0 мВ; 4,000 В; 40,00 В; 400,0 В; 750 В;
- при измерении сопротивлений 400,0 Ом; 4,000 кОм; 40,00 кОм; 400,0 кОм; 4,000 МОм; 40,00 МОм.

Нажатие и удерживание кнопки «Range» в течение 2 секунд возвращает прибор в режим автоматического выбора поддиапазона измерений.

При нажатии на кнопку «DATA-HOLD» на дисплее сохранится последнее значение и загорится символ «H» вплоть до нового нажатия на эту кнопку.

Кнопка «= \sim » переключает режим измерения постоянного или переменного тока.

Перед тем как изменить положение переключателя пределов для смены рода работы, необходимо отключить щупы от проверяемой цепи. Никогда не проверяйте сопротивление в цепи, когда включен источник электропитания!

Для измерения **напряжения** подключите один щуп к разъему COM, а другой - к разъему «V/ Ω », установите переключатель функций в положение измерения постоянного «V= \rightarrow » (DC) или переменного «V \sim » (AC) напряжения. Подсоедините концы щупов к измеряемому источнику напряжения. При измерении постоянного напряжения полярность напряжения на дисплее будет соответствовать полярности напряжения на щупе, включенного в гнездо «V/ Ω », относительно второго щупа, включенного в гнездо «COM». При отрицательном значении постоянного напряжения на индикаторе высвечивается символ «-».

Входное сопротивление прибора 10 МОм. Диапазон частот 40-200 Гц для поддиапазона 4В и 40Гц-1 кГц для всех остальных поддиапазонов. Калибровка прибора в действующих (эффективных, среднеквадратических) значениях синусоидального сигнала.

Для измерения *сопротивлений* подключите один щуп к разъему «COM», а второй - к разъему «V/ Ω », установите переключатель функций на « Ω » и подсоедините концы щупов к измеряемому сопротивлению. Когда щупы не подключены, на индикаторе будет индицироваться «OL».

Перед измерением сопротивлений в схеме убедитесь, что схема обесточена и все конденсаторы разряжены.

Лабораторная работа № 2.

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ

1. Цель работы

Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов. Для этого внимательно рассмотреть лицевые панели стрелочных амперметров, обратить внимание на построение измерительной шкалы, условные знаки и заполнить табл. 1.

Таблица .1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА		
Наименование прибора	Амперметр	Вольтметр
Тип прибора		
Система измерительного механизма		
Предел измерения (номинальное значение)		
Цена деления		
Минимальное значение измеряемой величины		
Класс точности		
Допустимая максимальная абсолютная погрешность		
Род тока		
Нормальное положение шкалы		
Прочие характеристики		

2.2. Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины $\gamma_{изм} = f(A_{изм})$ для прибора, указанного преподавателем. Сделать вывод о величине относительной погрешности измерения в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора. Для построения кривой взять 5-6 точек. Последняя расчетная точка должна соответствовать номинальному (предельному) значению измеряемой величины. Красная клемма прибора соответствует «+», черная- «-».

2.3. Ознакомиться с лицевой панелью мультиметра и зарисовать её.

2.4. Подготовить мультиметр для измерения постоянного напряжения. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания) и источник постоянного напряжения. Измерить значения выходных напряжений модуля питания на клеммах «+15 В», «-15 В» относительно общей клеммы. Результаты измерений занести в табл.2. Выключить источник постоянного напряжения.

Таблица .2

Клеммы	+15В	-15В	А	В	С	А-В	В-С	С-А
Измерено								

2.5. Подготовить мультиметр для измерения переменного напряжения. Включить источник постоянного напряжения, затем трехфазный источник питания и мультиметром измерить значения выходных напряжений на клеммах «А», «В», «С», «А-В», «В-С», «С-А». Результаты измерений занести в табл.2. Выключить источник трехфазного напряжения и источник постоянного напряжения.

2.6. Подготовить мультиметр для измерения сопротивлений резисторов. Измерить значения сопротивлений резисторов указанных преподавателем. Результаты занести в табл. 3.

Таблица .3

Резистор	R1	R2	R3	R4
Номинальное значение сопротивления, Ом				
Измерено, Ом				

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные рассмотренных измерительных приборов;
- в) график зависимости относительной погрешности измерений $\gamma_{\text{ИВМ}}(U_{\text{ИВМ}})$;
- г) результаты измерений;
- д) выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
2. Что такое предел измерения?
3. Как определяется цена деления прибора?
4. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
5. Что характеризует класс точности прибора?
6. В какой части шкалы прибора измерения точнее и почему?
10. Каковы основные достоинства цифровых измерительных приборов?

Лабораторная работа №3

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

1. Цель работы

Экспериментальное получение вольтамперных характеристик линейных и нелинейных резистивных элементов, графический расчет нелинейной электрической цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Потенциометр ППБ-3А-150 Ом	1
Лампа накаливания А12 – 1.2 W2*4,6d	1
Резистор 2 Вт 100 Ом	1

2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (источник питания, функциональный генератор, измеритель мощности, мультиметр, цифровые амперметры PA1...PA4, наборное поле и минимодули резисторов).

2.2. Собрать электрическую цепь для снятия вольтамперных характеристик элементов цепи (рис. 1) и предъявить её для проверки преподавателю. В качестве регулируемого источника постоянного напряжения использовать минимодуль потенциометра RP1. В качестве амперметра использовать цифровой прибор. В качестве вольтметра использовать стрелочный прибор.

Предъявить схему для проверки преподавателю.

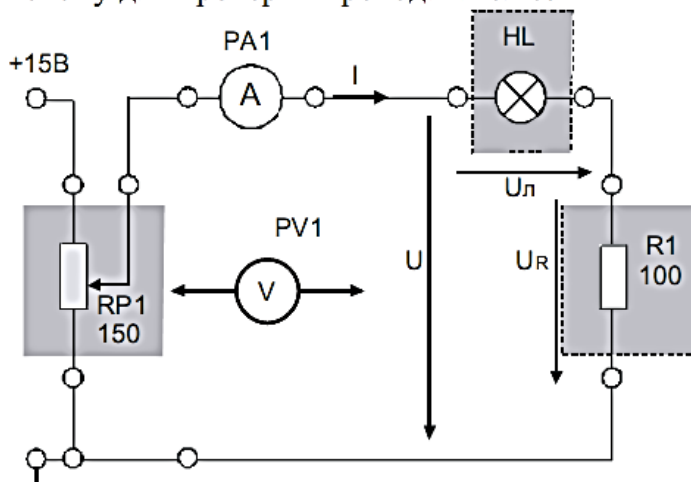


Рис.1

2.3. Снять вольтамперные характеристики лампы накаливания, резистора и всей цепи. Для этого установить ручку потенциометра RP1 в крайнее левое положение. Включить источник питания (выключатель SA3). Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP1, провести необходимые измерения при изменении тока от 0 до 80...100 мА. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник питания. В одной координатной системе построить вольтамперные характеристики цепи, лампы накаливания HL и резистора R1.

Таблица 1

I, A	0									
U, В	0									
U _л , В	0									
U _р , В	0									

2.4. Записать уравнение второго закона Кирхгофа для исследуемой цепи. Используя экспериментальные вольтамперные характеристики резистора и лампы накаливания, построить в той же системе координат расчетную вольтамперную характеристику всей цепи $U_{\text{расч}}=f(I)$ и сравнить её с полученной экспериментально вольтамперной характеристикой цепи $U_{\text{эсп}}=f(I)$.

2.5. Выполнить графический расчет тока и напряжений на отдельных участках цепи по рис. 1. для указанного преподавателем значения входного напряжения. Результаты расчета занести в табл. 2.

Таблица 2

	U, В	U _{нл} , В	U _р , В	I, А
Расчет				
Эксперимент				

2.6. Для проверки расчета нелинейной цепи включить источник питания и установить заданное (расчетное) значение входного напряжения U. Измерить ток I и напряжения U_р и U_{нл} на отдельных участках цепи. Результаты занести в табл. 2.

2.7. Сделать вывод об особенностях применения законов Кирхгофа в нелинейной цепи постоянного тока.

2.8. По указанию преподавателя рассчитать статическое и дифференциальное сопротивления лампы накаливания.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- расчетные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- выводы.

4. Контрольные вопросы

- Что такое «нелинейный элемент» в электрической цепи?
- Привести примеры нелинейных элементов электрических цепей,
- Справедливы ли для нелинейных цепей законы Кирхгофа?
- Как построить вольтамперную характеристику последовательного соединения нелинейных элементов?
- Как построить вольтамперную характеристику параллельного соединения нелинейных элементов?
- Как определяются статическое и динамическое сопротивления нелинейного элемента? Будут ли они одинаковы для разных точек вольтамперной характеристики нелинейного элемента?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При расчете цепей переменного тока, в отличие от цепей постоянного тока, необходимо учитывать не один, а три простейших пассивных элемента: резистивный, индуктивный и емкостной, которые характеризуются соответственно параметрами: активным сопротивлением R , индуктивностью L (индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L$) и емкостью C (емкостным сопротивлением $X_C = 1/\omega C$), где ω – угловая частота.

В реальной цепи сопротивлением обладают не только резистор или реостат как устройства, предназначенные для использования их электрических сопротивлений, но и любой проводник, катушка, конденсатор, обмотка любого электромагнитного элемента и др. Общим свойством всех устройств, обладающих электрическим сопротивлением, является необратимое преобразование электрической энергии в тепловую энергию. При токе i в резисторе, обладающим сопротивлением r за время dt в соответствии с законом Джоуля – Ленца выделяется энергия $dW = r i^2 dt$.

Тепловая энергия, выделяемая в сопротивлении, полезно используется или рассеивается в пространстве. Но поскольку преобразование электрической энергии в тепловую энергию в пассивном элементе носит необратимый характер, то в схеме замещения во всех случаях, когда необходимо учесть необратимое преобразование энергии, включается сопротивление. В реальном устройстве, например, в электромагните, электрическая энергия может быть преобразована в механическую энергию (притяжение якоря), но в схеме замещения это устройство заменяется сопротивлением, в котором выделяется эквивалентное количество тепловой энергии. И при анализе схемы нам уже безразлично, что в действительности является потребителем энергии электромагнит или электроплитка.

В цепях переменного тока сопротивление называют активным, которое из-за явления поверхностного эффекта больше, чем электрическое сопротивление постоянному току. Однако при низких частотах этой разницей обычно пренебрегают.

Напряжение, подведенное к активному сопротивлению, по фазе совпадает с током. Поэтому напряжение и ток одновременно достигают максимальных значений и одновременно переходят через нуль. Если мгновенные значения тока имеет вид $i(t) = I_M \sin(2\pi ft)$, то мгновенное значение напряжения будет

$$u_R(t) = U_M \sin(2\pi ft).$$

Индуктивность L характеризует свойство участка цепи или катушки накапливать энергию магнитного поля. В реальной цепи индуктивностью обладают не только индуктивные катушки как элементы цепи, предназначенные для использования их индуктивности, но и провода, и выводы конденсаторов, и реостаты. В целях упрощения обычно считают, что энергия магнитного поля сосредотачивается только в катушках.

При протекании переменного тока $i(t)$ через катушку индуктивности, состоящей из w витков, возбуждается переменный магнитный поток $\Phi(t)$, который в соответствии с законом электромагнитной индукции наводит в ней же эдс самоиндукции $e_L = -w d\Phi/dt = -L di/dt$. Следовательно, индуктивность в цепи переменного тока влияет на величину протекающего тока как сопротивление. Соответствующая расчетная величина называется индуктивным сопротивлением и обозначается X_L и измеряется так же, как и активное сопротивление – в Омах.

Чем выше частота переменного тока, тем больше эдс самоиндукции и тем больше индуктивное сопротивление $X_L = \omega L = 2\pi f L$. Величина $\omega = 2\pi f$ называется угловой (циклической) частотой переменного тока.

В цепи постоянного тока в установившемся режиме индуктивность не влияет на режим работы цепи, так как э.д.с. самоиндукции равна нулю.

Поскольку э.д.с. самоиндукции возникает только при изменении тока, то и максимальные значения эдс наступают при максимальной скорости изменения тока в катушке, то есть при прохождении тока через нуль. Поэтому на участке цепи с индуктивностью эдс самоиндукции по времени отстает от тока на четверть периода или на $\pi/2$ электрических радиана. Напряжение на индуктивности, будучи противоположным э.д.с., наоборот, опережает ток на четверть периода или на $\pi/2$ электрических радиана. Если по катушке проходит ток, мгновенное значение которого $i(t) = I_M \sin(2\pi ft)$, то мгновенное значение напряжения на индуктивности

$$u_L(t) = U_M \sin(2\pi ft + \pi/2) = X_L I_M \sin(2\pi ft + \pi/2).$$

Когда напряжение, изменяясь синусоидально, достигает максимума, ток в это мгновение равен нулю. Если напряжение на зажимах элемента цепи опережает ток на $\pi/2$ радиана, то говорят, что такой элемент представляет собой идеальную катушку индуктивности или чисто реактивное индуктивное сопротивление X_L . Это сопротивление учитывает реакцию электрической цепи на изменение магнитного поля в индуктивности и является линейной функцией частоты.

При включении в цепь переменного тока реальной катушки (рис. 3), обладающей кроме индуктивности L и некоторым значением активного сопротивления R , ток отстает по фазе от напряжения на некоторый угол $\varphi < \pi/2$, который легко определяется из треугольника сопротивлений (рис. 5): $\operatorname{tg} \varphi = X_L / R$. Для такого участка электрической цепи уравнение на основании второго закона Кирхгофа имеет вид:

$$u = u_R + u_L = Ri + L di/dt.$$

В напряжении, подведенном к реальной катушке, условно можно выделить две составляющих: падение напряжения Ri на активном сопротивлении, обычно называемое активной составляющей приложенного напряжения, и напряжение на идеальной индуктивности $u_L = L di/dt$, называемое реактивной составляющей приложенного напряжения. Фазовые соотношения между этими составляющими,

приложенным напряжением и протекаемым током обычно иллюстрируются векторной диаграммой для их действующих значений (рис. 4).

Из векторной диаграммы видно, что

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ,$$

где $Z = U_M / I_M = U / I = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ – полное электрическое сопротивление реальной катушки. Из треугольника сопротивлений (рис. 5) следует, что

$$R = Z \cos \varphi, X_L = Z \sin \varphi, \varphi = \arctg X_L / R.$$

Закон Ома для цепи, по которой протекает переменный ток, записывается в виде $I = U / Z$.

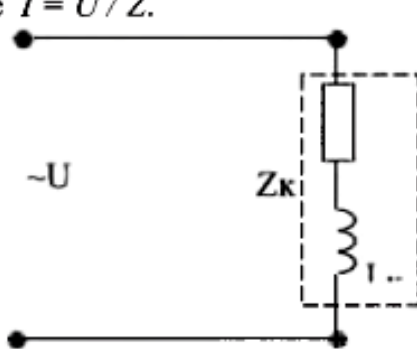


Рис. 3



Рис. 4

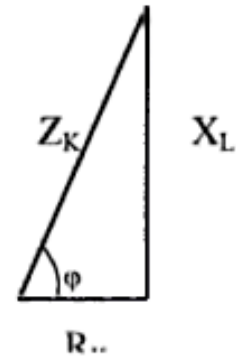


Рис. 5

Из рассмотренного следует важный вывод: *сопротивления в цепи переменного тока складываются в общем случае геометрически*. Например, если у катушки $R=3$ Ома и $X_L = 4$ Ома, то $Z = 5$ Ом.

Емкость, измеряемая в фарадах (Ф), характеризует способность элемента электрической цепи или конденсатора накапливать энергию электрического поля. В реальной цепи емкость существует не только в конденсаторах, как элементах предназначенных специально для использования их емкости, ноли между проводниками, между витками катушек (межвитковая емкость), между проводом и землей или каркасом электротехнического устройства. Однако в схемах замещения принято, что емкостью обладают только конденсаторы.

В конденсаторе, точнее в диэлектрике, разделяющем пластины или проводники конденсатора, может существовать ток электрического смещения, в точности равный току проводимости в проводниках, присоединенных к обкладкам конденсатора: $i = dq / dt$, где q – заряд на обкладках конденсатора, измеряемый в кулонах и пропорциональный напряжению на конденсаторе U_C :

$$q = C U_C \text{ и при } C = \text{const} \quad dq = C dU_C.$$

Тогда ток, проходящий через конденсатор, $i = C dU_C / dt$, а энергия электрического поля, запасаемая в конденсаторе при возрастании напряжения,

$$W = C U_C^2 / 2.$$

Очевидно, что при постоянном напряжении $dU_C / dt = 0$ и постоянный ток через конденсатор проходить не может.

При изменении напряжения на обкладках конденсатора через него протекает емкостной ток. Чем быстрее изменяется напряжение, тем больше емкостной ток.

Если приложить к конденсатору переменное синусоидальное напряжение, то через конденсатор потечет переменный синусоидальный ток, сдвинутый по фазе на $\pi/2$ по отношению к напряжению. Это происходит потому, что емкостной ток достигает максимального значения при максимальном изменении напряжения, т.е. при прохождении напряжения через нуль. Ток при этом опережает напряжение по фазе на $\pi/2$. Если мгновенное значение тока, протекаемого через конденсатор $i(t) = I_M \sin(2\pi ft)$, то мгновенное значение напряжения на нем

$$u_C(t) = U_M \sin(2\pi ft - \pi/2) = X_C I_M \sin(2\pi ft - \pi/2),$$

где X_C – реактивное емкостное сопротивление. Векторная диаграмма для участка электрической цепи, содержащей конденсатор, изображена на рис. 6.

Величина $X_C = 1/2\pi fC = 1/\omega C = U_{Cm} / I_m = U_C / I$ называется реактивным емкостным сопротивлением. Это сопротивление учитывает реакцию электрической цепи на изменение электрического поля в конденсаторе и является обратно пропорциональной функцией частоты.

Закон Ома для участка электрической цепи с конденсатором $I = U_C / X_C$, где I – действующее значение тока, протекаемого через конденсатор, U_C – действующее значение напряжения на конденсаторе.

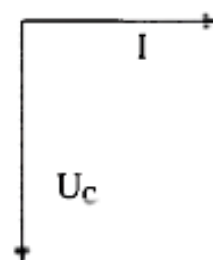


Рис. 6

Электрическая цепь переменного тока характеризуется активной, реактивной и полной мощностью.

Активная мощность P , измеряемая в ваттах (Вт), равна произведению действующего значения напряжения U на действующее значение ток I и на $\cos\varphi$, называемый коэффициентом мощности, или произведению квадрата действующего значения тока на активное сопротивление:

$$P = UI \cos\varphi = I^2 R.$$

Реактивная мощность Q , измеряемая в вольт-амперах реактивных (Вар), равна произведению действующего значения напряжения U на действующее значение тока I и на $\sin\varphi$ или произведению квадрата действующего значения тока на реактивное сопротивление:

$$Q = UI \sin\varphi = I^2 X.$$

Полная мощность S , измеряемая в вольт-амперах (ВА), равна произведению действующего значения тока I на действующее значение напряжения U :

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

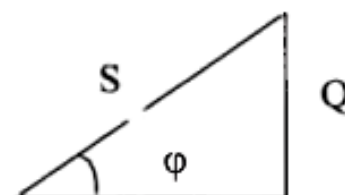


Рис. 7

Соотношения этих мощностей иллюстрируются треугольником мощностей (рис. 7).

Электрическая цепь синусоидального переменного тока с последовательным соединением резистора с активным сопротивлением R , реальной катушки индуктивности с полным сопротивлением $Z_K (R_K, X_K)$ и конденсатора с емкостным сопротивлением X_C (рис. 8) описывается уравнением, записанным по второму закону Кирхгофа для мгновенных значений напряжений на этих элементах:

$$u_R + u_K + u_C = u(t)$$

или в геометрической форме для векторов действующих значений этих напряжений

$$\bar{U}_R + \bar{U}_K + \bar{U}_C = \bar{U}$$

Последнее соотношение говорит о том, что вектор действующего значения напряжения, приложенного к такой цепи, равен геометрической сумме векторов напряжений на отдельных её участках (рис. 9).

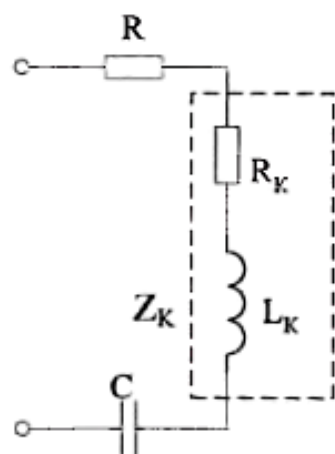


Рис. 8

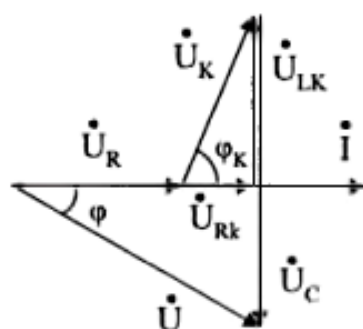


Рис. 9

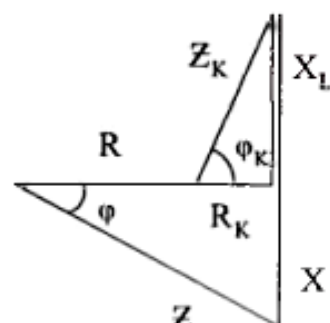


Рис. 10

Из анализа векторной диаграммы для такой цепи следует, что величина входного напряжения U

$$U = \sqrt{(U_R + U_{RK})^2 + (U_{LK} - U_C)^2} = \sqrt{(IR + IR_K)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{(R + R_K)^2 + (X_L - X_C)^2},$$

где U_{RK} , U_{LK} – соответственно активная и реактивная составляющие напряжения на катушке, R_K , X_L – активное и реактивное индуктивное сопротивление катушки индуктивности.

Следовательно, действующее значение тока в этой цепи на основании закона Ома можно определить как

$$I = U/Z = U / \sqrt{(R + R_K)^2 + (X_L - X_C)^2},$$

где $Z = \sqrt{(R + R_K)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(R + R_K)^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ –

полное сопротивление цепи с последовательным соединением резистора, реальной катушки индуктивности и конденсатора, которое легко определяется из многоугольника сопротивлений (рис. 10).

Угол сдвига фаз между входным синусоидальным напряжением U и потребляемым такой цепью током I определяется из треугольника сопротивлений

$$\operatorname{tg} \varphi = (\omega L - 1/\omega C) / (R + R_K).$$

Если $\omega L > 1/\omega C$ и угол $\varphi > 0$, вся цепь ведет себя как цепь с активным сопротивлением и идеальной индуктивностью. Говорят, что в этом случае цепь носит активно-индуктивный характер.

Если $\omega L < 1/\omega C$ и угол $\varphi < 0$, вся цепь ведет себя как цепь с активным сопротивлением и емкостью. Говорят, что в этом случае цепь носит активно-емкостной характер.

Если в цепи реактивное сопротивление равны ($\omega L = 1/\omega C$), то угол $\varphi = 0$. При этом реактивная составляющая напряжения на индуктивности и напряжение на конденсаторе полностью себя компенсируют. Цепь ведет себя, как будто реактивные сопротивления в ней отсутствуют и ток достигает наибольшего значения, поскольку ток ограничивается только активным эквивалентным сопротивлением цепи $R_{\Sigma} = R + R_K$.

Это означает, что в цепи имеет место резонанс, называемый в данном случае *резонансом напряжений*. Резонанс напряжений можно получить изменением частоты источника питания, изменением параметров реактивных элементов, например, подбором значения величины емкости $C = 1/\omega_0^2 L$, где $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ –

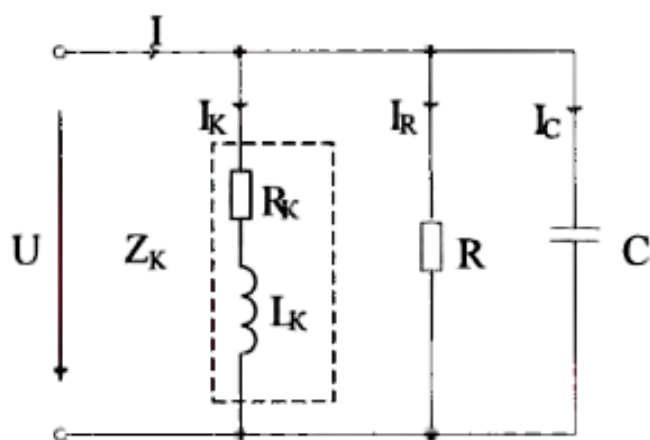


Рис. 11

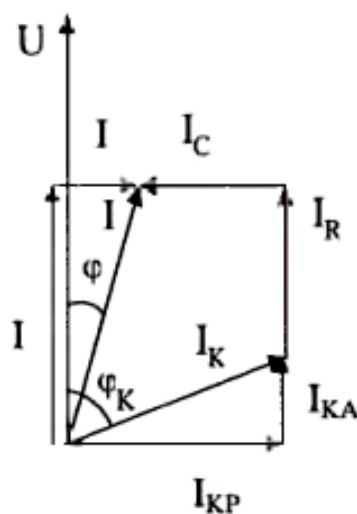


Рис. 12

резонансная частота цепи.

При параллельном соединении элементов получают разветвленную цепь (рис. 11).

При параллельном соединении элементов токи в отдельных ветвях зависят от величины приложенного напряжения и полного сопротивления каждой ветви. При этом ток в ветви с резистором I_R совпадает по фазе с напряжением, ток в ветви с индуктивной катушкой I_K отстает по фазе от напряжения на угол φ , зависящий от активного и реактивного сопротивления реальной катушки индуктивности. Ток в ветви с конденсатором I_C опережает напряжение на 90° (рис. 12). В соответствии с первым законом Кирхгофа общий ток I , потребляемый такой цепью от источника питания, определяется геометрической суммой токов отдельных ветвей: $\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_K + \vec{I}_C$.

Геометрическое построение для определения величины и фазы общего тока представлено на рис. 12, где обозначено:

I_{KA} , I_A – активные составляющие тока в ветви с индуктивной катушкой и общего тока;

I_{KP} , I_P – реактивные составляющие тока в ветви с индуктивной катушкой и общего тока.

Под активной составляющей тока понимают составляющую тока, совпадающую по фазе с приложенным напряжением. Под реактивной составляющей тока – составляющую, расположенную под 90° к приложенному напряжению. Следует помнить, что *активная и реактивная составляющие тока – это условные величины, не имеющие физического смысла в последовательной схеме замещения, но удобные для расчетов.*

Из векторной диаграммы следует, что

$$I_A = I_R + I_{KA}, \quad I_P = I_{KP} - I_C.$$

Следовательно, величина общего тока

$$I = \sqrt{I_A^2 + I_P^2},$$

а угол сдвига фаз между общим током и приложенным напряжением

$$\operatorname{tg} \varphi = I_P / I_A = (I_{KP} - I_C) / (I_R + I_{KA}).$$

Данная векторная диаграмма построена в предположении, что емкостной ток I_C меньше реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_{KP} . Поэтому общий ток отстает по фазе от напряжения. Такая цепь носит активно-индуктивный характер. Если бы емкостной ток I_C был больше реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_{KP} , то ток, потребляемый цепью из сети опережал по фазе приложенное напряжение и цепь носила бы активно-емкостной характер.

При равенстве реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_{KP} и емкостного тока I_C вектор общего тока совпадает по фазе с вектором приложенного напряжения, а его величина определяется только активными составляющими токов $I_A = I_R + I_{KA}$. При этом в цепи наступает явление резонанса токов, так как цепь, содержащая реактивные элементы, ведет себя как цепь с чисто активным сопротивлением. При резонансе токов токи в ветвях с реактивными элементами могут значительно превышать ток, потребляемый от источника питания.

Коэффициентом мощности называют отношение активной мощности к полной мощности:

$$\cos \varphi = P/S.$$

Коэффициент мощности показывает, какая часть электрической энергии, вырабатываемой источником переменного тока (генератором, трансформатором и др.) необратимо преобразуется в другие виды энергии, в частности, используется на выполнение полезной работы. Очевидно, что чем выше $\cos \varphi$, тем больше полезная работа (активная мощность P), совершаемая в электрической цепи при том же потребленном токе и напряжении. Высокий коэффициент мощности предприятий приводит к более полному использованию мощности электростанций и снижению потерь электроэнергии при передаче её потребителю. При низком коэффициенте мощности промышленное

оборудование оказывается загружено по току, но недоиспользовано по активной мощности. Следовательно, не полностью используются генератор, трансформатор, линия электропередачи и другое электротехническое оборудование, которое бесполезно загружается реактивным током. При этом увеличиваются и потери электрической энергии от всех токопроводящих частей.

Зависимость какого либо параметра электрической цепи от частоты протекаемого тока называют частотной характеристикой электрической цепи. Как известно от частоты протекаемого тока зависят реактивные сопротивления элементов электрической цепи. При этом реактивные индуктивные и емкостные сопротивления имеют разные знаки. Очевидно, что при изменении частоты изменяются реактивные сопротивления элементов цепи, и, следовательно, полное сопротивление такой цепи относительно входных выводов. При определенных условиях на определенной частоте реактивные сопротивления могут компенсировать друг друга. Тогда полное сопротивление цепи относительно каких либо двух выводов может оказаться чисто активным. В этом случае в цепи возникает явление резонанса. При резонансе токи в ветвях и напряжения на элементах могут резко отличаться от токов и напряжений при нерезонансном режиме. На этом основана работа электрических фильтров. Под электрическими фильтрами понимают четырехполюсники, составленные из катушек индуктивности и конденсаторов, включаемые между источником питания и нагрузкой, которые из всего спектра частот источника пропускают к приемнику беспрепятственно или пропускают с большим затуханием (задерживают) токи одного или нескольких заданных диапазонов частот.

Электрические фильтры широко применяются в технике проводной связи, в радиотехнике, электронике. Впервые применил электрический фильтр для одновременного телеграфирования и телефонирования по одному проводу русский военный связист капитан Игнатъев Г. Г. в 1881г. Диапазон частот, пропускаемых фильтром без затухания, называют полосой прозрачности (пропускания). Диапазон частот, пропускаемых фильтром с затуханием, называют полосой затухания. Различные комбинации катушек индуктивности и конденсаторов позволяют получать фильтры, различные по своим свойствам. Различают низкочастотные, высокочастотные, полосовые, заграждающие фильтры.

Электрическая цепь при последовательном соединении элементов может иметь три режима:

1) реактивное сопротивление цепи имеет активно-индуктивный характер, при этом $X > 0$, $X_L > X_C$;

2) реактивное сопротивление цепи имеет активно-емкостной характер, при этом $X < 0$, $X_L < X_C$;

3) реактивное сопротивление цепи равно 0 и $X_L = X_C$. В цепи имеет место явления резонанса напряжений.

При этом $X = \omega_0 L - 1/\omega_0 C$; $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$; $\omega_0^2 LC = 1$.

Резонанс можно достичь, изменяя параметры L , C или частоту источника питания ω . При резонансе параметры цепи связаны соотношениями:

$$L = 1/\omega_0^2 C; C = 1/\omega_0^2 L; \omega_0 = 1/\sqrt{LC}.$$

Частоту ω_0 называют резонансной частотой. При этой частоте ток имеет наибольшее значение $I=U/R$. Напряжение на активном сопротивлении равно напряжению на входе цепи, а напряжения на емкости U_C и индуктивности U_L равны по величине и противоположны по фазе.

Если выполняются соотношения $X_{L0} = X_C \gg R$, то напряжения на емкости и индуктивности могут значительно превышать входное напряжение U . Поэтому данное явление получило название резонанса напряжений.

Превышение напряжения на реактивных элементах цепи над напряжением на входных зажимах цепи имеет место при условии

$$R \ll \omega_0 L = 1/\omega_0 C = \sqrt{L/C} = \rho.$$

Величину $\rho = \sqrt{L/C}$ называют волновым или характеристическим сопротивлением контура.

Отношение

$$U_{C0}/U = U_{L0}/U = \omega_0 L/R = 1/\omega_0 C R = L/R \sqrt{LC} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho/R = Q$$

определяет кратность превышения напряжения на зажимах индуктивности и емкостного сопротивления над входным напряжением и называется *добротностью контура*.

Величину, обратную добротности, называют затуханием контура

$$d = 1/Q.$$

Примерный вид частотных характеристик последовательной цепи показан на рис. 13.

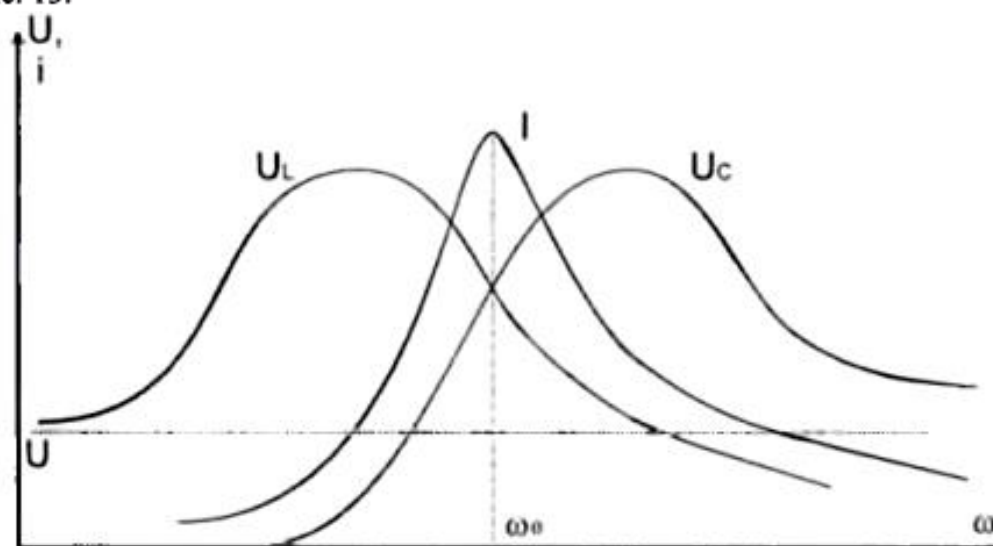


Рис. 13

В цепи, состоящей из параллельно соединенных индуктивностей и емкостей, возможен резонанс токов. В такой цепи справедливы соотношения (в векторном виде)

$$\dot{I} = \dot{U} Y_1 = \dot{U}(g_1 - j b_1); \quad \dot{I}_2 = \dot{U} Y_2 = \dot{U}(g_2 - j b_2); \quad \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{U}(g_1 + g_2) - j U(b_1 + b_2);$$

При резонансе ток \dot{I} совпадает по фазе с напряжением \dot{U} . Это возможно, если $b_1 + b_2 = 0$. При этом

$$b_1 = \frac{\omega L}{R_1^2 + \omega^2 L^2}; \quad b_2 = -\frac{\frac{1}{\omega C}}{R_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}; \quad \frac{\omega_0 L}{R_1^2 + \omega_0^2 L^2} = -\frac{\frac{1}{\omega_0 C}}{R_2^2 + \frac{1}{\omega_0^2 C^2}}.$$

Если сопротивления R_1 и R_2 малы, то соотношения упрощаются:

$$\omega^2 LC = 0; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

В идеальном случае, когда $R_1 = R_2 = 0$, ток в неразветвленной части цепи равен нулю и входное сопротивление стремится к бесконечности. Частотные характеристики при резонансе токов имеют вид, показанный на рис. 14.

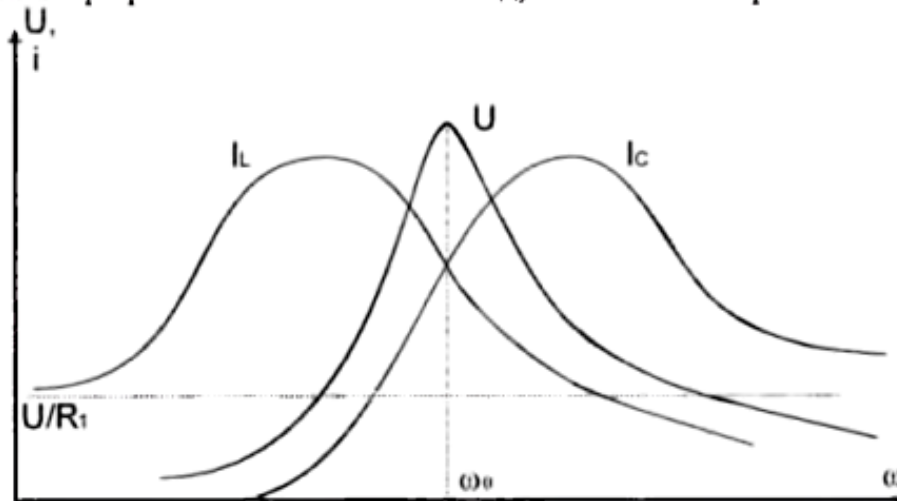


Рис. 14

Полосой пропускания называют диапазон частот $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$, в котором $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$, где $I_0 = U/R$ — ток при резонансе. Чем больше добротность Q , тем уже полоса пропускания.

Добротность может быть вычислена по значениям граничных частот ω_1 , ω_2 или f_1 , f_2 :

$$Q = \omega_0 / (\omega_2 - \omega_1) = f_0 / (f_2 - f_1).$$

На граничных частотах значение тока уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с током при резонансе I_0 .

Благозвучность термина «добротность» объясняется тем, что величина Q определяет избирательные (селективные) и усилительные свойства контура. При существовании на входе контура большого числа сигналов различных частот высокая добротность позволяет выделить на реактивном элементе напряжение одной фиксированной частоты, существенно большее по амплитуде по сравнению с входным сигналом той же частоты.

Реальные реактивные элементы электрических цепей, исследуемые в лабораторной работе, отличаются от идеальных реактивных элементов в основном потерями энергии. Потери энергии в схеме замещения реактивного элемента учитываются резистором, соединенным последовательно или

параллельно с идеальным реактивным элементом. Для используемых в лабораторной работе реактивных элементов потери в индуктивной катушке существенно превышают потери в конденсаторах. Поэтому для относительно низких частот, включая резонансную частоту, потерями в конденсаторе можно пренебречь. Тогда в схемах замещения конденсатор можно представить емкостью C , а индуктивную катушку представить в виде последовательного соединения резистора R и индуктивности L . При этом напряжение на индуктивной катушке обозначается как U_K . Принятую схему замещения катушки необходимо учитывать в ходе эксперимента и при обработке результатов измерений.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ.

1. Цель работы

Приобретение навыков сборки простых электрических цепей и измерения напряжений на отдельных участках цепи, изучение свойств цепей при последовательном соединении активных и реактивных элементов, знакомство с явлением резонанса напряжений, построение векторных диаграмм.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Батарея конденсаторов	1
Дроссель	1
Резистор 2 Вт 47 Ом	1

2. Порядок выполнения работ

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (источник питания, функциональный генератор, измеритель мощности, мультиметр, цифровые амперметры РА1...РА4, наборное поле и минимодули резисторов).

2.2. Собрать электрическую цепь с последовательным соединением элементов, установив минимодули резистора, батареи конденсаторов, дросселя L, используемого в качестве индуктивного потребителя Z_K (рис. 1). Подключить собранную цепь к источнику переменного напряжения (клеммы «А-Н» источника питания). Для измерения напряжений на отдельных участках цепи использовать мультиметр **в режиме измерения переменного напряжения**. Установить переключатель батареи конденсаторов в заданную преподавателем позицию.

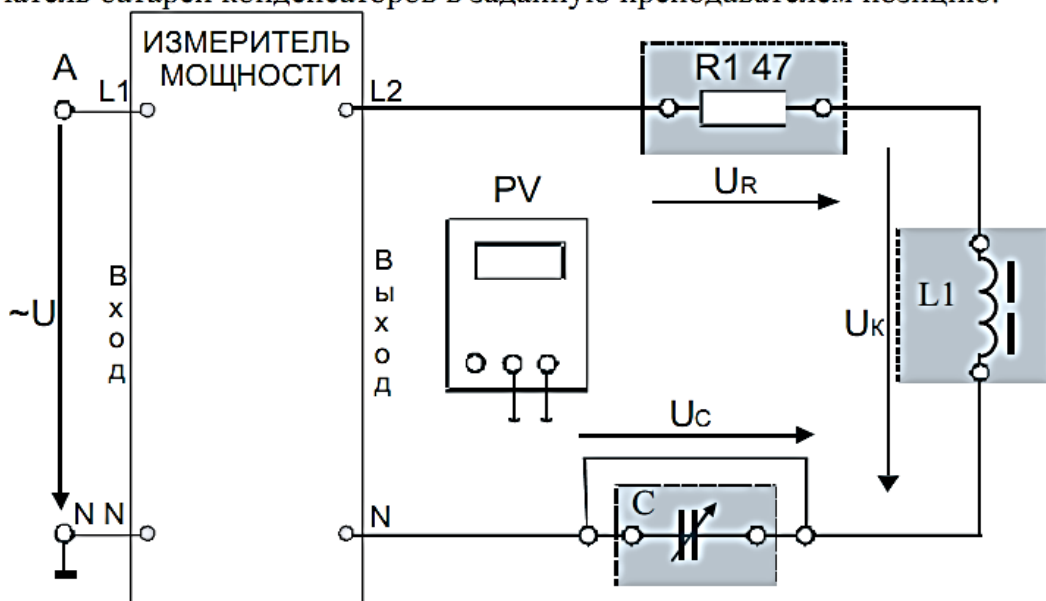


Рис. 1

2.3. Подсоединить параллельно конденсатору дополнительный проводник (исключив этим конденсатор из цепи). Предъявить схему для проверки преподавателю.

2.4. Включить источник питания (выключатель SA3), измеритель мощности (SA2), а также мультиметр в режиме измерения переменного напряжения. Произвести измерения указанных в таблице 1 величин в цепи с последовательным соединением резистора R и индуктивного потребителя Z_K . Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Схема	U, В	I, мА	U _R , В	U _K , В	U _C , В	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	cos φ	φ
Z _K , R										
R, X _C										
R, Z _K , X _C										

2.5. Выключить электропитание, убрать дополнительный проводник, подключенный к конденсатору. Подсоединить параллельно индуктивному потребителю Z_K дополнительный проводник (исключив этим его из цепи). Предъявить схему для проверки преподавателю.

2.6. Включить электропитание и произвести измерения указанных величин для цепи с последовательным соединением резистора R и конденсатора X_C. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить электропитание, убрать дополнительный проводник.

2.7. Включить электропитание и произвести измерения указанных в таблице величин для цепи с последовательным соединением резистора R, конденсатора X_C и индуктивного потребителя Z_K . Результаты измерений занести в табл. 1.

2.8. Изменяя величину емкости батареи конденсаторов, добиться наибольшего значения тока, т.е. обеспечить состояние цепи близкое к резонансу напряжений. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Схема	U, В	I, мА	U _R , В	U _K , В	U _C , В	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	cos φ	φ
R, Z _K , X _{Cрез}										
R, Z _K , X _{C1}										
R, Z _K , X _{C2}										
R, Z _K , X _{C3}										
R, Z _K , X _{C4}										

2.9. Уменьшая и увеличивая величину емкости батареи конденсаторов (от резонансного значения емкости) создать в цепи два режима до резонанса напряжений и два режима после резонанса. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить электропитание.

2.10. Для цепи с последовательным соединением трех элементов (R, Z_K, C) по результатам измерений при резонансе напряжений рассчитать величины, указанные в табл. 3: активные и реактивные мощности отдельных участков P_R и P_K, Q_K и Q_C, коэффициент мощности индуктивного потребителя cos φ_K и угол сдвига фаз φ_K между напряжением на индуктивном потребителе U_K и током, а также полное сопротивление цепи Z, активные сопротивления резистора и индуктивного потребителя R и R_K, реактивные сопротивления индуктивного

потребителя X_K и конденсатора X_C , величину полного сопротивления индуктивного потребителя Z_K . Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

Схема	$P_R,$ Вт	$P_K,$ Вт	$Q_K,$ ВАр	$Q_C,$ ВАр	$\cos\varphi_K$	φ_K	$Z,$ Ом	$R,$ Ом	$R_K,$ Ом	$X_K,$ Ом	$Z_K,$ Ом	$X_C,$ Ом
$R, Z_K, X_{Cрез}$												

2.11. По результатам измерений построить для исследованных цепей в масштабе векторные диаграммы и сделать вывод о характере каждой исследованной цепи.

2.12. Построить зависимости потребляемого тока I , полного сопротивления цепи Z_{Σ} , реактивного сопротивления цепи X_{Σ} , угла сдвига фаз φ в цепи с последовательным соединением трех элементов (R, Z_K, C) от величины емкостного сопротивления X_C : $I = f(X_C)$; $Z_{\Sigma} = f(X_C)$; $X_{\Sigma} = f(X_C)$; $\varphi = f(X_C)$.

2.13. Сделать вывод о применении 2-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему исследуемой цепи;
- таблицы с результатами опытов и вычислений;
- расчетные соотношения;
- векторные диаграммы;
- выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

- Что такое активная, реактивная и полная мощности в цепи переменного тока?
- Какая взаимосвязь между полной, активной и реактивной мощностями?
- Что такое «коэффициент мощности»?
- Как вычислить полное сопротивление катушки, если известны её активное сопротивление, индуктивность и частота сети?
- Как вычислить полное сопротивление цепи с последовательным соединением резистора, реальной катушки и конденсатора?
- От чего зависит угол сдвига фаз между напряжением и током на участке электрической цепи переменного тока?
- Что такое «треугольник сопротивлений»?

Лабораторная работа №5

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ.

1. Цель работы

Ознакомиться с особенностями режимов работы цепи с параллельным соединением активных и реактивных элементов, явлением резонанса токов, повышением коэффициента мощности, применением 1-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Батарея конденсаторов	1
Дроссель	1
Резистор 2 Вт 100 Ом	1
Тумблер	3

2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (источник питания, функциональный генератор, измеритель мощности, мультиметр, цифровые амперметры РА1...РА4, наборное поле и минимодули резисторов).

2.2. Собрать электрическую цепь с параллельным соединением резистора R , индуктивного потребителя Z_K и батареи конденсаторов C (рис. 1). Установить в заданную преподавателем позицию переключатель батареи конденсаторов C . В качестве индуктивного потребителя Z_K использовать дроссель L . Схему предъявить для проверки преподавателю.

2.3. Изучить работу электрической цепи при параллельном соединении различных потребителей (см. табл. 1). Включить электропитание стенда, источник питания и измеритель мощности. Поочередно подключая тумблерами соответствующие ветви, измерить величины, указанные в табл. 1. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник питания.

2.4. Исследовать влияние емкости C , включенной параллельно индуктивному потребителю Z_K , на коэффициент мощности цепи и величину тока I , потребляемого от источника питания. Для этого разомкнуть ветвь с резистором R . Переключатель батареи конденсаторов C установить в позицию «1» ($C=0$). Включить источник питания. При наличии в цепи только индуктивного потребителя Z_K измерить величины, указанные в табл. 2. Установить такое значение емкости батареи конденсаторов, при которой от источника электропитания потребляется минимальный ток I (состояние цепи, близкое к резонансу токов). Измерить величины, указанные в табл. 2. Уменьшая и увеличивая величину емкости батареи конденсаторов (от резонансного значения емкости) создать в цепи два режима до резонанса токов и два режима после резонанса. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить источник питания.

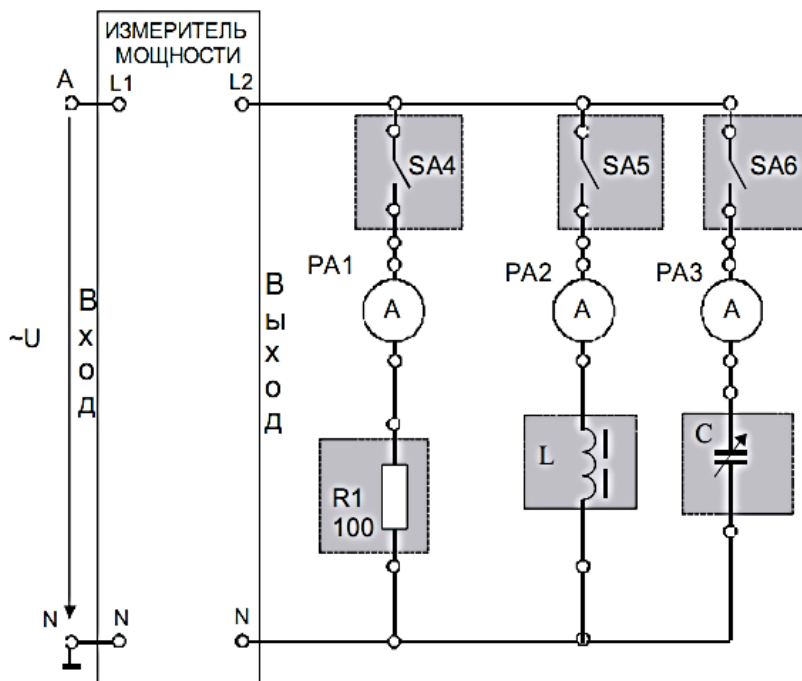


Рис. 1.

Таблица 1

Схема	U, В	I, мА	I _R , мА	I _K , мА	I _C , мА	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	cos φ	φ
Z _K , R										
R, X _C										
R, Z _K , X _C										

2.5. По результатам измерений (табл. 2) рассчитать величину емкостного сопротивления X_C и величину емкости батареи конденсаторов C . Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Схема	U, В	I, мА	I _K , мА	I _C , мА	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	cos φ	φ	X _C , Ом	C, мкФ
Z _K										-----	-----
Z _K , X _{Cрез}											
Z _K , X _{C1}											
Z _K , X _{C2}											
Z _K , X _{C3}											
Z _K , X _{C4}											

2.6. Построить графики зависимостей $\cos \varphi = f(C)$, $I = f(C)$, $I_K = f(C)$, $I_C = f(C)$, $P = f(C)$.

2.7. По опытным данным построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений для каждого опыта.

2.8. Сделать выводы:

- о влиянии параллельно включенных потребителей друг на друга;
- о влиянии конденсатора, подключенного параллельно индуктивному потребителю, на величину тока, потребляемого из сети, активной мощности цепи и коэффициент мощности цепи;
- о применении 1-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока;

3. Содержание отчета

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента и таблицу полученных результатов;
- в) векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- г) выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Как при параллельном включении потребителей определить величину тока, потребляемого из сети?
2. С какой целью повышают коэффициент мощности цепи?
3. Как можно определить коэффициент мощности цепи?
4. Как изменится величина тока, потребляемого из сети, и активная мощность цепи, если параллельно активно-индуктивному потребителю включить конденсатор?
5. Почему уменьшается ток, потребляемый из сети, при подключении параллельно индуктивному потребителю конденсатора?
6. Как применяется 1-й закон Кирхгофа в цепях переменного тока?
7. Как построить векторную диаграмму цепи, которая содержит параллельно включенные индуктивную катушку и конденсатор?
8. Что такое «резонанс токов»? При каком условии он возникает?

2.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ТРЕХФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

Трехфазная система переменного тока имеет ряд преимуществ по сравнению с однофазной системой переменного тока и поэтому получила широкое применение. Чаще всего электрическая энергия вырабатывается, передается и распределяется между потребителями трехфазными системами. Подавляющее большинство электродвигателей является двигателями трехфазного переменного тока.

Чтобы в трехфазной системе можно было одновременно пользоваться двумя различными напряжениями (например, 380 В – для питания электродвигателей и 220 В – для питания электрических ламп и других однофазных потребителей) применяют четырехпроводную систему электроснабжения. Четырехпроводная линия трехфазной системы имеет четыре провода: три линейных, по которым протекают линейные токи I_A , I_B , I_C и один нулевой (нейтральный) провод, предназначенный для поддержания одинаковых значений фазных напряжений на всех трех фазах потребителя. По нулевому проводу может протекать уравнительный ток I_0 , называемый нулевым или нейтральным током. Такая система соединения обмоток трехфазного генератора и приемников (потребителей) называется «звездой» и показана на рис. 15.

При соединении в звезду фазный ток I_ϕ одновременно является и линейным током I_L :

$$I_\phi = I_L.$$

Напряжение между линейными проводами, называемое линейным напряжением (например, U_{AB}), оказывается в $\sqrt{3}$ раз больше, чем фазное напряжение источника питания U_A , U_B или U_C :

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi.$$

Если трехфазная система симметричная (все сопротивления и мощности фазных потребителей одинаковы), то по всем трем фазам протекают одинаковые по величине токи, сдвинутые по фазе относительно друг друга на 120° . Нетрудно сделать вывод, что ток в нейтральном проводе при этом равен нулю.

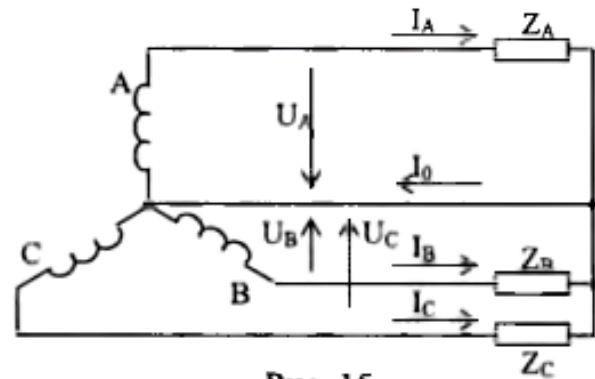
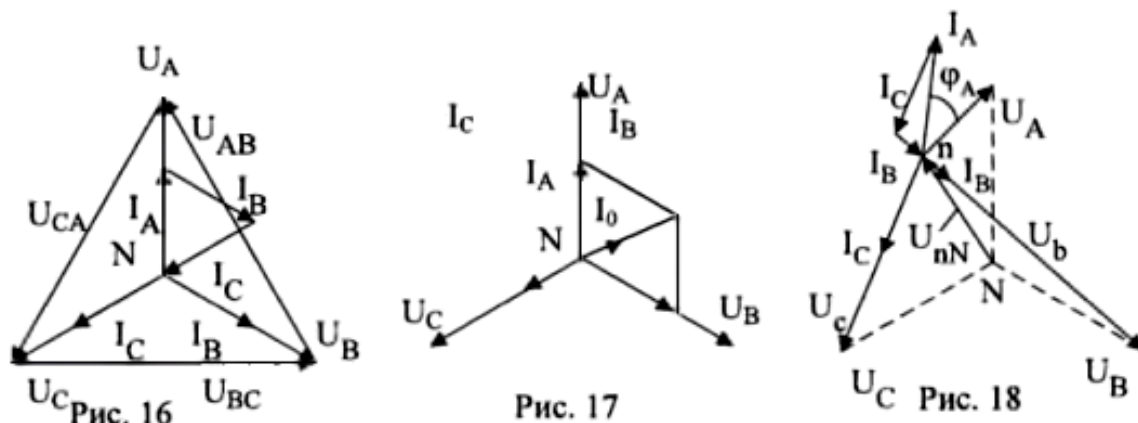


Рис. 15

Напряжения на всех фазах потребителя также отличаются друг от друга только по начальной фазе на 120° (рис. 16).

При включении в разных фазах различных по мощности потребителей (несимметричная нагрузка), токи каждой фазы (в каждом линейном проводе) отличаются друг от друга не только начальной фазой, но и величиной. По нейтральному проводу при этом протекает ток, вектор которого на основании



первого закона Кирхгофа равен геометрической сумме векторов фазных токов (рис. 17)

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = \bar{I}_0.$$

Обрыв нейтрального провода (трехпроводная система) при несимметричной нагрузке приводит к изменению напряжений на всех фазах потребителей и появлению напряжения смещения нейтрали U_{Nn} (рис. 18). Положение точки «n» на векторной диаграмме при измеренных значениях напряжений на фазах потребителей U_{An} , U_{Bn} и U_{Cn} может быть определено методом засечек (рис. 19) или рассчитано аналитически.

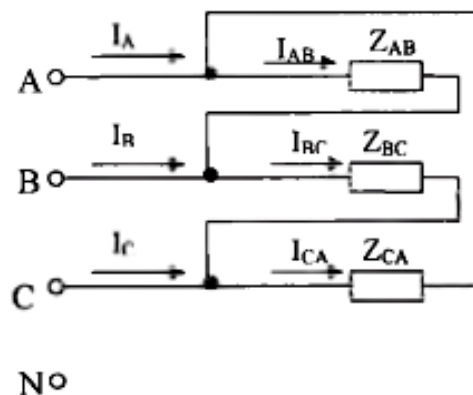
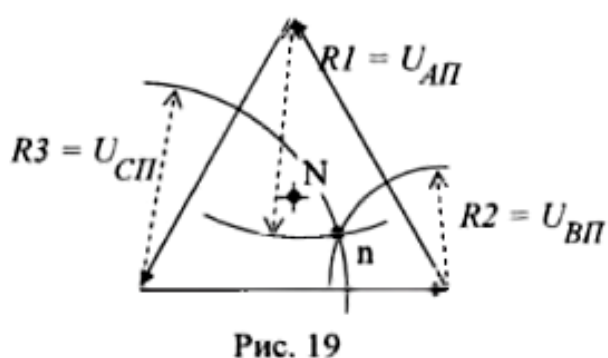


Рис. 20

Потребители электрической энергии при питании от трехфазного источника, как и источники электрической энергии, могут быть соединены в треугольник (рис. 20).

Следует помнить, что схема включения обмоток трехфазного генератора не предопределяет схему соединения нагрузки. Так, при соединении фаз генератора в звезду нагрузка может быть соединена в звезду с нейтральным проводом, в звезду без нейтрального провода или в треугольник.

При соединении в треугольник симметричной трехфазной нагрузки линейные напряжения оказываются равными фазным напряжениям $U_{\phi} = U_L$, а линейные токи в $\sqrt{3}$ раз больше, чем токи в фазах потребителя:

$$I_L = \sqrt{3} I_{\phi}.$$

При этом все фазные токи равны по величине и отличаются друг от друга по фазе на 120° . То же самое относится и к линейным токам (рис. 21).

При несимметричной нагрузке связь между линейными и фазными токами выражается уравнениями, записанными на основании первого закона Кирхгофа в стеной или векторной форме:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}, \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}, \quad \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}.$$

При соединении в треугольник нулевой провод отсутствует, но все фазные потребители в этом случае должны быть рассчитаны на номинальное линейное напряжение.

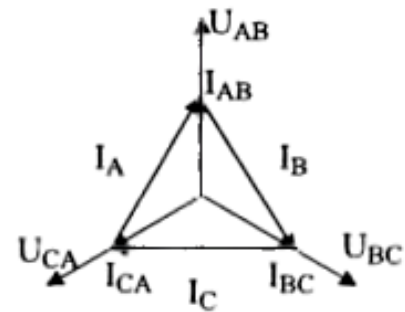


Рис. 21

Лабораторная работа №6
ТРЕХФАЗНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ
ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА».

Время выполнения: 2 часа.

1. Цель работы

Ознакомиться с трехфазными системами, измерением фазных и линейных токов и напряжений. Проверить основные соотношения между токами и напряжениями симметричного и несимметричного трехфазного потребителя. Выяснить роль нейтрального провода в четырехпроводной трехфазной системе. Научиться строить векторные диаграммы напряжений и токов.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 100 Ом	1
Резистор 2 Вт 120 Ом	1
Резистор 2 Вт 150 Ом	3
Тумблер	2

2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (источник питания, функциональный генератор, измеритель мощности, мультиметр, цифровые амперметры PA1...PA4, наборное поле и минимодули резисторов).

2.2. Установить мультиметр в режим измерения переменного напряжения, цифровые амперметры – в режим измерения переменного тока. Включить источник питания (выключатель SA3) и измерить линейные и фазные напряжения трехфазного источника питания на холостом ходу. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник питания.

Таблица.1

Измерено на клеммах источника питания						Вычислено		
Линейные напряжения			Фазные напряжения			U _л , В	U _ф , В	U _л /U _ф
U _{AB} , В	U _{BC} , В	U _{CA} , В	U _A , В	U _B , В	U _C , В			

2.3. Собрать симметричную трехфазную электрическую цепь (рис. 1). Замкнуть тумблеры SA4 и SA5. Предъявить схему для проверки преподавателю.

2.4. Включить источник питания. Измерить токи, фазные и линейные напряжения при включенном нейтральном проводе (тумблер SA5 замкнут). Результаты занести в табл. 2. Проверить соотношение между линейными и фазными напряжениями потребителей.

2.5. Разомкнуть тумблер SA5. Повторить те же измерения при отключенном нейтральном проводе. Результаты занести в табл. 2. Выключить источник трехфазного напряжения.

2.6. Исследовать влияние обрыва линейного провода на режим работы цепи при наличии нейтрального провода. Для этого разомкнуть тумблер SA4 и замкнуть тумблер SA5. Включить источник трехфазного напряжения. Измерить токи и напряжения. Результаты занести в табл. 2. Выключить источник трехфазного напряжения.

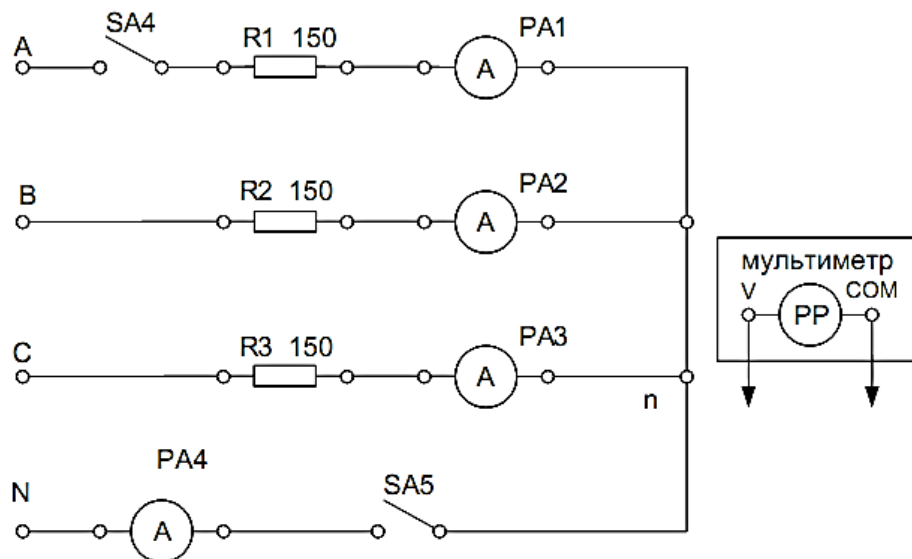


Рис. 1

2.7. Исследовать несимметричную трехфазную цепь. Для этого собрать схему по рис. 2. Предъявить схему для проверки преподавателю. Измерить токи, линейные и фазные напряжения в каждой фазе потребителя при наличии нейтрального провода. Результаты записать в табл. 2.

2.8. Разомкнуть цепь нейтрального провода с помощью тумблера SA4 и вновь измерить токи и напряжения. Результаты записать в табл. 2.

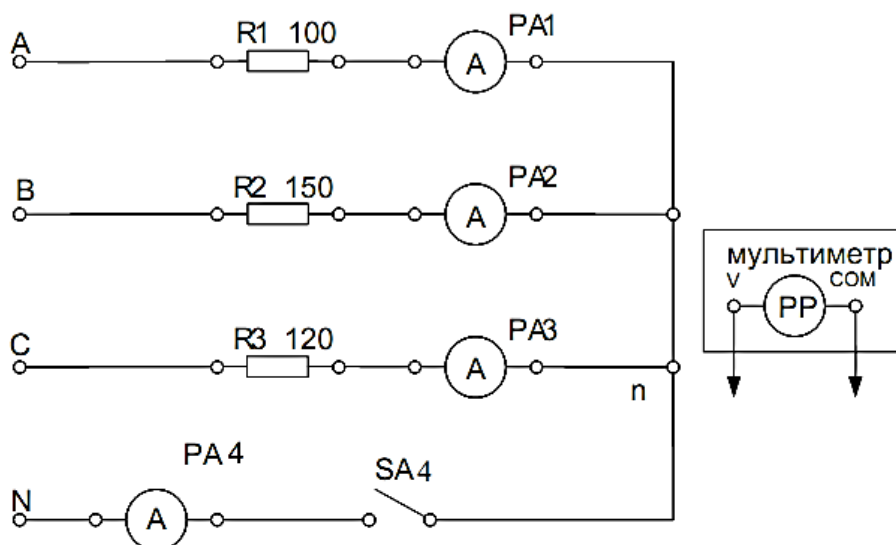


Рис. 2

2.9. По результатам измерений вычислить

- среднее значение линейных напряжений U_L источника питания;
- среднее значение фазных напряжений U_Φ источника питания;
- отношение U_L/U_Φ ;
- среднее значение тока при симметричной нагрузке.

2.10. Для всех проведенных опытов методом засечек построить в масштабе векторные диаграммы.

2.11. Сравнить влияние нейтрального провода на работу трехфазной системы при симметричной и несимметричной нагрузке.

Таблица 2

Режим нагрузки	Токи, мА				Напряжения, В							
	I _A	I _B	I _C	I ₀	Фазные			Линейные			U _{лN}	
					U _{АП}	U _{ВП}	U _{СП}	U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}		
Нейтральный провод включен, нагрузка симметричная												
Нейтральный провод выключен, нагрузка симметричная												
Нейтральный провод включен, обрыв линейного провода												
Нейтральный провод включен, нагрузка несимметричная												
Нейтральный провод выключен, нагрузка несимметричная												

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные электроизмерительных приборов;
- в) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- г) таблицы с результатами эксперимента;
- д) векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- е) вывод о роли нейтрального провода в трехфазной цепи при соединении потребителя по схеме звезда.

4. Контрольные вопросы

1. Какое соединение называется звездой?
2. Каково соотношение между фазным и линейным напряжениями трехфазного источника питания при соединении его обмоток по схеме звезда?
3. Какое соотношение между фазными и линейными токами при соединении в звезду?
4. Как определить величину тока в нейтральном проводе, если известны токи потребителя?
5. Для чего применяют нейтральный провод?
6. К каким зажимам следует подключить вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжение?
7. Какая трехфазная нагрузка называется симметричной?
8. Почему при несимметричной нагрузке обрыв нейтрального провода является аварийным режимом?

Лабораторная работа №7
ТРЕХФАЗНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ
ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК».

Количество часов-2

1. Цель работы

Исследовать особенности работы трехфазной цепи при соединении симметричного и несимметричного потребителей треугольником, усвоить построение векторных диаграмм по результатам эксперимента.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 150 Ом	3
Тумблер	2

2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (источник питания, функциональный генератор, измеритель мощности, мультиметр, цифровые амперметры РА1...РА4, наборное поле и минимодули резисторов).

2.2. Включить источник питания (выключатель SA3). Установить на мультиметре режим измерения переменного напряжения и измерить мультиметром линейные напряжения источника питания на холостом ходу. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник питания. Вычислить среднее значение линейного напряжения U_L .

Таблица 1

$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_L, В$

2.3. В соответствии с рис. 1. собрать схему симметричной трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник. Предъявить схему для проверки.

2.4. Включить источник питания (выключатель SA3). Измерить фазные токи I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} и линейный ток I_A , а также напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

2.5. Разомкнуть с помощью тумблера SA4 линейный провод фазы «В» и измерить фазные токи I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} и линейный ток I_A , а также напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

2.6. Выключить с помощью тумблера SA5 нагрузку в фазе потребителя «СА» и провести измерения. Результаты занести в табл. 2.

2.7. Разомкнуть с помощью тумблера SA4 линейный провод фазы «В» и с помощью тумблера SA2 нагрузку в фазе потребителя «СА». Измерить фазные токи I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} и линейный ток I_A , а также напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

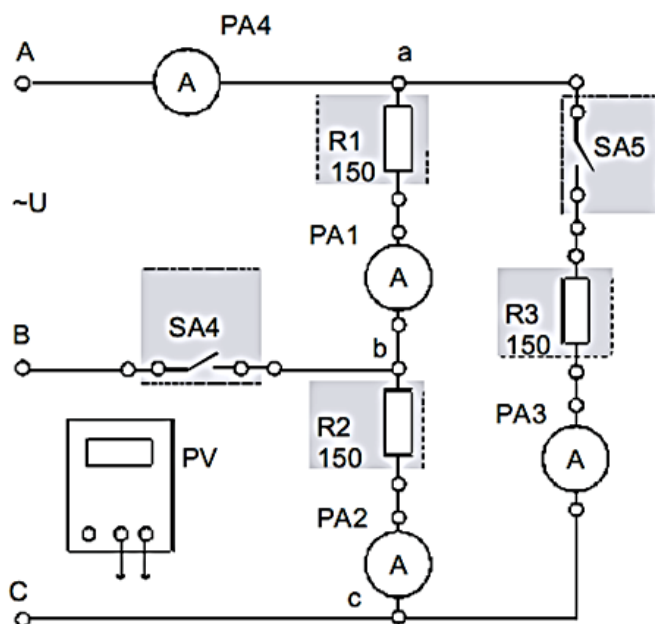


Рис. 1

Таблица 2

Режим нагрузки	Ток нагрузки, мА						Напряжение на фазах потребителя, В		
	I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}
Симметричная нагрузка									
Обрыв линейного провода «В»									
Обрыв фазы потребителя «СА»									
Обрыв фазы потребителя «СА» и обрыв линейного провода «В»									

2.8. Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы.

2.9. По векторным диаграммам определить для исследованных режимов линейные токи I_B и I_C .

2.10. Сравнить результаты измерений линейных и фазных токов при соединении потребителя в треугольник для исследованных режимов.

2.11. Проанализировать влияние обрывов линейного и фазного проводов на режимы работы потребителей.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- технические данные электроизмерительных приборов;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- выводы по работе.

Лабораторно-практическая работа №8

МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ

Цель работы: получение навыков определения характеристик ферромагнитных материалов и исследование некоторых свойств магнитных цепей.

Время выполнения: 2 часа.

Пояснение к работе:

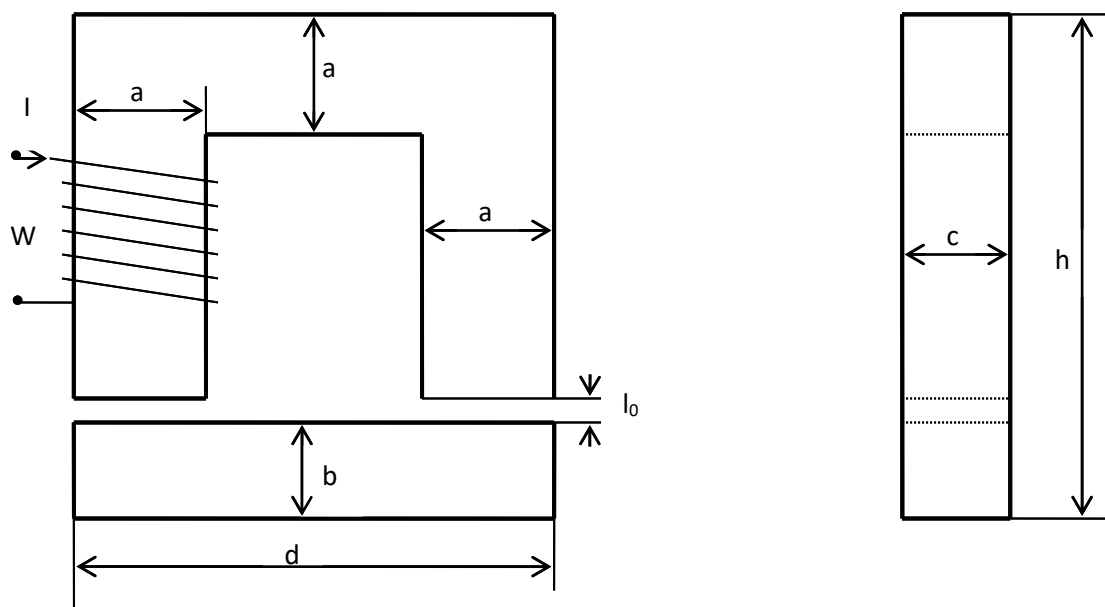
Работа выполняется после изучения теоретического материала по теме “Основные законы магнитной цепи. Простейшие магнитные цепи”. На рисунке изображена магнитная цепь электромагнита. В таблице 1 в соответствии с номером личного варианта приведены размеры магнитопровода. Наименования ферроматериалов, использованных для изготовления магнитопровода, значения тягового усилия F_T , которое должен обеспечить электромагнит, указаны в таблице 2 в соответствии с номером группового варианта. Кривые намагничивания ферроматериалов приведены в табл. 12. Для всех вариантов обмотка электромагнита имеет число витков $W=1000$.

Вопросы для предварительной подготовки:

1. Для чего сердечники электрических машин и аппаратов изготавливают из ферромагнитных материалов?
2. Дать понятие об однородной и неоднородной, разветвленной и неразветвленной магнитной цепи.
3. Закон полного тока для однородной и неоднородной магнитной цепи.
4. Алгоритм решения прямой и обратной задачи для однородной магнитной цепи.
5. Алгоритм решения прямой задачи для неоднородной магнитной цепи.
6. Алгоритм решения обратной задачи для неоднородной магнитной цепи
7. Как изменится индуктивность катушки при уменьшении длины воздушного зазора?
8. Как изменится ток в катушке при увеличении длины воздушного зазора?
9. Как изменится магнитный поток в сердечнике, если воздушный зазор заполнить прокладкой из ферромагнитного материала?
10. Как нужно изменить магнитодвижущую силу катушки, чтобы сохранить неизменным магнитный поток при увеличении длины воздушного зазора?
11. Как изменится индуктивность катушки, если в воздушный зазор положить ферромагнитную пластину?

Задание для выполнения:

1. Изобразить в масштабе заданную магнитную цепь электромагнита, указать её размеры, ферроматериалы.
2. Для данного электромагнита определить величину электрического тока I , обеспечивающую заданное значение тягового усилия F_T .
3. Определить магнитное сопротивление R_m магнитопровода при вычисленном выше значении электрического тока.
4. Определить индуктивность L катушки электромагнита для рассчитанного выше режима его работы.



Порядок выполнения работы:

1. Тяговое усилие F_T (Н), приходящее на один воздушный зазор электромагнита, рассчитывать по приближенной формуле

$$F_T = \frac{(B_0)^2}{2\mu_0} \cdot S_0,$$

Где B_0 – индукция в воздушном зазоре, Тл;

S_0 – площадь воздушного зазора, м²;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость воздуха.

2. Значения магнитного сопротивления R_M (1/(Ом·с)) и индуктивности катушки L (Гн) можно определить, пользуясь следующими соотношениями:

$$R_M = \frac{W \cdot l}{\Phi};$$

$$L = \frac{W \cdot \Phi}{I} = \frac{W^2}{R_M}$$

Таблица 1. Геометрические размеры магнитной цепи

Номер варианта	Размеры магнитопровода, мм					
	a	b	c	d	h	l_0
1	2	3	4	5	6	7
1	16	18	15	80	80	1,8
2	18	21	20	70	90	1,8
3	20	18	18	80	90	1,7
4	18	21	20	80	90	1,65
5	17	20	30	80	90	1,65
6	16	16	15	70	100	1,65
7	19	24	20	70	110	1,60
8	20	20	20	80	80	1,80
9	18	20	15	70	80	1,90
10	24	20	20	90	100	1,50

Таблица 2. Материалы магнитной цепи

Номер варианта	Материал		
	Верхней части магнитопровода	Нижней части магнитопровода	F _т , Н
1	Чугун	Литая сталь	30
2	Чугун	Сталь Э42	50
3	Литая сталь	Сталь Э42	100
4	Литая сталь	Сталь Э310	125
5	Литая сталь	Пермендюр	150
6	Сталь Э42	Сталь Э310	175
7	Сталь Э42	Пермаллой	200
8	Сталь Э310	Пермаллой	225
9	Сталь Э310	Пермаллой	250
10	Пермаллой	Пермаллой	275

Таблица 3. Кривые намагничивания материалов

Напряжённость магн. поля, а/м	Магнитная индукция, Тл					
	Чугун	Литая сталь	Эл.техн. сталь Э310	Эл.техн. сталь Э42	Пермаллой	Пермендюр
50	0,03	0,12	0,50	0,28	0,95	0,5
100	0,06	0,22	1,00	0,43	1,00	1,00
150	0,08	0,33	1,22	0,61	1,16	1,42
200	0,11	0,43	1,25	0,70	1,21	1,6
300	0,16	0,60	1,33	0,85	1,27	1,84
400	0,20	0,72	1,37	0,96	1,31	1,95
600	0,27	0,90	1,44	1,12	1,37	2,08
1000	0,38	0,10	1,52	1,25	1,46	2,20
2000	0,55	1,33	1,60	1,38	1,55	2,31
3000	0,65	1,45	1,66	1,44	1,60	2,33
4000	0,70	14,53	1,71	1,69	1,65	2,36
5000	0,73	1,60	1,77	1,55	1,70	2,43
6000	0,75	1,61	1,82	1,60	1,75	2,46

3. Записать выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое магнитная цепь? Из каких частей она состоит?
2. Что такое МДС? Как определяется ее направление?
3. Как формулируются и записываются законы Кирхгофа для магнитной цепи?
4. Как строится электрический аналог (эквивалентная схема) магнитной цепи?
5. Как зависит величина магнитного потока от длины воздушного зазора? Ответ обосновать формулами.

@@ Дополнительные сведения:

Пермендюр, пермендур [англ. permendur, от perme (ability) — проницаемость и dur (able) — прочный], сплав железа с кобальтом (48—50%), обычно с добавкой ванадия (до 2%), характеризующийся высокой намагниченностью насыщения и повышенной магнитной проницаемостью m при больших индукциях. Относится к магнитно-мягким материалам. Разработан в США в конце 20-х гг. 20 в. П. превосходит железо и электротехническую сталь по значениям m в полях, превышающих 4 а/см (m в поле 4 а/см — свыше 4000), намагниченности насыщения (2,40—2,45 тл), точке Кюри (980 °С). П. применяется для изготовления полюсных наконечников электромагнитов, мембран телефонов, роторных пластин малогабаритных электродвигателей и т.д.

Методические указания предназначены для проведения лабораторно-практических занятий по курсу основы электроники.

Для проведения лабораторных работ по электронике используется моноблок «Основы электроники», представленный на рисунке 1.

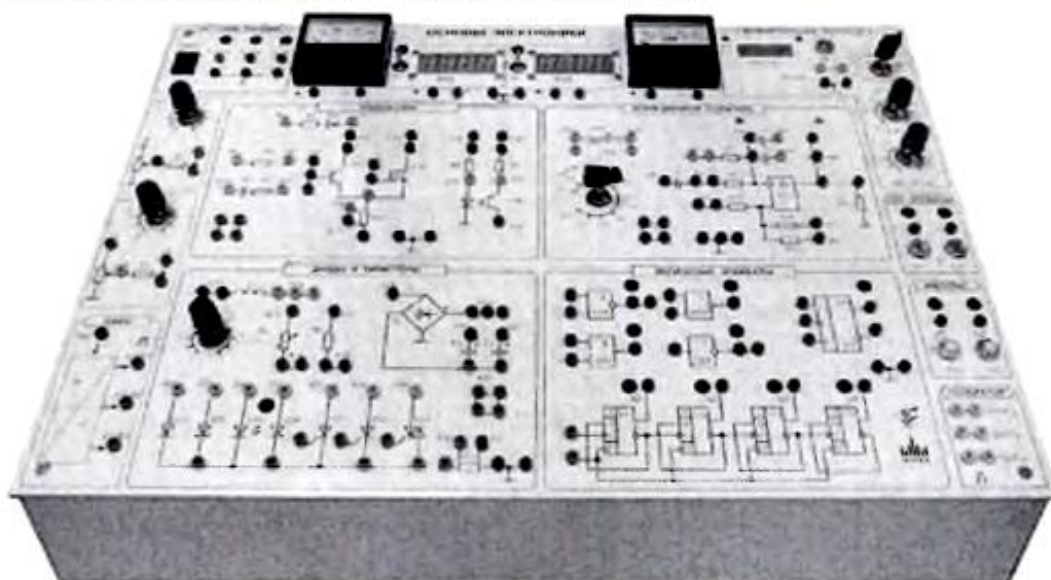


Рис. 1

Моноблок включает в себя:

- 1) модуль питания, обеспечивающий ввод однофазного напряжения ~ 220 В, получение низковольтного переменного напряжения ~ 12 В и постоянных напряжений питания $+12$ В и -12 В.
- 2) измерительные приборы, позволяющие:
 - выполнять стрелочными приборами измерения постоянного тока;
 - выполнять с помощью цифровых приборов измерения напряжения в цепях постоянного и переменного тока;
 - обеспечивать с помощью функционального генератора подачу измерительных сигналов синусоидальной и прямоугольной формы к исследуемому устройству;
- 3) регуляторы напряжений $RP1$ и $RP2$, позволяющие изменять подаваемые на них от источника питания напряжения без ограничения либо с ограничением тока (резисторами $R1$ и $R2$) в зависимости от исследуемой схемы;
- 4) систему импульсно-фазового управления (СИФУ) для управления тиристорами и симистором;
- 5) для работы с логическими элементами в моноблоке предусмотрены блоки логических уровней («0» и «1»), импульсов (единичного и нулевого) и генератор положительных импульсов различных частот;
- 6) собственно блок-схемы:
 - диоды и тиристоры;
 - транзисторы;
 - операционный усилитель;
 - логические элементы.

Лабораторная работа №9
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ

Время выполнения – 2 часа

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительного, Шоттки, стабилитрона и светодиода.

2. Задание и методические указания

Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «р-п переход», «Диоды» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

3. Экспериментальное исследование выпрямительного диода

а) собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой рис. 1. Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока с пределом 100 мА. Для измерения анодного напряжения использовать мультиметр. Последовательно с диодом включить токоограничивающий резистор R_H .

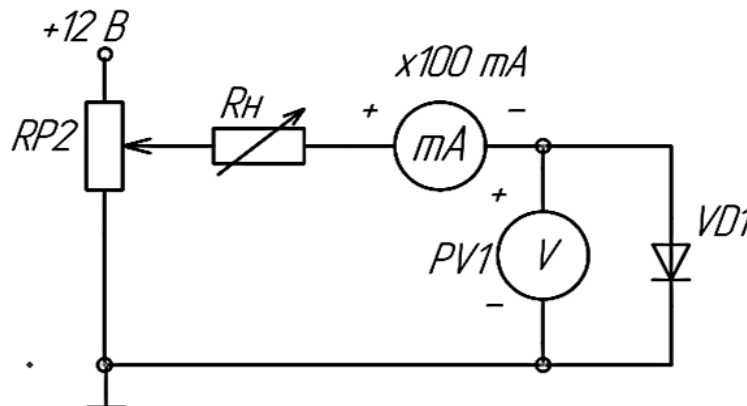


Рис. 1

Снять вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви (рис. 1); для снятия характеристик регулировать напряжение на выходе потенциометра; результаты измерений занести в таблицу, по которой построить прямую ветвь ВАХ;

б) собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ VD1, подключив к RP2 источник -12 В и заменив миллиамперметр, поменяв также его полярность подключения (рис. 2); снять обратную ветвь ВАХ диода;

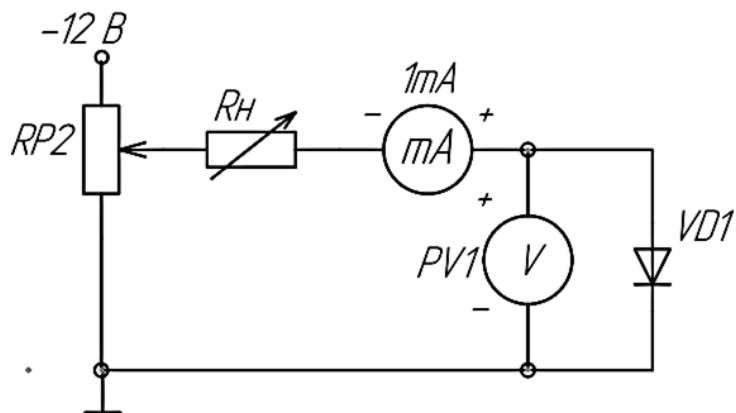


Рис. 2

в) определить параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии U_{am} при максимальном анодном токе I_{amax} , пороговое напряжение U_0 и дифференциальное сопротивление r_d ;

г) собрать схему для получения ВАХ диода на экране осциллографа. Исследование выпрямительного диода выполняется на переменном токе в соответствии с принципиальной схемой рис. 3. Вход Y (CH2) осциллографа подключить к шунту RS2, а корпус осциллографа (\perp) соединить с общим проводом (\perp). Вход X (CH1) осциллографа подключить к аноду диода. При этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Светящуюся точку на экране осциллографа поместить в начало координат. Подать питание. Зарисовать ВАХ диода, определить масштабы по току и напряжению;

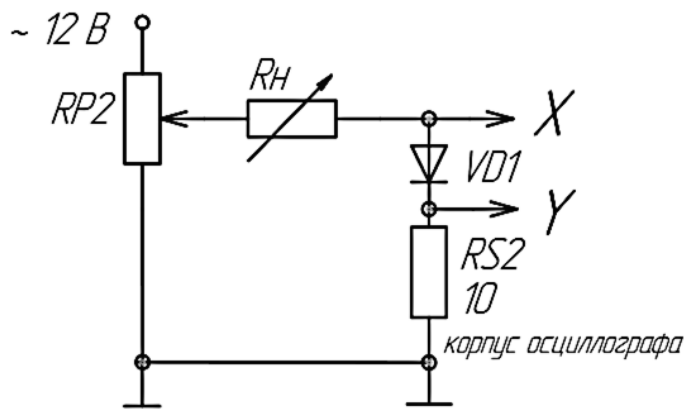


Рис. 3

д) определить по осциллограмме параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии U_{am} при максимальном анодном токе I_{amax} , пороговое напряжение U_0 и дифференциальное сопротивление r_d , сравнить с результатами, полученными на постоянном токе;

4. Экспериментальное исследование диода Шоттки

Выполнить пункты 2а, в для диода Шоттки, используя схему рис. 1. ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.3. Сравнить ВАХ и параметры диода Шоттки с параметрами и ВАХ обычного выпрямительного диода.

5. Экспериментальное исследование стабилитрона

Выполнить пункты 2а, б, г для стабилитрона, включив в схему резистор R_b . ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.3. Сравнить ВАХ стабилитрона и ВАХ обычного выпрямительного диода. По ВАХ, снятым на постоянном и переменном токе, определить напряжение стабилизации $U_{ст}$ и дифференциальное сопротивление $r_{дст}$ (на участке стабилизации), сравнить результаты.

6. Экспериментальное исследование светодиода

Собрать схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода на постоянном токе подобно рис. 1, заменив VD1 на VD3, и подключив в качестве токоограничивающего резистора $R_b = 1\text{кОм}$; снять ВАХ и построить ее на том же рисунке, что и в п.3. Определить ток, при котором становится заметным свечение.

7. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) ответы на контрольные вопросы.

8. Контрольные вопросы:

1. Какие приборы строятся на базе одного p-n – перехода?
2. Перечислите и охарактеризуйте основные виды полупроводниковых диодов.
3. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?
<https://www.sites.google.com/site/sluzebnyjdom/elektronika-1/elektronika/vypramitelnye-diody>
4. Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде?
5. От чего зависит яркость свечения светодиода?
<https://svetilnik.info/svetodiody/ot-chego-zavisit-yarkost-svecheniya-svetodioda.html>

Лабораторная работа №10

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Время выполнения- 1 час

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса “Транзисторы” и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

3. Экспериментальное исследование характеристик биполярного транзистора

а) собрать схему для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора (рис.1). Для измерения тока базы подключить миллиамперметр РА1 (до 1 мА), а для измерения тока коллектора подключить РА2 (до 100 мА). Для измерения напряжения на коллекторе использовать вольтметр PV1; в качестве резистора в цепи коллектора использовать резистор RP3 (по указанию преподавателя);

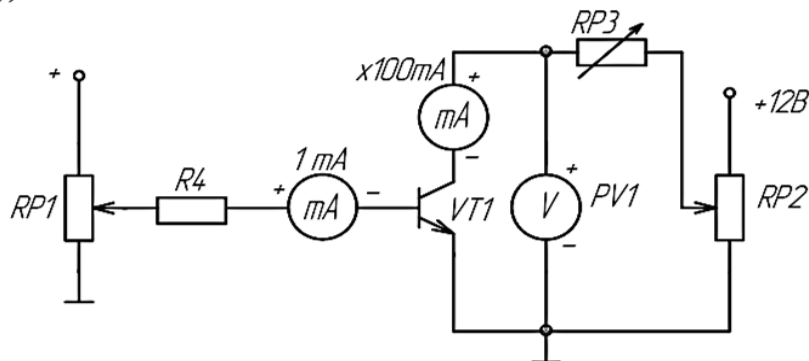


Рис. 1

б) снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_k=f(I_b)$ при U_k , равном заданному значению E_k и $R_k=0$. Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график. При снятии характеристики следить за постоянством напряжения U_k по вольтметру;

в) снять характеристику прямой передачи по току при наличии заданного сопротивления нагрузки R_k (рис. 1). С помощью потенциометра RP1 установите ток базы, равный нулю, а с помощью потенциометра RP2 установите заданное значение E_k . В дальнейшем ручку регулировки RP2 не трогать. В области вблизи насыщения точки снимать чаще;

г) по построенной в п.2в характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{b\max}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа. Собрать схему в соответствии с рис. 2. Вход Y (CH2) осциллографа подключить к шунту $R_{ш}$, а корпус осциллографа (\perp) соединить с общим проводом (\perp). Вход X (CH1) осциллографа подключить к коллектору. При этом переключатель развёртки осциллографа должен быть приведен в положение X/Y. Установить потенциометр RP1 в крайнее левое положение, соответствующее минимальному сопротивлению. Включить питание. Изменять ток базы от 0 до максимума (но не более 1 мА), пронаблюдать семейство выходных характеристик; зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений тока базы: $I_{б1} = 0$; $I_{б2} = 0,5 I_{б \max}$; $I_{б3} = I_{б \max}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

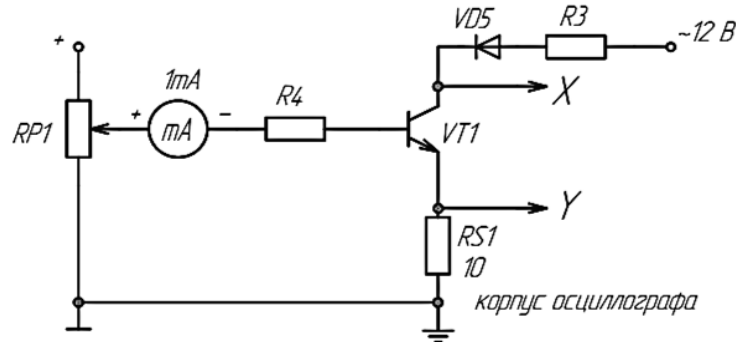


Рис. 2

4. Содержание отчета

1. Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
2. Схема лабораторной установки.
3. Заполненные таблицы 1 и 2.
4. Входные и выходные характеристики исследованного транзистора.
5. Сделать выводы по работе.

5. Контрольные вопросы:

1. Каков принцип действия транзистора?
2. Какие существуют схемы включения транзисторов?
3. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых транзистору типа n-p-n при различных схемах включения?
4. Что вы знаете о ключевом режиме?
5. Как выглядят выходные и входные статические характеристики в схеме с общим эмиттером?

Лабораторная работа №11
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА.

1. Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы полевого транзистора с изолированным затвором и каналом n-типа и усилительного каскада с общим истоком.

2. Задание и методические указания

Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Полевой транзистор» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) начертить принципиальные схемы для снятия характеристик полевого транзистора в соответствии с заданным подвариантом;

3. Экспериментальное исследование характеристик полевого транзистора, включенных по схеме с общим истоком (ОИ)

а) собрать схему для снятия характеристик полевого транзистора (рис. 1).

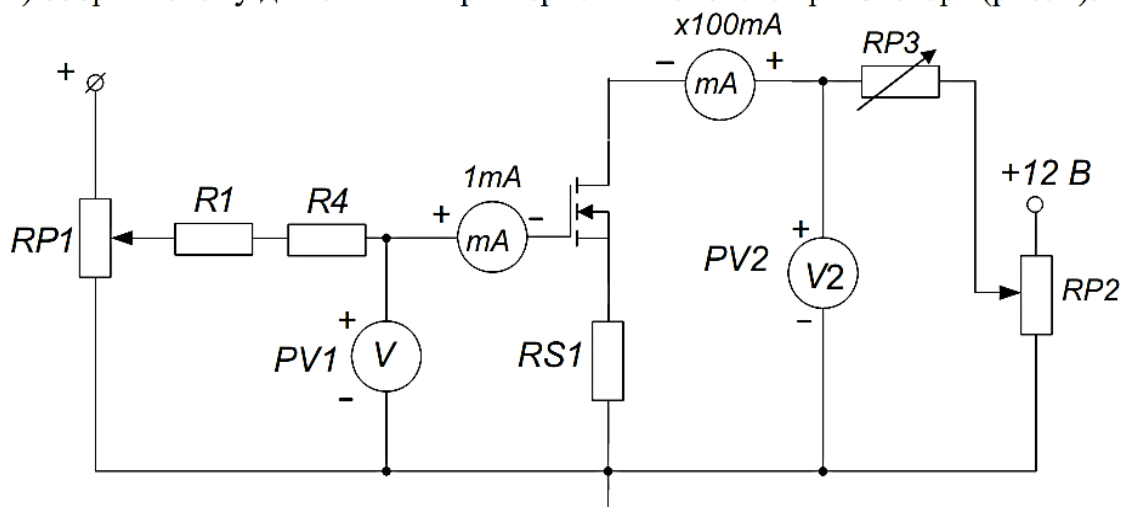


Рис. 1. Схема для снятия характеристик полевого транзистора

б) снять стокзатворную характеристику $I_c = f(U_3)$ при напряжении на стоке U_c равном заданному значению U_2 и $RP3 = 0$, используя схему на рис. 1. Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график. Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения при помощи потенциометра $RP1$, снять стокзатворную характеристику при отсутствии нагрузки (закороченном $RP3$). При снятии характеристики убедитесь, что ток затвора I_3 мал. На начальном участке характеристики точки снимать чаще;

в) снять стокзатворную характеристику при наличии нагрузки $RP3$.

Ручку потенциометра $RP1$ установить на «0». С помощью переключателя установите заданное значение резистора $RP3$, а при помощи потенциометра $RP2$ – заданное значение U_2 . В дальнейшем ручку регулировки $RP2$ не трогать.

Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения при помощи потенциометра $RP1$, снять стокзатворную характеристику при наличии нагрузки. На начальном участке характеристики и вблизи перехода в область насыщения точки снимать чаще. Выключить тумблер «Питание»;

г) по построенной в п. 2 в характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальное напряжение на затворе $U_{з.мах}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа, используя схему на рис. 2.

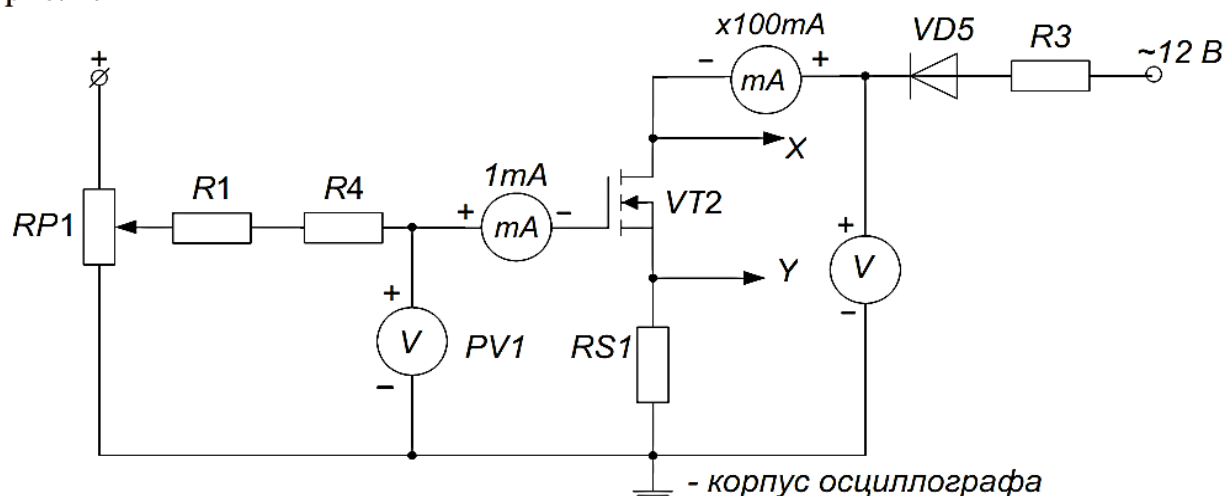


Рис. 2 Схема для снятия выходных статических ВАХ при помощи осциллографа

Подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы. Перевести переключатель развертки осциллографа в положение X/Y . Установить точку на экране осциллографа в левом нижнем углу. Установить потенциометр $RP1$ в крайнее левое положение. Включить питание модуля. Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения, пронаблюдать семейство выходных характеристик. Зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений напряжения на затворе: $U_{з(1)} = 2\text{ В}$, $U_{з(2)} = 0,5 \cdot (U_{з(1)} + U_{з.мах})$ и $U_{з(3)} = U_{з.мах}$.

Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований: таблицы, экспериментально снятые и построенные характеристики, обработанные осциллограммы;

г) при оформлении отчета *определить и рассчитать*:

– крутизну стокзатворной характеристик при отсутствии нагрузки $S = \Delta I_c / \Delta U_з$ и при наличии нагрузки $S' = \Delta I_c' / \Delta U_з$. Расчет проводить на линейном участке стокзатворной характеристики ;

– дифференциальное сопротивление транзистора $r_d = \Delta U_c / \Delta I_c$ при $U_з = \text{const}$ с использованием выходных статических ВАХ транзистора.

Контрольные вопросы:

1. Каков принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором?
2. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к полевому транзистору с изолированным затвором и каналом n -типа, в усилительном каскаде с общим истоком?
3. Как выглядят выходные и стокзатворные статические характеристики в схеме с общим истоком?
4. Что такое статическая стокзатворная характеристика? Как ее построить? Как она видоизменяется при наличии нагрузки? Как ее снять?
5. Можно ли в лабораторной работе снять стокзатворную характеристику полевого транзистора при помощи осциллографа?

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНЗИСТОРАХ

Биполярный транзистор представляет собой трехэлектродный полупроводниковый прибор с двумя электронно-дырочными переходами, имеет три вывода и предназначен для усиления и генерирования электрических сигналов.

Основным элементом транзистора является кристалл германия или кремния, в котором с помощью соответствующих примесей созданы три области (слоя) с различными типами проводимости. В германиевом транзисторе (рис. 1, а) обычно два крайних слоя обладают дырочной проводимостью (p -области), а внутренний слой имеет электронную проводимость (n -область), в соответствии с чем такой транзистор называется полупроводниковым триодом типа $p-n-p$.

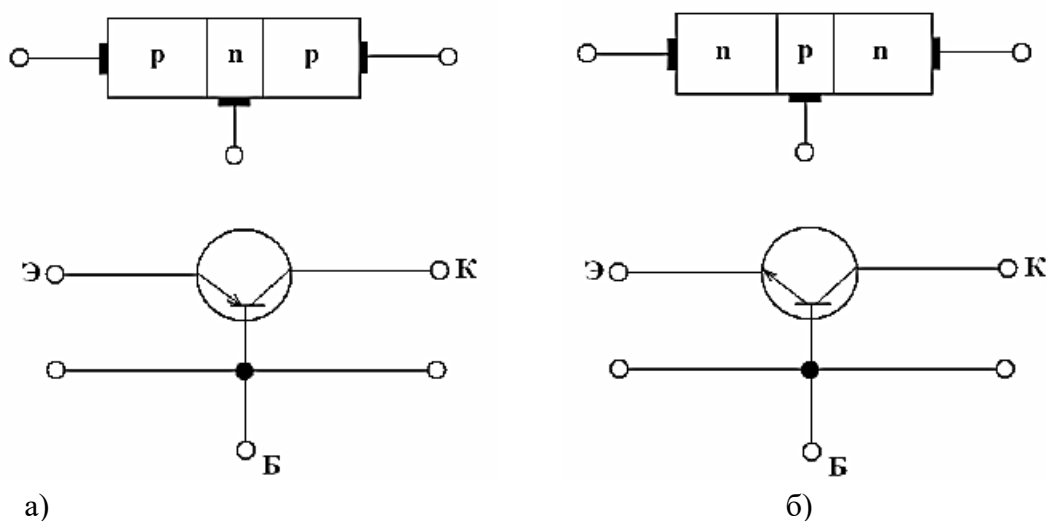


Рис. 1. Строение и условное обозначение биполярного транзистора

Условное обозначение транзистора типа $p-n-p$ показано на рис. 1, б.

Кремниевые транзисторы чаще изготавливают в виде полупроводниковых триодов типа $n-p-n$. Принцип действия полупроводниковых транзисторов независимо от их типа один и тот же.

Различие состоит лишь в выборе полярности присоединяемых к ним источников питания. Средняя область (слой) транзистора независимо от типа является его базой Б или основанием, а крайние — эмиттером Э и коллектором К.

Наличие трех слоев с различной проводимостью обуславливает на границах их раздела два p - n -перехода, характеризующихся динамическим равновесием. Чтобы вывести p -переход из состояния равновесия, к нему прикладывается внешнее напряжение.



Рис. 2. Схемы включения источников питания транзисторов

Схемы включения источников питания транзисторов типов p - n - p и n - p - n показаны на рис. 2 а, б. Транзисторы включаются в схему таким образом, чтобы к переходу эмиттер—база внешнее напряжение было приложено в прямом направлении, а к p - n -переходу коллектор – база – в обратном направлении.

При воздействии внешних напряжений потенциальный барьер между эмиттером и базой понижается, а между базой и коллектором — увеличивается. В результате основные носители заряда эмиттерного слоя переходят в область базы, а затем в область коллектора, создавая ток коллекторного перехода.

Одновременно с этим происходит и переход основных носителей заряда базы через эмиттерный переход. Однако в область базы при изготовлении транзистора вводят значительно меньшее количество атомов примеси, чем в эмиттер, поэтому ток эмиттерного перехода создается главным образом переходом основных носителей эмиттерного слоя. Если время прохождения основных носителей заряда эмиттера через область базы много меньше времени их независимого существования, то основная часть этих носителей доходит до коллекторного перехода и попадает в область коллектора. При этом лишь небольшая часть указанных носителей рекомбинирует в области базы с ее основными носителями. Таким образом, значение тока в цепи коллекторного (закрытого) перехода зависит от значения тока в цепи эмиттерного (открытого) перехода.

На рис. 1 базовый электрод является общим для эмиттерной и коллекторной цепей. Такое включение транзистора называют *включением по схеме с общей базой*. Схему усилительной ячейки на транзисторе с общей базой можно применять на более высоких частотах, однако она имеет коэффициент усиления по току меньше единицы и малое входное сопротивление. Возможны также другие способы включения транзистора, с *общим эмиттером* (рис. 3, а), с *общим коллектором* (рис. 3, б).

Схема включения транзистора с общим коллектором имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Поэтому ее часто применяют в многокаскадных усилителях в качестве согласующего каскада и выходного каскада при работе на низкоомную нагрузку.

Наиболее часто используют схему с общим эмиттером, с помощью которой можно осуществлять усиление по току, напряжению и наибольшее по сравнению с другими схемами включения транзистора усиление по мощности. Эта схема характеризуется незначительным входным сопротивлением.

В схеме с общим эмиттером ток базы управляет током коллектора, в схеме с общим коллектором ток базы управляет током эмиттера.

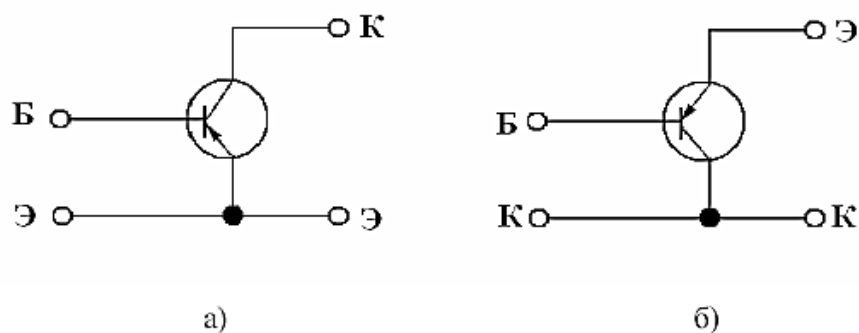


Рис. 3. Схемы включения транзисторов:
а - с общим эмиттером; б - с общим коллектором

Входным напряжением в схеме с общим эмиттером является $U_{бэ}$. На базе должно быть отрицательное напряжение (в случае транзистора типа $p-n-p$, чтобы первый переход оказался открытым. Выходным напряжением здесь является $U_{кэ}$. Напряжение на коллекторе также должно быть отрицательным относительно эмиттера, а чтобы второй переход был закрытым, напряжение на коллекторе по модулю должно превышать напряжение на базе.

Представим себе структуру транзистора типа $n-p-n$, включенного по схеме ОЭ (рис. 4, а). Условное обозначение такого транзистора приведено на рис. 4, б.

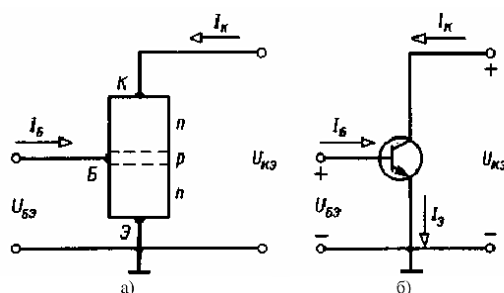


Рис. 4. Принцип действия транзистора
а - структура транзистора; б - условное обозначение

Для удобства отсчета потенциалов эмиттер транзистора заземлим. Входным электродом транзистора является база p -типа, выходным — коллектор n -типа. В соответствии с изложенным ранее между базой и эмиттером подается небольшое положительное напряжение $U_{бэ}$, а между коллектором и эмиттером напряжение $U_{кэ}$ также положительное и большее, чем $U_{бэ}$ (несколько вольт). Тогда на переходах транзистора получаются напряжения, соответствующие его работе в усилительном режиме.

При подаче указанных напряжений в структуре транзистора происходят следующие явления. Поскольку на эмиттерный $p-n$ -переход подано прямое напряжение, возникает инжекция, т.е. введение электронов из эмиттера в базу. Одновременно инжектируют и дырки из базы в эмиттер, но этим явлением можно пренебречь, так как база имеет меньшую

концентрацию примесей по сравнению с эмиттером, а следовательно, и меньшую концентрацию носителей заряда.

Небольшая часть инжектированных электронов (1-3 %) рекомбинирует с дырками базы. За счет этого по проводу, соединенному с базой, будет протекать небольшой ток базы I_b . Остальная часть электронов ($\alpha=0,97.0,99$) проникает далее в коллектор. Этому способствует положительный заряд коллектора, а также то, что базу намеренно выполняют очень тонкой (порядка 1 мкм).

Из такого рассмотрения легко понять механизм усиления схемы ОЭ по току и напряжению. Действительно, пусть за счет входного переменного сигнала напряжение $U_{бэ}$ изменяется. Это приведет к значительным колебаниям инжектированного эмиттером тока. Наиболее значительная часть этого тока будет протекать в коллектор, а на долю базы опять будет приходиться только небольшая часть тока. Это означает, что хотя входной ток базы небольшой, однако он вызывает значительные колебания тока на выходе. Если же в коллекторную цепь включить резистор с достаточно большим сопротивлением, то в соответствии с законом Ома колебания тока вызовут увеличение амплитуды колебания напряжения, т.е. произойдет усиление сигнала и по току, и по напряжению. Поскольку полярность напряжений, подаваемых на базу и коллектор, положительная, обе цепи можно питать от одного источника, на базу напряжение подают с помощью делителя, так как оно должно быть небольшим. Параметры транзистора можно определить по его входным и выходным характеристикам. Входные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, представляют собой зависимости тока базы от напряжения на базе:

$$I_b = f(U_{бэ}) \text{ при } U_{кэ} = const.$$

На рис. 5 приведены входные характеристики транзистора при его включении с общим эмиттером.

При открытом первом переходе ток базы I_b (т. е. входной ток) сильно зависит от прямого напряжения на базе $U_{бэ}$ и мало зависит от обратного напряжения $U_{кэ}$ (при его большом значении). При увеличении обратного напряжения $U_{кэ}$ входная характеристика немного смещается вниз, что объясняется уменьшением тока базы из-за увеличения тока коллектора.

Используя входную характеристику транзистора, можно определить его входное сопротивление $R_{вх}$ для определенного положения рабочей точки А (рис. 5). Для этого при постоянном напряжении на коллекторе $U_{кэ}$ задают приращение тока базы ΔI_b и определяют получающееся при этом изменение напряжения на базе $\Delta U_{бэ}$. Входное сопротивление транзистора определяют как отношение $R_{вх} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_b$.

Выходные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, представляют собой зависимости коллекторного тока от напряжения на коллекторе:

$$I_k = f(U_{кэ}) \text{ при } I_b = const.$$

На рис. 6 приведены выходные характеристики транзистора включенного по схеме с общим эмиттером.

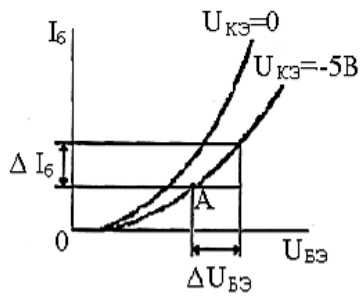


Рис. 5. Входные характеристики

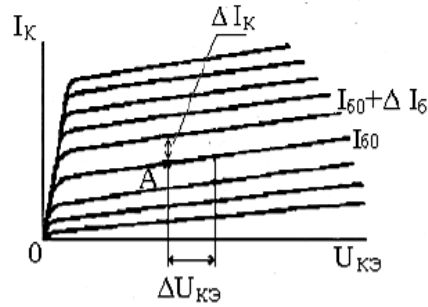


Рис. 6. Входные характеристики

С увеличением тока базы I_B характеристики смещаются вверх. Связь между током коллектора I_K и током базы I_B определяется коэффициентом передачи тока базы

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B,$$

который легко можно выразить через известный коэффициент передачи тока эмиттера.:

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B = \Delta I_K / (\Delta I_E - \Delta I_K) = \alpha / (1 - \alpha)$$

Коэффициент передачи тока базы зависит от напряжения на коллекторе $U_{КЭ}$ и от тока эмиттера I_E . У транзисторов имеется некоторое оптимальное значение тока эмиттера, при котором коэффициент передачи тока базы β получается наибольшим.

При увеличении тока базы на I_B характеристика коллекторного тока смещается вверх на ΔI_B . Так как коэффициент передачи тока базы зависит от тока эмиттера, смещение выходных характеристик вверх при одинаковых изменениях тока базы получается различным: сначала расстояние между характеристиками возрастает, а затем уменьшается. При малых напряжениях на коллекторе $\Delta U_{КЭ} < \Delta U_{БЭ}$ транзистор переходит в режим насыщения, при котором не основные заряды инжектируются в базу не только эмиттером, но и коллекторным переходами. Для сохранения тока базы неизменным (так как характеристики снимают при $I_B = const$) нужно уменьшить напряжение на базе, что приводит к резкому уменьшению токов эмиттера и коллектора. В этом месте выходные характеристики имеют резкий спад, коэффициент передачи тока базы резко уменьшается, эффективность управления коллекторным током снижается. По выходным характеристикам можно определить также выходное сопротивление транзистора $R_{вых}$. Для этого в рабочей точке А при $I_B = const$ задают приращение коллекторного напряжения $U_{КЭ}$ и определяют получающееся при этом приращение тока коллектора I_K . Выходное сопротивление транзистора находят как отношение: $R_{вых} = U_{КЭ} / I_K$.

Ключевой режим работы транзистора

Ключевым называют такой режим работы транзистора, при котором он может быть либо полностью открыт, либо полностью закрыт, а промежуточное состояние, при котором компонент частично открыт, в идеале отсутствует. Мощность, которая выделяется в транзисторе, в статическом режиме равна произведению тока, протекающего через выводы сток-исток, и напряжения, приложенного между этими выводами.

В идеальном случае, когда транзистор открыт, т.е. в режиме насыщения, его сопротивление между выводами сток-исток стремится к нулю. Мощность потерь в открытом состоянии представляет произведение равного нулю напряжения на определённую величину тока. Таким образом, рассеиваемая мощность равна нулю.

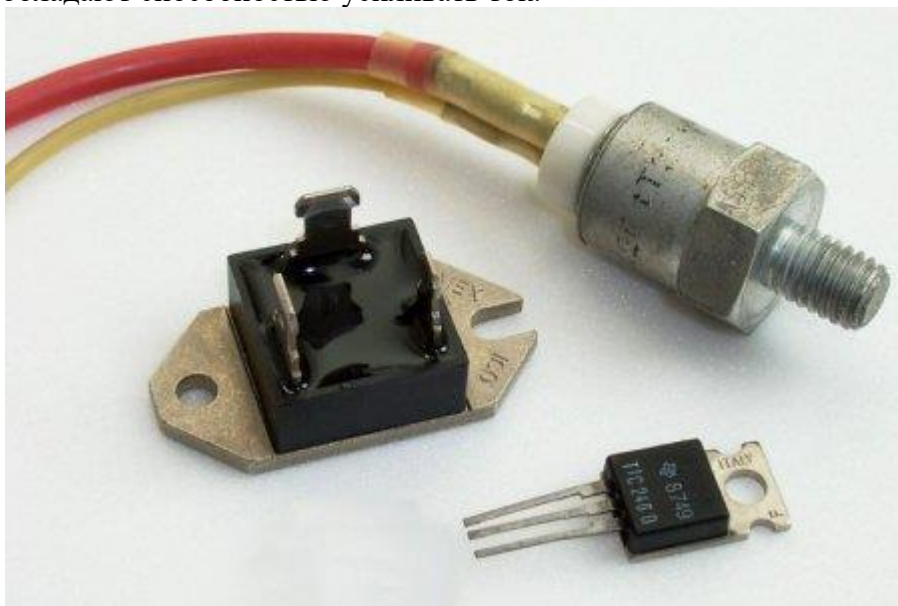
В идеале, когда транзистор закрыт, т.е. в режиме отсечки, его сопротивление между выводами сток-исток стремится к бесконечности. Мощность потерь в закрытом состоянии есть произведение определённой величины напряжения на равное нулю значение тока. Следовательно, мощность потерь равна нулю.

Выходит, что в ключевом режиме, в идеальном случае, мощность потерь транзистора равна нулю. На практике, естественно, когда транзистор открыт, присутствует некоторое небольшое сопротивление сток-исток. Когда транзистор закрыт, по выводам сток-исток протекает ток небольшой величины. Таким образом, мощность потерь в транзисторе в статическом режиме мала. Однако в динамическом режиме, когда транзистор открывается или закрывается, его рабочая точка форсирует линейную область, в которой ток через транзистор может условно составлять половину максимального тока стока, а напряжение сток-исток может достигать половины от максимальной величины. Таким образом, в динамическом режиме в транзисторе выделяется огромная мощность потерь, которая свела бы на нет все замечательные качества ключевого режима, но к счастью длительность нахождения транзистора в динамическом режиме много меньше длительности пребывания в статическом режиме. В результате этого КПД реального транзисторного каскада, работающего в ключевом режиме, может быть очень высок и составлять до 93% – 98%.

Работающие в ключевом режиме транзисторы широко применяют в силовых преобразовательных установках, импульсных источниках электропитания, в выходных каскадах некоторых передатчиков и пр.

Краткие сведения о тиристорах и симисторах

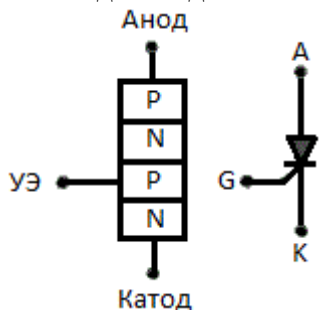
Тиристором называется управляемый полупроводниковый переключатель, обладающий односторонней проводимостью. В открытом состоянии он ведет себя подобно диоду, а принцип управления тиристором отличается от транзистора, хотя и тот и другой имеют по три вывода и обладают способностью усиливать ток.



Выводы тиристора — это анод, катод и управляющий электрод.

Анод и катод — это электроды электронной лампы или полупроводникового диода. Их лучше запомнить по изображению диода на принципиальных электрических схемах. Представьте, что электроны выходят из катода расходящимся пучком в виде треугольника и приходят на анод, тогда вывод от вершины треугольника — катод с отрицательным зарядом, а противоположный вывод — анод с положительным зарядом.

Подав на управляющий электрод определенное напряжение относительно катода, можно перевести тиристор в проводящее состояние. А для того чтобы тиристор вновь запереть, необходимо сделать его рабочий ток меньшим, чем ток удержания данного тиристора.

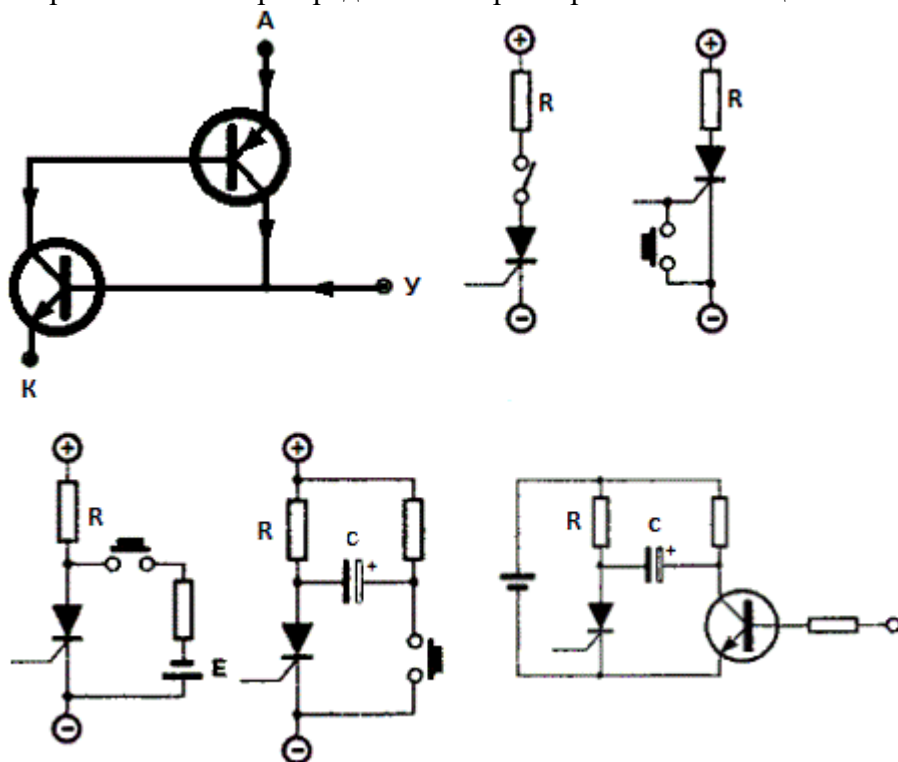


Тиристор, как полупроводниковый электронный компонент, состоит из четырех слоев полупроводника (кремния) р и n-типа. На рисунке верхний вывод — это анод — область р-типа, снизу — катод — область n-типа, сбоку выведен управляющий электрод — область р-типа. К катоду присоединяется минусовая клемма источника питания, а в цепь анода включается нагрузка, питанием которой следует управлять.

Воздействуя на управляющий электрод сигналом определенной длительности, можно очень легко управлять нагрузкой в цепи переменного тока, отпирая тиристор на определенной фазе периода сетевой синусоиды, тогда закрытие тиристора будет происходить автоматически при переходе синусоидального тока через ноль. Это несложный и весьма популярный способ регулирования мощности активной нагрузки.



В соответствии с внутренним устройством тиристора, в запертом состоянии его можно представить цепочкой из трех диодов, соединенных последовательно, как показано на рисунке. Видно, что в запертом состоянии данная схема не пропустит ток ни в одном, ни в другом направлении. Теперь представим тиристор схемой замещения на транзисторах.

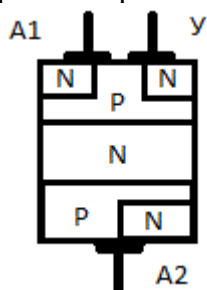


Видно, что достаточный базовый ток нижнего n-p-n-транзистора приведет к возрастанию его коллекторного тока, который тут же явится базовым током верхнего p-n-p-транзистора.

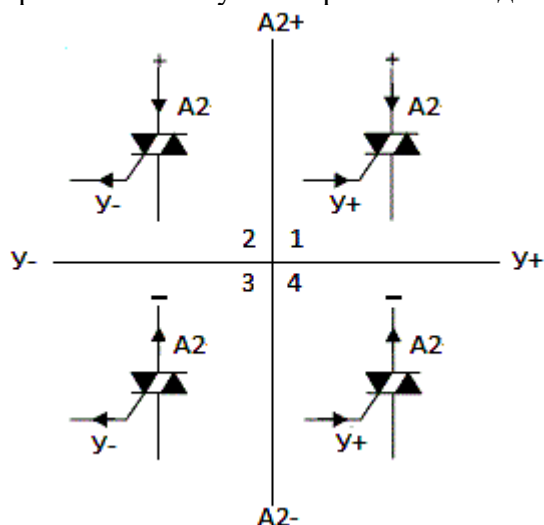
Верхний p-n-p-транзистор теперь отпирается, и его коллекторный ток складывается с базовым током нижнего транзистора, и тот поддерживается в открытом состоянии благодаря наличию в

данной схеме положительной обратной связи. И если сейчас перестать подавать напряжение на управляющий электрод, открытое состояние все равно останется таковым.

Чтобы запереть эту цепочку, придется как-то прервать общий коллекторный ток данных транзисторов. Разные способы отключения (механические и электронные) показаны на рисунке.



Симистор, в отличие от тиристора, имеет шесть слоев кремния, и в проводящем состоянии он проводит ток не в одном, а в обоих направлениях, словно замкнутый выключатель. По схеме замещения его можно представить как два тиристора, включенных встречно-параллельно, только управляющий электрод остается один общий на двоих. А после открытия симистора, чтобы ему закрыться, полярность напряжения на рабочих выводах должна измениться на противоположную или рабочий ток должен стать меньше чем ток удержания симистора.



Если симистор установлен для управления питанием нагрузки в цепи переменного или постоянного тока, то в зависимости от текущей полярности и направления тока управляющего электрода, более предпочтительными окажутся определенные способы управления для каждой ситуации. Все возможные сочетания полярностей (на управляющем электроде и в рабочей цепи) можно представить в виде четырех квадрантов.

Стоит отметить, что квадранты 1 и 3 соответствуют обычным схемам управления мощностью активной нагрузки в цепях переменного тока, когда полярности на управляющем электроде и на электроде A2 в каждом полупериоде совпадают, в таких ситуациях управляющий электрод симистора достаточно чувствителен.

Лабораторная работа №12
ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров тиристора и симистора.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

- а) изучить тему курса «Тиристоры» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- б) пользуясь мнемосхемой начертить схемы для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

3. Экспериментальное исследование тиристора

а) собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 1. Регулятор R_h перевести в положение «О», соответствующее минимальному значению сопротивления.

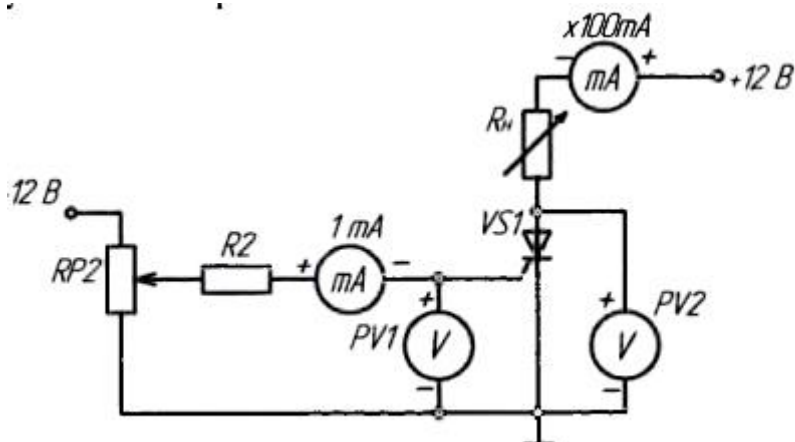


Рис. 1

б) определить отпирающий постоянный ток управления I_{y0} и отпирающее постоянное напряжение управления U_{y0} , при которых происходит включение тиристора. Для этого плавно вращать ручку потенциометра $RP1$, увеличивая ток управления I_y , зафиксировать, при каком значении тока управления I_{y0} и напряжения управления U_{y0} включится тиристор. О включении тиристора судить по резкому уменьшению напряжения на аноде U_a и увеличению анодного тока I_a ;

в) исследовать возможность выключения тиристора по цепи управления и по анодной цепи. Для этого, включив тиристор, уменьшать до нуля ток управления I_y . Выключить тиристор, разорвав цепь анода. Наблюдая за изменением анодного тока I_a и напряжения U_a , сделать вывод об управляемости тиристора, сформулировав условия включения и выключения тиристора. Выключить питание модуля;

г) снять и построить входную характеристику тиристора $U_y = f(I_y)$ (при разорванной анодной цепи), нанести на нее точку, соответствующую току I_{y0}) собрать схему для исследования тиристора на переменном токе для получения анодной ВАХ тиристора на экране осциллографа (рис. 2). Подать на вход $CH2$ (Y) осциллографа напряжение с шунта $RS2$, пропорциональное току в анодной цепи I_a , а на вход $CH1$ (X) - анодное напряжение тиристора и, (при этом

переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y). Корпус осциллографа (\perp) присоединить к общему проводу (\perp). Зарисовать ВАХ тиристора при двух значениях тока управления I_y , определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание;

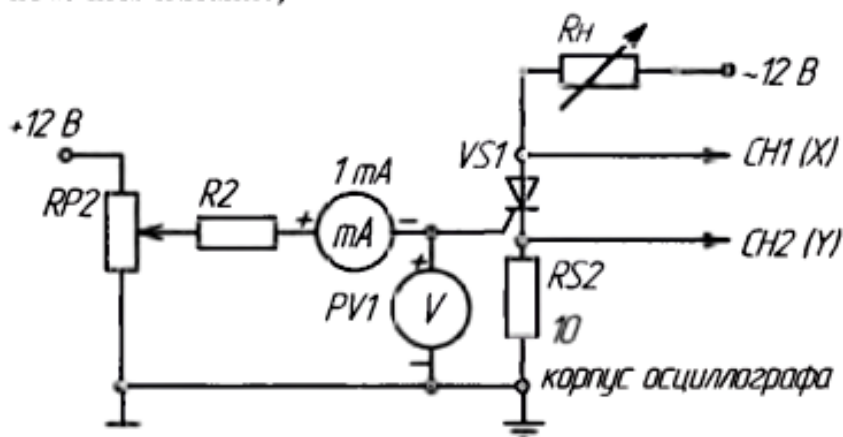


Рис. 2

е) определить по осциллограммам максимальное напряжение между анодом и катодом U_{FM} в открытом состоянии при максимальном анодном токе $I_{a, max}$, ток удержания $I_{y, d}$, пороговое напряжение $U_{T(то)}$ и дифференциальное сопротивление r_T .

4. Экспериментальное исследование однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

- собрать схему преобразователя рис. 3. Включить питание модуля;
- изучить влияние угла управления (регулируем RP2) на напряжение на нагрузке (u_n) и определить возможный диапазон изменения угла управления;
- снять осциллограммы переменного напряжения u , подаваемого на симистор, напряжения на нагрузке u_n , на симисторе u_a и анодного тока i_a при активной нагрузке и заданном угле управления.

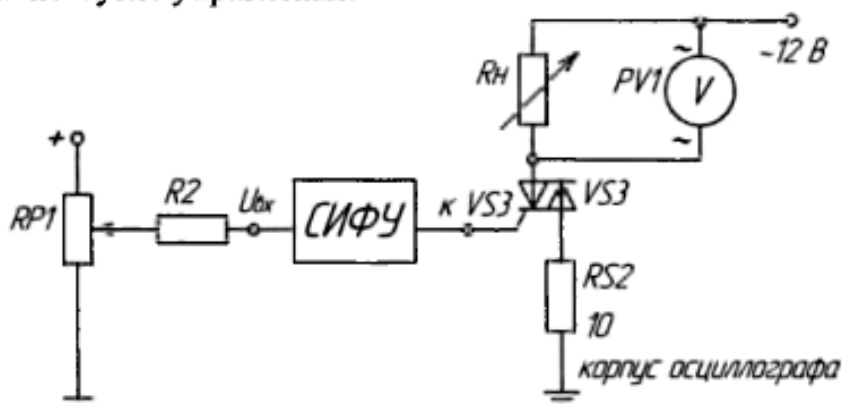


Рис. 3. Схема для исследования однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

г) используя схему, приведенную на рис.2, снять анодную ВАХ симистора при подачи импульсов от СИФУ, при этом используется выход VS3, подключаемый к управляющему электроду симистора. Для этого подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала CH1 (X) – к аноду симистора, канал CH2 (Y) – к катоду симистора (напряжение на симисторе), снимая тем самым ток через симистор, а корпус осциллографа (\perp) присоединить к гнезду X37. Перевести переключатель развертки осциллографа в положение X/Y. Зарисовать ВАХ симистора при угле управления, взятом из таблицы вариантов. Определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание модуля.

5. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Поясните вид выходной (анодной) ВАХ тиристора.
2. Поясните вид входной ВАХ тиристора.
3. Как определить пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление тиристора во включенном состоянии?
4. Как снять выходную ВАХ тиристора?
5. Сравните свойства тиристоры и транзисторы по управляемости.
6. Объясните назначение диаграммы управления тиристора.
7. В чем отличие симистора и тиристора.
8. Отличие ВАХ тиристора и симистора.

Лабораторная работа №13
ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР.

1. Цель работы

Ознакомиться с назначением и основными характеристиками однофазного трансформатора, работой трансформатора при различном характере нагрузки.

2. Предварительное домашнее задание

2.1. Изучить тему «Однофазный силовой трансформатор», содержание данной лабораторной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы к ней.

2.2. Начертить принципиальные схемы исследуемых установок с включенными цифровыми измерительными приборами.

2.3. Ознакомиться с паспортными данными исследуемого трансформатора (табл. 1).

Таблица 1

Тип	U_{1H}	U_{2H}	S_H , ВА
BV EI 481 1119	220 В	12 В	10

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (рис. 1, рабочее поле «Однофазный трансформатор» и «Измеритель мощности»).

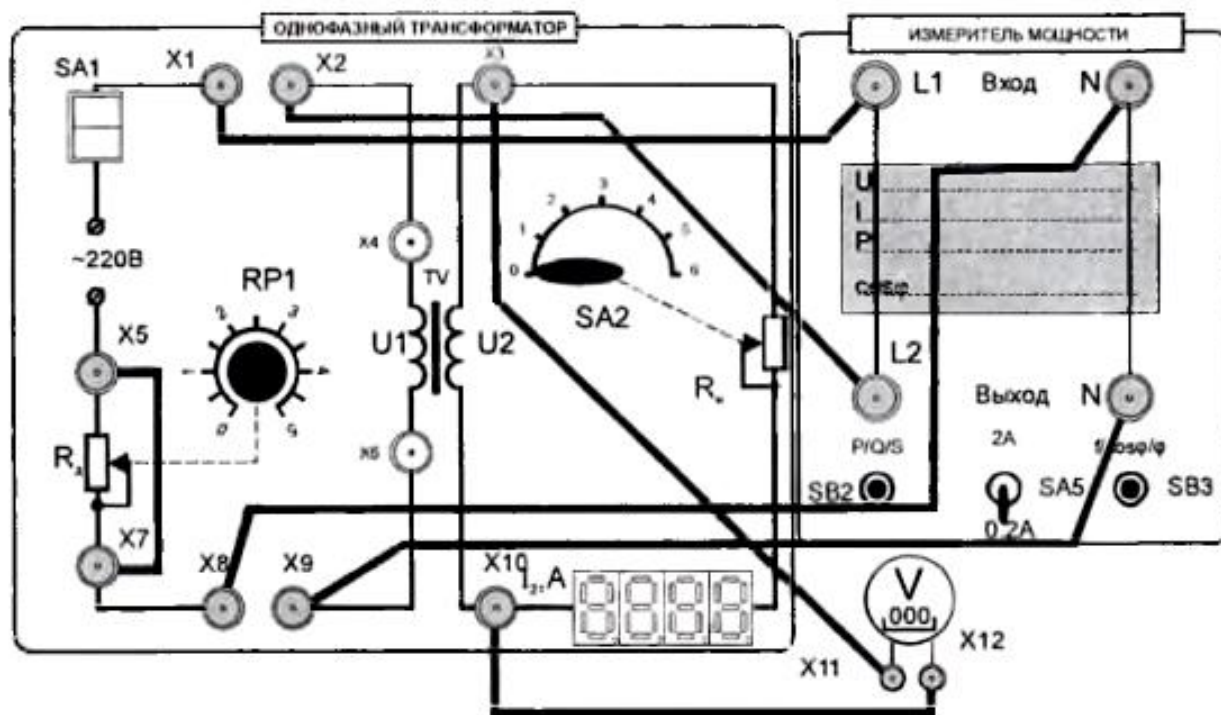


Рис. 1

3.2. Собрать электрическую цепь (рис. 1). Для этого замкнуть накоротко добавочное сопротивление R_d . Установить переключатель SA2 установки величины сопротивления нагрузки и ручку потенциометра регулировки величины добавочного

сопротивления $RP1$ в позиции «0» (крайнее левое положение). В измерителе мощности установить предел измерения тока $I = 0,2$ А. Схему представить для проверки преподавателю.

3.3. Провести опыт холостого хода. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель $QF1$ на кожухе и выключатель $SA1$). Провести измерения первичного напряжения U_{10} , тока холостого хода I_{10} и активной мощности трансформатора P_{10} в режиме холостого хода трансформатора. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить трансформатор. По результатам измерений рассчитать коэффициент трансформации трансформатора K_{12} и параметры ветви холостого хода схемы замещения трансформатора (Z_0, R_0, X_0). Рассчитать по паспортным данным номинальный вторичный ток трансформатора $I_{2н}$ и с учетом коэффициента трансформации номинальный первичный ток $I_{1н}$.

Таблица 2

Измерено					Вычислено					
$U_{10},$ В	$I_{10},$ А	$P_{10},$ Вт	$U_{20},$ В	$\cos\varphi_{10}$	$Z_0,$ Ом	$R_0,$ Ом	$X_0,$ Ом	K_{12}	$I_{2н},$ А	$I_{1н},$ А

3.4. Исследовать трансформатор в рабочем режиме, сняв внешнюю характеристику и рабочие характеристики при активном характере нагрузки. Для этого включить электропитание стенда, и изменяя величину сопротивления нагрузки R_n с помощью переключателя $SA2$, измерять при каждом положении переключателя $SA2$ величины, указанные в табл. 3. Выключить трансформатор. Используя результаты измерений, рассчитать активную мощность P_2 , отдаваемую нагрузке, и коэффициент полезного действия трансформатора η . По результатам исследования построить внешнюю и рабочие характеристики трансформатора при активном характере нагрузки. Сделать выводы о наиболее целесообразном диапазоне нагрузок трансформатора.

Таблица 3

Измерено						Вычислено	
Сторона вторичного напряжения		Сторона первичного напряжения					
$U_2, В$	$I_2, В$	$U_1, В$	$I_1, А$	$P_1, Вт$	$\cos\varphi_1$	$P_2, Вт$	η

3.5. Исследовать трансформатор в режиме короткого замыкания. Для этого замкнуть вторичную обмотку трансформатора накоротко и убрать перемычку на добавочном сопротивлении R_d (рис. 2). Представить схему для проверки преподавателю.

3.6. Включить питание стенда и плавно изменяя величину добавочного сопротивления R_d с помощью потенциометра $RP1$ установить номинальное значение тока в первичной обмотке трансформатора в соответствии с рассчитанным в п. 3.3 значением. Измерить величину напряжения короткого замыкания $U_{1к}$, первичного тока $I_{1к}$ и активную мощность P_k , потребляемую трансформатором в опыте короткого замыкания. Результаты измерения занести в табл. 3. Рассчитать

величину напряжения короткого замыкания $U_{к\%}$ и величину тока аварийного короткого замыкания $I_{1к\ авар}$. Выключить трансформатор и электропитание стенда.

3.7. По результатам измерений рассчитать активную мощность $P_{1к\%}$, потребляемую трансформатором в режиме короткого замыкания, напряжение короткого замыкания $U_{к\%}$, параметры схемы замещения $Z_{к\%}$, $R_{к\%}$, $X_{к\%}$ и величину тока аварийного короткого замыкания $I_{1к\ авар}$ в процентах от $I_{1Н}$ (табл. 4).

Таблица 4

Измерено			Вычислено				
$U_{1к\%}$, В	$I_{1к\%}$, В	$P_{к\%}$, Вт	$U_{к\%}$, %	$Z_{к\%}$, Ом	$R_{к\%}$, Ом	$X_{к\%}$, Ом	$I_{1к\ авар}$, %

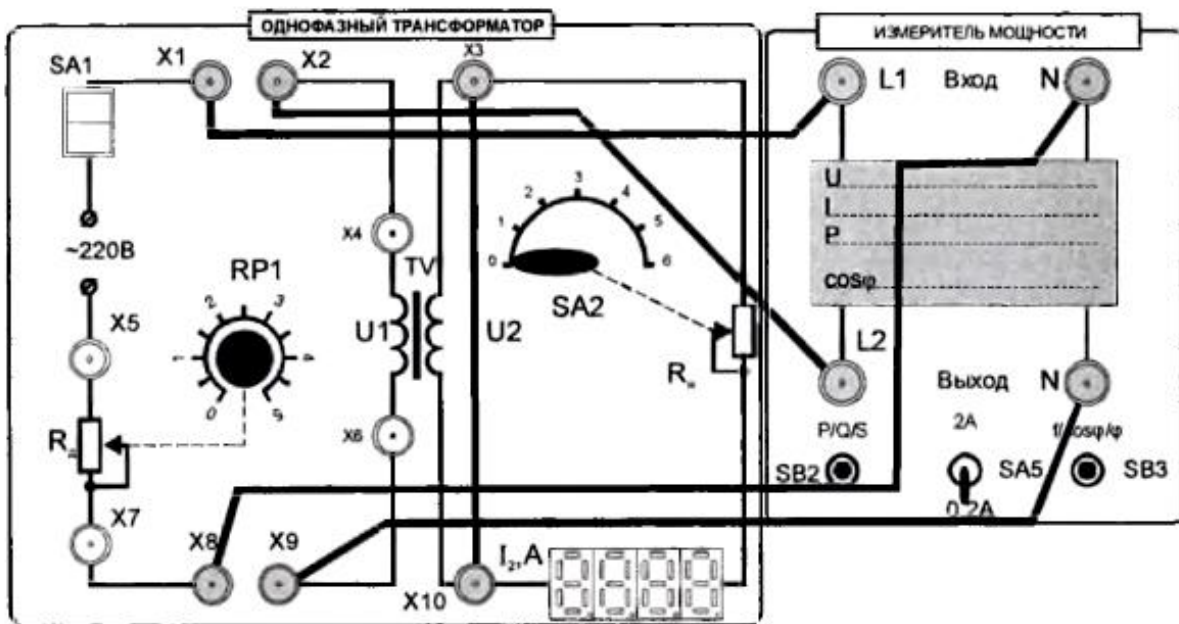


Рис. 2

4. Методические указания

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, преобразующий параметры электрической энергии переменного тока и передающий эту энергию из одной цепи в другую. С помощью трансформатора можно преобразовывать основные параметры электрической энергии переменного тока (ток, напряжение). Электрическая мощность при этом остается почти неизменной. В зависимости от соотношения номинальных напряжений у трансформатора различают обмотку высшего напряжения и обмотку низшего напряжения.

Коэффициент трансформации по напряжению K_{12} показывает, как соотносятся числа витков в обмотках, а также эдс, индуцируемые в обмотках:

$$K_{12} = E_1 / E_2 = \omega_1 / \omega_2 \approx U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1.$$

Коэффициент трансформации можно определить с достаточной точностью, измерив при холостом ходе трансформатора (вторичная обмотка разомкнута) напряжения на зажимах первичной и вторичной обмоток.

В режиме холостого хода трансформатор потребляет из сети электрическую энергию, которая идет на потери в стали (из-за перемагничивания магнитопровода и вихревых токов). Опыт холостого хода позволяет определить состояние стали трансформатора.

Подключение потребителей электрической энергии к трансформатору позволяет передавать им энергию, повышая или понижая напряжение. В данной работе исследуется понижающий трансформатор типа BV EI 481 1119 230 В/12 В, который одновременно в таком же соотношении изменяет силу тока.

Так как первичная и вторичная обмотки трансформатора электрически не соединены, электрическая мощность из первичной обмотки во вторичную обмотку передается при помощи магнитного потока, замыкающегося по сердечнику трансформатора. Мощность, потребляемая трансформатором, больше мощности, отдаваемой трансформатором потребителю, на величину потерь в самом трансформаторе. Потери мощности в обмотках и сердечнике трансформатора относительно невелики. Полная номинальная мощность трансформатора обычно определяется как $S_H = U_{2H} I_{2H}$.

где U_{2H} – номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора;

I_{2H} – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора.

С увеличением тока нагрузки от холостого хода до номинального значения напряжение на зажимах вторичной обмотки понижается из-за увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении трансформатора. Это иллюстрирует одна из основных характеристик трансформатора, которая, как и у любого источника электропитания, называется внешней характеристикой $U_2 = f(I_2)$ (рис. 3). Наклон внешней характеристики зависит от коэффициента мощности потребителя

(характера потребителя). При этом увеличивается и ток I_1 , потребляемый трансформатором из сети, а общий магнитный поток в сердечнике трансформатора остается практически постоянным при неизменном значении первичного напряжения. Работа трансформатора описывается также рабочими характеристиками, к которым относятся зависимости $I_1 = f(P_2)$, $U_2 = f(P_2)$, $\cos \varphi_1 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ при $U_{1H} = const$, $\cos \varphi_2 = const$, где $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ – активная мощность трансформатора, отдаваемая нагрузке. Рабочие характеристики снимаются для выбора оптимальной зоны работы трансформатора.

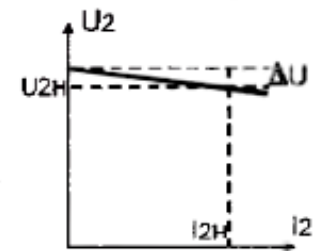


Рис. 3

Параметры простейшей Г-образной схемы замещения трансформатора (рис. 4) легко определяются по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора. По схеме замещения можно рассчитать величину тока аварийного короткого замыкания трансформатора $I_{1к\ авар}$, которое может иметь место в эксплуатационных условиях. По результатам опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора нетрудно рассчитать величину коэффициента полезного действия трансформатора в номинальном режиме работы.



Рис. 4

5. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- в) таблицы с результатами эксперимента;
- г) внешние характеристики трансформатора при активной и емкостной нагрузке;
- д) рабочие характеристики трансформатора при активной нагрузке;
- е) схему замещения трансформатора и вычисленные по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания параметры схемы замещения трансформатора, коэффициент трансформации и величину тока аварийного короткого замыкания.
- ж) выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен трансформатор?
2. Каков принцип действия трансформатора?
3. Как опытным путем определить коэффициент трансформации?
4. Почему при увеличении тока нагрузки увеличивается ток, потребляемый трансформатором из сети?
5. Почему при изменении нагрузки изменяется КПД трансформатора?
6. Какие процессы характеризует активная мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания?
7. Почему при активной нагрузке увеличение тока ведет к уменьшению вторичного напряжения?
8. Почему внешняя характеристика трансформатора зависит от характера нагрузки?

Лабораторная работа №14

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ.

1. Цель работы

Знакомство с устройством, схемами включения, принципом действия и основными характеристиками асинхронного двигателя. Приобретение навыков по управлению работой асинхронного трехфазного двигателя.

2. Предварительное домашнее задание

2.1. Изучить тему «Трехфазный асинхронный двигатель», содержание данной лабораторной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы к ней.

2.2. Начертить принципиальные электрические схемы исследуемых установок с включенными измерительными приборами.

2.3. Ознакомиться с паспортными данными исследуемого трехфазного асинхронного двигателя (табл. 1).

Таблица 1

Тип двигателя	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Номинальный коэффициент мощности
АИС56В4У3	220/380	0,69/0,4	0,09	1350	57	0,65

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

3.2. Пробный пуск двигателя.

Собрать электрическую схему для пробного пуска двигателя на холостом ходу (рис. 1). Обратит внимание при этом на схему соединения обмоток двигателя в соответствии с паспортными данными, учитывая что выходное напряжение частотного преобразователя 220 В (при частоте 50 Гц).

Установить частоту питающего напряжения 50 Гц (ручка потенциометра *RP2* «Установка частоты» – в крайнем правом положении). Тумблер *SA4* установить в позицию «Стоп». Тумблер *SA5* установить в позицию «Вперед».

После проверки схемы преподавателем произвести пробный пуск двигателя.

Включить электропитание стенда (автоматический выключатель на кожухе с тыльной стороны) и частотного преобразователя (выключатель *SA3*). Для пуска двигателя перевести тумблер *SA4* в позицию «Пуск».

При пуске двигателя обратит внимание на направление вращения двигателя. Остановить двигатель (перевести тумблер *SA4* в положение «Стоп»). Перевести тумблер *SA5* в позицию «Назад». Запустить двигатель и обратит внимание на направление вращения двигателя. Остановить двигатель. Объяснить, из-за чего двигатель вращается в противоположную сторону.

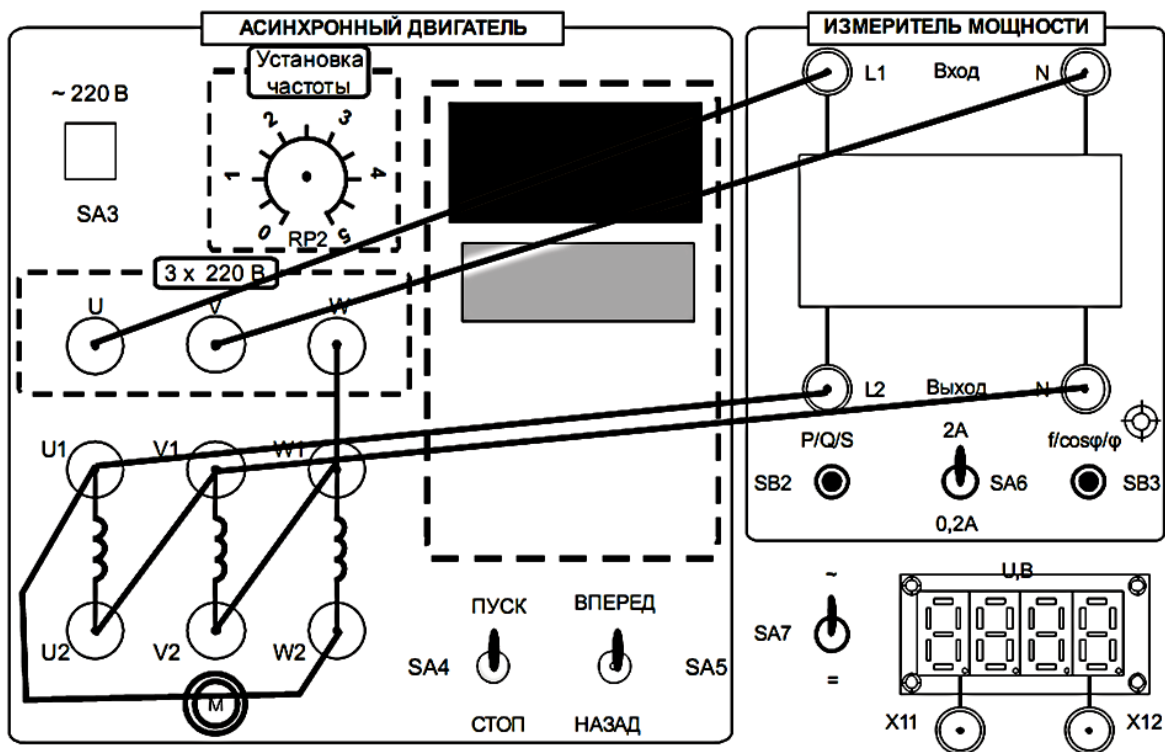


Рис. 1

3.3. Снять регулировочную характеристику асинхронного двигателя $n=f(f)$ при его работе на холостом ходу. Для этого запустить двигатель (тумблер SA5 в позиции «Вперед») и изменяя частоту напряжения питания двигателя с помощью потенциометра RP2 «Установка частоты» измерять величину напряжения и скорость вращения ротора двигателя с помощью фототахометра. Результаты занести в табл. 2. По результатам измерений определить значение частоты напряжения питания при каждом измерении. При этом учесть, что в частотном преобразователе обеспечивается выполнение условия $U/f = const$, а наибольшее значение частоты напряжения преобразователя – 50 Гц.

Таблица 2

U, В					
n, об/мин					
f, Гц					

3.4. Собрать схему для снятия механических и рабочих характеристик асинхронного двигателя при соединении обмоток двигателя в треугольник (рис. 2).

При снятии механических и рабочих характеристик в качестве нагрузочной машины используется генератор постоянного тока с независимым возбуждением. Величина нагрузки генератора задается переключателем SA12 генератора постоянного тока. Перед пуском двигателя переключатели SA12 и SA11 генератора постоянного тока установить в позицию «0». У цифрового вольтметра установить режим измерения постоянного напряжения. Для этого тумблер SA7 установить в позицию «=». Переключатель предела измерения тока измерителя мощности установить в позицию «2 А». Представить схему для проверки

преподавателю.

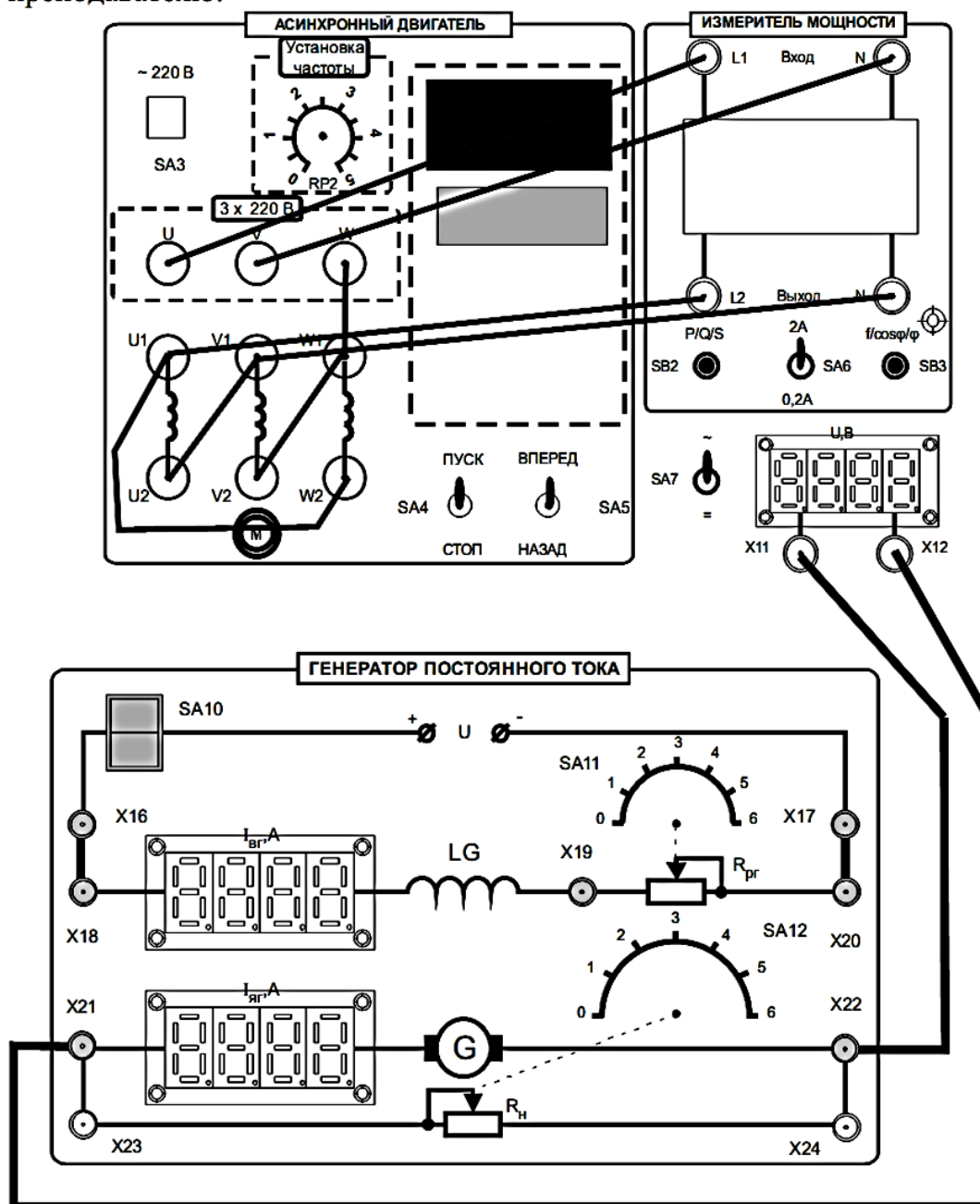


Рис. 2

3.5. Включить асинхронный двигатель (тумблер SA4 в позицию «Пуск»). Установить на четвертой строке цифрового измерителя режим измерения угла сдвига фаз « Fi ». В соответствии с табл. 3 записать показания приборов в режиме холостого хода двигателя (при отсутствии электропитания на обмотке возбуждения генераторе постоянного тока). Подать на обмотку возбуждения генератора постоянного тока электропитание с помощью выключателя SA10. Изменяя величину нагрузки генератора переключателем SA12, произвести измерения линейного напряжения питания U_L , линейного тока I_L , потребляемого двигателем, угла сдвига фаз Fi , частоты вращения n , напряжения якоря генератора $U_{ЯГ}$, тока якоря генератора $I_{ЯГ}$. Частоту вращения измерять цифровым фототахометром.

Результаты измерений записывать в табл. 3. Выключить двигатель и генератор.

3.6. Для каждого режима работы провести вычисления тормозного момента M_m , создаваемого генератором постоянного тока на валу асинхронного двигателя, полезной мощности P_2 , коэффициента полезного действия исследуемого асинхронного двигателя η и скольжения s (табл. 3). При вычислении учесть, что сопротивление обмотки якоря генератора $R_{я} = 75 \text{ Ом}$.

Таблица 3

		0	1	2	3	4	5	6
Измерено	$U_L, \text{ В}$							
	$I_L, \text{ А}$							
	$Fi, ^\circ$							
	$n, \text{ об/мин}$							
	$U_{яГ}, \text{ В}$							
	$I_{яГ}, \text{ А}$							
Вычислено	$\varphi = Fi - 30^\circ$							
	$\cos \varphi$							
	$K_E = \frac{U_r + I_{яГ} R_{я}}{n}$							
	$K_M = K_E \cdot 9,52$							
	$M_T = K_M I_{яГ}$							
	$P_2 = 0,105 M_T n$							
	$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100$							
	s							

Примечание: В соответствии со схемой включения на измеритель мощности подается линейное напряжение U_{AB} и линейный ток I_A . Следовательно, прибор измеряет угол сдвига фаз Fi между этими величинами. Из векторной диаграммы для симметричной трехфазной цепи очевидно, что угол сдвига фаз φ между линейным напряжением U_{AB} и фазным током I_{AB} будет $\varphi = Fi - 30^\circ$. Обратите внимание, что при правильном подключении измерителя мощности угол Fi больше 90° .

4. Методические указания

Трехфазный асинхронный двигатель – основной потребитель электрической энергии в промышленности – может нормально работать, то есть развивать номинальную мощность на своем валу при номинальной частоте вращения, только при правильном включении его обмоток. Правильным включением трехфазного двигателя при соединении его обмоток по схеме «звезда» называют такое, при котором все начала обмоток, обозначаемые $C1, C2$ и $C3$, подключают к трехфазной сети, а все концы, обозначаемые $C4, C5$ и $C6$, соединяются в общую нулевую точку. Если хотя бы одна обмотка соединена неверно, например, конец соединен с сетью, а начало с нулевой точкой, двигатель нормально работать не может.

При соединении по схеме «треугольник» правильным называют такое, при котором все начала фазных обмоток $C1, C2$ и $C3$ соединены с сетью, концы – с

началами других фазных обмоток, причем конец первой обмотки $C4$ соединяется с началом второй обмотки $C2$, конец второй обмотки $C5$ – с началом третьей обмотки $C3$, конец третьей обмотки $C6$ – с началом первой обмотки $C1$.

Вращающий момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, подведенного к фазе статора двигателя. Поэтому, даже незначительное изменение напряжения в сети вызывает значительное изменение вращающего момента асинхронного двигателя. При изменении напряжения в $\sqrt{3}$ раз вращающий момент изменится в 3 раза. Ошибочное включение обмоток статора по схеме «звезда» вместо нормального включения по схеме «треугольник» вызывает уменьшение вращающего момента в 3 раза и двигатель не берет с места при пуске в ход с нагрузкой на валу. Значительное уменьшение напряжения в сети во время работы двигателя может привести к остановке двигателя с вытекающими отсюда последствиями.

Измерения, полученные при непосредственной нагрузке двигателя, позволяют получить рабочие характеристики двигателя, определяющие его поведение при различной нагрузке. При работе на холостом ходу двигатель потребляет из сети активную мощность P_0 . Эта мощность расходуется на потери в магнитопроводе Машины, на механические потери трения в подшипниках, вентиляционные потери трения о воздух и на нагревание обмоток статора при протекании по ним тока холостого хода. Все это – потери холостого хода, которые считают постоянными потерями и не зависящими от режима работы двигателя.

Важнейшей характеристикой электрического двигателя является механическая характеристика, под которой понимают зависимость частоты вращения n от вращающего момента M : $n = f(M)$. При выборе двигателя к производственному механизму из множества двигателей с различными механическими характеристиками выбирают тот, механическая характеристика которого удовлетворяет требованиям механизма. Механическая характеристика, относящаяся к нормальным рабочим условиям двигателя (номинальное напряжение питания, номинальная частота сети, отсутствие в схеме каких либо добавочных сопротивлений), называется естественной механической характеристикой. При изменении рабочих условий (напряжения питания, частоты сети) механическая характеристика называется искусственной.

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости частоты вращения n , вращающего момента на валу двигателя M , потребляемого линейного тока I , скольжения s , коэффициента полезного действия η , коэффициента мощности $\cos\varphi$ двигателя и потребляемой мощности P_1 от полезной мощности на валу двигателя P_2 .

Изменение напряжения на зажимах статора приводит не только к изменению вращающего момента. С напряжением на зажимах статора связаны скорость вращения ротора n и мощность на валу двигателя $P_2 = 0,105 Mn$ при постоянном вращающем моменте M .

Чем ниже напряжение, тем меньше скорость n и мощность P_2 . Величина напряжения, подводимого к статору, оказывает влияние и на коэффициент

полезного действия двигателя. Таким образом, с изменением напряжения на фазах двигателя изменяются и его рабочие характеристики.

Одним из основных недостатков асинхронного двигателя долгое время являлась сложность регулирования частоты вращения. Частота вращения асинхронного двигателя определяется формулой $n = 60 f_1 (1-s) / p$, из которой следует, что частоту вращения двигателя n можно регулировать путем изменения частоты сети f_1 , числа пар полюсов p (ступенчатое регулирование), изменением скольжения s за счет изменения сопротивления цепи статора или ротора. В настоящее время основным способом регулирования частоты вращения асинхронных двигателей стало частотное регулирование, для чего используются преобразователи частоты, которые позволяют регулировать не только частоту вращения двигателя. В данной лабораторной работе электропитание двигателя осуществляется от преобразователя частоты, а скорость вращения его вала – с помощью фототахометра. Измерение напряжения на якоре генератора осуществляется с помощью цифрового вольтметра в режиме измерения постоянного напряжения .

5. Содержание отчета.

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента и таблицы полученных результатов;
- в) рабочие характеристики;
- г) экспериментальные механические характеристики для всех опытов, построенные в одних координатных осях;
- д) выводы по проделанной работе.

6. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия трехфазного асинхронного двигателя?
2. Что такое скольжение?
3. Как соединить звездой выводы обмоток трехфазного двигателя?
4. Как соединить треугольником выводы обмоток трехфазного двигателя?
5. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
6. Какая зависимость называется механической характеристикой?
7. Какая мощность указывается в паспорте двигателя?
8. Какие существуют способы регулирования частоты трехфазного асинхронного двигателя? Как при этом изменяется частота вращения ротора?
9. Почему необходимо обязательно маркировать выводы статорных обмоток двигателя?
10. Почему при малой нагрузке двигатель имеет низкий КПД и низкий коэффициент мощности?

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Пояснительная записка	2
2.	Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.	9
3.	Общие методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.	10
4.	Лабораторная работа №1 Смешанное соединение элементов в электрической цепи постоянного тока.	12
5.	Лабораторная работа № 2. Электроизмерительные приборы и измерения.	21
6.	Лабораторная работа №3 Нелинейные электрические цепи постоянного тока.	23
7.	Лабораторная работа №4 Электрическая цепь переменного тока с последовательным соединением элементов	36
8.	Лабораторная работа №5 Электрическая цепь переменного тока с параллельным соединением элементов	39
9.	Лабораторная работа №6 Трехфазная электрическая цепь при соединении по схеме «звезда»	45
10.	Лабораторная работа №7 Трехфазная электрическая цепь при соединении по схеме «треугольник».	48
11.	Лабораторно-практическая работа №8 Магнитные цепи.	50
12.	Лабораторная работа №9 Исследование диодов.	54
13.	Лабораторная работа №10 Исследование биполярного транзистора.	57
14.	Лабораторная работа №11 Исследование полевого транзистора.	59
15.	Лабораторная работа №12 Исследование тиристорov	69
16.	Лабораторная работа №13 Однофазный трансформатор.	72
17.	Лабораторная работа №14 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	77