Министерство образования и науки Хабаровского края
Краевое государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
«Комсомольский-на-Амуре судомеханический техникум»
имени Героя Советского Союза В.В. Орехова
(КГБ ПОУ КСМТ)

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по УР
_____Н.Н. Абраменко
« ___»_____ ____ _____2019 г.

КОМПЛЕКТ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по учебной дисциплине

ОП.02 Электротехника
08.01.18 Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования

среднего профессионального образования

базовой подготовки

2019 г.

Комплект методических указаний для обучающихся по выполнению лабораторных работ разработан на основе Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по профессии 08.01.18 Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования базовой подготовки, программы учебной дисциплины ОП.02 Электротехника, согласованной и утверждённой на заседании предметно-цикловой комиссии _____ протокол № ___ от «_____» _____ ___ г. рег.№ _____

Организация-разработчик: краевое государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Комсомольский-на-Амуре судомеханический техникум» имени Героя Советского Союза В.В. Орехова».

Разработчики:

Смишко Елена Алексеевна, преподаватель специальных дисциплин.

Одобрено на заседании ПЦК _____
Протокол №_____ от «_____» _____ 20____г.
Председатель ПЦК _____ /_____/

Оглавление

Тема № 1 Электрические цепи постоянного тока. 10

Лабораторная работа № 1 «Измерение сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока» 10

Лабораторная работа № 2 «Исследование электрической цепи с последовательным соединением резисторов» 13

Лабораторная работа № 3 «Исследование электрической цепи с параллельным соединением резисторов» 15

Лабораторная работа № 4 «Исследование электрической цепи со смешанным соединением резисторов» 18

Тема № 2 Магнитные цепи. 20

Лабораторная работа № 5 «Электромагнитная индукция» 20

Тема № 4 Электрические цепи переменного тока. 23

Лабораторная работа № 6 Тема «Цепь синусоидального тока при последовательном соединении R, L, и C.» 23

Лабораторная работа № 7 Исследование трёхфазной цепи при соединении треугольником 27

Лабораторная работа № 8 Тема «Исследование трёхфазной цепи при соединении звездой» 31

№ 4 Электроизмерительные приборы и электрические измерения 36

Лабораторная работа № 9 «Измерение силы, напряжения и сопротивления». 36

Тема 5. Трансформаторы 44

Лабораторная работа № 10. «Определение характеристик однофазного трансформатора» 44

Тема 6. Электронные приборы и устройства 48

Лабораторная работа № 11 «Исследование однополупериодногои двухполупериодного выпрямителя» 48

Лабораторная № 12 Тема «Исследование трехфазного мостового выпрямителя» 52

Тема № 7 Электрические машины 56

Лабораторная работа №13 Тема«Исследование генератора постоянного тока с независимым возбуждением» 56

Лабораторная работа №14 Тема «Исследование двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением» 65

Перечень используемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы 75

Методические рекомендации для обучающихся по выполнению лабораторных работ по ОП 02. «Электротехника» для профессии СПО 08.01.18 Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования составлены в соответствии с содержанием учебной программы, разработанной в соответствии требованиям ФГОС для профессии СПО 08.01.18 Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования (базовая подготовка), и предназначенной для реализации Государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников.

Перечень лабораторных занятий представлен в учебной программе и соответствует требованиям ФГОС *С*ПО, согласно которому обучающийся должен обладать следующими умениями, знаниями, общими и профессиональными компетенциями:

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать/понимать:

З. 1	основные законы электротехники;
З. 2	параметры электрических и магнитных цепей и единицы их измерений;
З. 3	элементы электрических цепей, их типы, назначение и характеристики;
З. 4	свойства электрических цепей переменного тока, содержащих активные и реактивные элементы;
З. 5	основные системы электроизмерительных приборов, их параметры;
З. 6	принципы измерения напряжения, тока, мощности, сопротивления;
З. 7	устройство и принцип действия трансформаторов, электрических машин, аппаратов управления и защиты;
З. 8	принципы энергоснабжения промышленных предприятий и жилых зданий;
З. 9	применение электроэнергии в промышленности.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен уметь:

У 1	выполнять расчеты параметров электрических цепей постоянного и переменного токов, переменного трехфазного тока;
У 2	производить выбор измерительного прибора по заданному измеряемому параметру и точности измерения
У 3	подключать измерительные приборы в электрическую цепь;
У 4	подключать силовые и измерительные трансформаторы в электрическую цепь;
У 5	определять коэффициент трансформации и величину потерь в трансформаторе;
У 6	подключать различных типов электродвигатели к электрической сети;
У 7	подключать коммутационные аппараты к электрической сети и оборудованию;
У 8	производить выбор и расчет параметров устройств защиты электрических цепей и оборудования;
У 9	идентифицировать полупроводниковые приборы;
У 10	определять исправность полупроводниковых приборов
У 11	читать несложные электронные схемы

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен обладать общими компетенциями (ОК):

ОК 01.	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам необходимого уровня физической подготовленности.
ОК 02.	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03.	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.
ОК 04.	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
ОК 05.	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста.
ОК 06.	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.
ОК 07.	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
ОК 08.	Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания
ОК 09.	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.
ОК 10.	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.
ОК 11.	Планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

В результате освоения учебной дисциплины подготавливает обучающегося к формированию профессиональных компетенций (ПК):

ПК 1.1	Выполнять работы по монтажу электропроводок всех видов (кроме проводок во взрывоопасных зонах).
ПК 1.2	Устанавливать светильники всех видов, различные электроустановочные изделия и аппараты.
ПК 1.3	Контролировать качество выполненных работ.
ПК 1.4	Производить ремонт осветительных сетей и оборудования.
ПК 2.1	Прокладывать кабельные линии различных видов.
ПК 2.2	Производить ремонт кабелей.
ПК 2.3	Проверять качество выполненных работ.
ПК 3.1	Производить подготовительные работы.
ПК 3.2	Выполнять различные типы соединительных электропроводок.
ПК 3.3	Устанавливать и подключать распределительные устройства.
ПК 3.4	Устанавливать и подключать приборы и аппараты вторичных цепей.
ПК 3.5	Проверять качество и надежность монтажа распределительных устройств и вторичных цепей.
ПК 3.6	Производить ремонт распределительных устройств и вторичных цепей.

Тематика лабораторных работ направлена на закрепление и углубление теоретических знаний, полученных учащимися на лекционных занятиях, на экспериментальную проверку теоретических положений, выработку умений и практических навыков работы с оборудованием и измерительными приборами, с практикой планирования и подготовки эксперимента, а также его обработки.

Описание лабораторного практикума составлено применительно к лаборатории «Теоретические основы электротехники» ТОЭ1-С-К и ТОЭ1-С-Р разработанного изготовленного Южно-Уральским государственным университетом при содействии Российского научно-производственного объединения «Росучприбор» в рамках научно-технических программ «Учебная техника», «Индустрия образования» и «Научное, научно-методическое и информационное обеспечение системы образования».

В состав лаборатории входят: программное обеспечение LabVIEW (виртуальные измерительные приборы, осциллографы и устройства управления). Подробная характеристика комплекса

приведена в методических указаниях по выполнению лабораторных работ. Кабинет электротехники оснащён комплектом компьютерной техники, объединённой сетью, что позволяет выполнять все лабораторные работы фронтальным методом. Преимущество фронтального метода состоит в том, что лабораторные работы выполняются всеми студентами одновременно после лекций по соответствующему разделу.

Общая цель проведения лабораторных работ - формирование устойчивых умений и навыков на базе полученных теоретических знаний по ОП 02. «Электротехника».

Форма работы - групповая.

Методические указания к проведению лабораторных работ разработаны к каждому лабораторному занятию.

Форма выполнения практической работы;

Подготовка к лабораторной работе предусматривает изучение теоретического материала. Перед выполнением лабораторной работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием лабораторно – практической работы, уяснить, в чем состоят цель и рабочее задание.

Раздел «Подготовка к работе» должен быть заполнен до начала занятия. Студент, не выполнивший подготовку к лабораторно – практической работе, к ее выполнению не допускается. Предусмотрена отработка пропущенных лабораторных работ во внеурочное время.

Теоретические сведения, приведенные в методических указаниях по выполнению лабораторно – практическ***их*** работ, содержат минимум учебного материала, необходимый для подготовки и выполнения работы.

Форма выполнения лабораторной работы;

Лабораторная работа выполняется в рабочей тетради, все записи производятся аккуратно, ошибочные записи исправляются путем зачеркивания тонкой линией и внесения исправления.

После внимательного ознакомления с поставленным заданием учащийся переносит в тетрадь номер, тему, цель лабораторной работы, расчётное задание и выполняет практические задания, которые предусматривают:

- сборку электрической схемы;
- снятие показаний приборов;
- заполнение сводных таблиц.

Все расчеты должны быть представлены в тетради в развернутом виде с целью указания преподавателем ошибочных действий и расчетов, обнаруженных в ходе проверки выполненного задания.

Правила выполнения лабораторных работ.

Во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя оборудования лаборатории учащийся должен строго выполнять следующие правила.

1. На вводном занятии учащийся должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности, лабораторным стендом и виртуальными измерительными приборами.
2. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности учащийся должен расписаться в соответствующем журнале.
3. На вводном занятии за каждым студентом закрепляется постоянное рабочее место на весь учебный год.
4. Во время занятий в лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочее место без разрешения преподавателя.
5. Перед выполнением лабораторной работы необходимо выполнить раздел «Подготовка к работе» и заполнить соответствующий раздел лабораторной работы.
6. Перед выполнением экспериментов студент должен внимательно ознакомиться со схемой исследуемой цепи.
7. Сборку цепи производят при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме.
8. Категорически запрещается включать питание стенда без разрешения преподавателя.
9. Любые переключения можно производить при отключенном напряжении питания. Повторно включать стенд можно только после проверки схемы преподавателем.

10. При обнаружении повреждения оборудования стенда, а также при появлении специфического запаха необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и позвать преподавателя.

11. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда и привести в порядок рабочее место.

Оформление отчета по лабораторной работе.

1. Отчет по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями действующих ГОСТов и Стандартов учебного заведения.

2. Отчет включает в себя разделы, отражающие все этапы выполнения работы.

2.1. Номер, название и цель работы.

2.2. Расчетное задание.

Задание выполняется перед лабораторно – практической работой и является одним из основных элементов допуска к работе. Каждый этап расчета должен иметь свой подзаголовок. Приводятся расчетная схема, исходные данные, расчетные формулы, результаты расчетов в виде таблиц, необходимые графики и диаграммы, выполненные в масштабе.

2.3. Экспериментальная часть.

Включает в себя электрические схемы и результаты измерений, сведенные в таблицы; при необходимости дается обоснование выбираемых пределов измерения приборов, расчет цен деления. Каждый этап, опыт должен иметь свой подзаголовок.

2.4. Обработка результатов эксперимента.

Приводятся таблицы результатов расчетов по экспериментальным данным, все формулы, по которым делались эти расчеты, построенные по результатам экспериментов и расчетов диаграммы и графики, анализ результатов, ответы на все вопросы данного раздела руководства.

По указанию преподавателя в отчете даются ответы на контрольные вопросы, приведенные в работе. В отчете должные быть указаны группа, фамилия студента дата выполнения отчета.

3. Графическая часть отчета (схемы, таблицы, диаграммы, графики) выполняются карандашом с применением соответствующих чертежных инструментов или в компьютерном графическом редакторе.

3.1. Принципиальные электрические схемы вычерчиваются в соответствии с требованиями ГОСТа. Для лучшего понимания, чтения схемы ее главный элемент (например, якорь машины постоянного тока) рекомендуется вычерчивать более крупно, чем вспомогательные (реостаты, амперметры, и т.д.). В местах электрических соединений проводов ставят точки. Условные буквенные обозначения элементов схемы должны соответствовать ГОСТ.

3.2. Векторные диаграммы строятся в масштабе с соблюдением величин и углов и обязательным указанием масштабов (например, M_U = 10 В/см). Все векторы должны иметь буквенные обозначения в соответствии с ГОСТом; на топографических диаграммах напряжений векторы обычно не обозначаются, достаточно обозначить точки (вершины многоугольника напряжений) буквами в соответствии с буквенными обозначениями узловых точек на электрической схеме.

3.3. При построении графиков необходимо придерживаться требований ГОСТа. Так как задачей лабораторных исследований является выяснение общих закономерностей, все шкалы графиков должны начинаться с нуля. На осях графиков дается равномерная шкала с круглыми значениями оцифрованных делений. При необходимости (например, при построении амплитудно-частотной характеристики усилителя) одна из шкал может иметь логарифмическую разметку.

На рабочем поле графика с сеткой, соответствующей оцифрованным делениям шкал, указываются экспериментальные точки, максимально близко к которым проводится плавная кривая. Если на одном графике строится несколько различных кривых в функции одной и той же величины, для каждой из них вне рабочего поля графика (обычно слева от него) дается своя шкала. При построении семейства характеристик, отличающихся друг от друга значением какого-либо параметра, эти значения указываются на кривых.

4. Отчет по работе выполняется индивидуально каждым учащимся с указанием даты выполнения. Правильно выполненный отчет по предыдущей работе является одним из условий допуска к последующей работе.

Отчет должен содержать материалы по каждому разделу лабораторно – практической работы.

Отчет по каждой работе должен содержать выводы.

Подведение итогов лабораторной работы и критерии оценки -

Учащийся получает оценку по лабораторной работе после проверки её преподавателем и устного собеседования о порядке её выполнения.

Выполнение лабораторных работ дает учащимся возможность закрепить на практике полученные знания, глубже изучить процессы протекающие в электрических цепях.

Оценка лабораторно – практической работ***ы***

Оценка «5» ставится в том случае, если учащийся:

а) выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;

б) самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью;

в) в представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, электрические схемы, графики, вычисления и сделал выводы;

д) соблюдал требования безопасности труда.

Оценка «4» ставится в том случае, если выполнены требования к оценке «5», но:

а) опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерении,

б) или было допущено два-три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

Оценка «3» ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, или если в ходе проведения опыта и измерений были допущены следующие ошибки:

а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью,

б), или в отчете были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т. д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения,

г) или работа выполнена не полностью, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы.

Оценка «2» ставится в том случае, если:

а) работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов,

б) или опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно,

в) или в ходе работы и в отчете обнаружились в совокупности все недостатки, отмеченные в требованиях к, оценке «3».

Данный методический материал можно использовать при изучении дисциплин общепрофессионального цикла «Электротехника», «Электротехника с основами электроники», «Основы электротехники», по профессиям:

140446.03 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)

08.01.18 Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования

08.01.26 Мастер по ремонту и обслуживанию инженерных систем жилищно - коммунального хозяйства

23.01.07 Машинист крана (крановщик)

15.01.35 Мастер слесарных работ

по специальности

22.02.06 Сварочное производство

Контроль и оценка освоения учебной дисциплины по темам (разделам)

Элемент учебной дисциплины	Формы и методы контроля	
	Текущий контроль	
	Форма контроля	Проверяемые У, З, ОК, ПК
Тема 1 **Электрические цепи постоянного тока**	Устный опрос фронтальный опрос, тестирование, защита отчётов по практическим занятиям, тестирование.	З. 1, З. 2, З. 3, З. 6 У 1, У 2, У 3 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6
Тема 2 **Электромагнетизм**		З. 1, З. 2, З. 3, З. 6 У 1, У 2, У 3 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4, ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6
Тема 3 **Электрические цепи переменного тока**		З. 1, З. 2, З. 3, З. 4, З. 6, З. 8, З. 9 У 1, У 2, У 3, У 8, У 11 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4, ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6
Тема 4 **Электроизмерительные приборы и электрические измерения**		З. 6, З. 3, З. 5, З. 2 У 2, У 3, У 4, У 11 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4, ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6
Тема 5 **Трансформаторы**		З. 1, З. 2, З. 7, З. 8, З. 9 У 4, У 5, У 11 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4, ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6
Тема 6 **Электронные приборы и устройства**		З. 1, З. 3, З. 5, З. 8, З. 9 У 1, У 2, У 3, У 9, У 10, У 11 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4, ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6
Тема 7 **Электрические машины**		З. 1, З. 2, З. 7, З. 8, З. 9 У 3, У 6, У 7, У 8, У 11 ОК 1 - ОК 10 ПК 1.1 - 1.4, ПК 2.1 - 2.3, ПК 3.1 - 3.6

Тема № 1 Электрические цепи постоянного тока.

Лабораторная работа № 1 «Измерение сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока»

Цель работы

Приобретение навыков включения измерительных приборов в цепь и получения результатов измерения сопротивлений, токов, напряжений и мощностей

Общие сведения

Электрической цепью называют совокупность соединенных друг с другом элементов, по которым может протекать ***электрический ток.***

Для протекания тока необходимы ***источники*** электрической энергии – источники напряжения (ЭДС) или тока. Электрическая цепь содержит также ***потребители,*** в которых энергия электрического тока преобразуется в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и т.п.).

Для замыкания и размыкания цепей используют ***выключатели*** того или иного вида.

Электрический ток есть направленное (упорядоченное) движение ***носителей зарядов***. В проводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, в жидкостях (электролитах) носители положительных и отрицательных зарядов – ионы. В полупроводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, носителями положительных зарядов – дырки. Дырка представляет собой вакантное место в атоме полупроводника, незанятое электроном.

Ток, неизменный во времени, называют ***постоянным***. Он обозначается символом *I.* Количественно ток равен заряду *q*, который пересекает сечение проводника за единицу времени **t** (1 секунду):

$I = q / t.$

Для поддержания электрического тока требуется обеспечивать разделение носителей отрицательных и положительных зарядов, что и происходит в источниках.

Способность источника совершать работу по разделению зарядов характеризуется электродвижущей силой (ЭДС), которая обозначается символом *E*.

Когда источник подключен к цепи, возникает направленное движение зарядов под действием сил притяжения разноименных и отталкивания одноименных зарядов, т.е. электрический ток. Вне источника положительные носители заряда движутся от его положительного зажима (полюса) к отрицательному зажиму (полюсу). Направление движения отрицательных зарядов противоположно движению положительных зарядов. Работа, совершаемая при движении зарядов по элементам электрической цепи характеризуется напряжением, которое обозначается символом *U*.

Напряжение и ток на участке цепи постоянного тока связаны законом Ома:

$U = RI$ или $I = U/R,$

где R –коэффициент пропорциональности между током и напряжением, называемый сопротивлением.

Мощность преобразования электрической энергии в другие виды энергии выражается через ток и напряжение (закон Джоуля-Ленца):

$P = UI = RI^2 = U^2/R.$

Изображение электрической цепи с помощью условных обозначений называют ***схемой*** электрической цепи (рис 1).

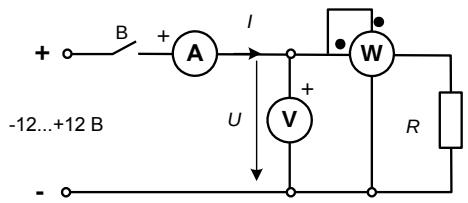


Рис. 1

На расчётных схемах (т.е. на схемах, предназначенных для расчёта электрической цепи) показывают стрелками направления токов и напряжений. За направление тока принимают направление движения положительных зарядов, а за направление напряжения – направление от положительного полюса источника к отрицательному. Когда истинные направления неизвестны, на схеме показывают условные (или предполагаемые) положительные направления.

Экспериментальная часть

Задание

Ознакомиться с измерениями токов, напряжений, сопротивлений и мощности с помощью виртуальных приборов и мультиметра, экспериментально убедиться в выполнении закона Ома и закона Джоуля-Ленца в электрической цепи постоянного тока.

Порядок выполнения эксперимента

Включите блок мультиметров, установите на одном из них переключатель в положение измерения сопротивлений (□), подключите к мультиметру с помощью соединительных проводов любое сопротивление из набора миниблоков, выберите ближайший превышающий измеряемое сопротивление предел измерения и запишите показание мультиметра $R_{изм}$ и номинальное сопротивление, указанное на этикетке миниблока:

$R_{изм}$ = ……Ом; $R_{ном}$ = ……Ом.

Вычислите относительное отклонение измеряемого сопротивления от номинального значения в % (относительную погрешность):

$$\Delta R\% = \frac{R_{изм} - R_{ном}}{R_{ном}} \times 100\% = ...$$

Соберите цепь в соответствии с принципиальной схемой (рис.1.1) и монтажной схемой (рис. 1.2), установив в наборную панель сопротивление $R_{ном}$=100…1000 Ом. Запишите значение сопротивления в табл. 1.

Включите компьютер и активизируйте виртуальные приборы, выберите пределы измерения.

Убедитесь, что при включении выключателя «**В»** в цепи появляется ток, а при выключении – исчезает.

Устанавливая регулятором напряжения указанные в табл. 1 значения, запишите в таблицу показания приборов. ***Не забывайте увеличивать или уменьшать пределы измерения в соответствии с подсказками компьютера.***

Вычислите значения мощности $P = UI$ и сопротивления $R = U/I$ и запишите результаты в столбцы таблицы «Вычисленные значения». Сравните результаты измерений и вычислений и сделайте выводы.

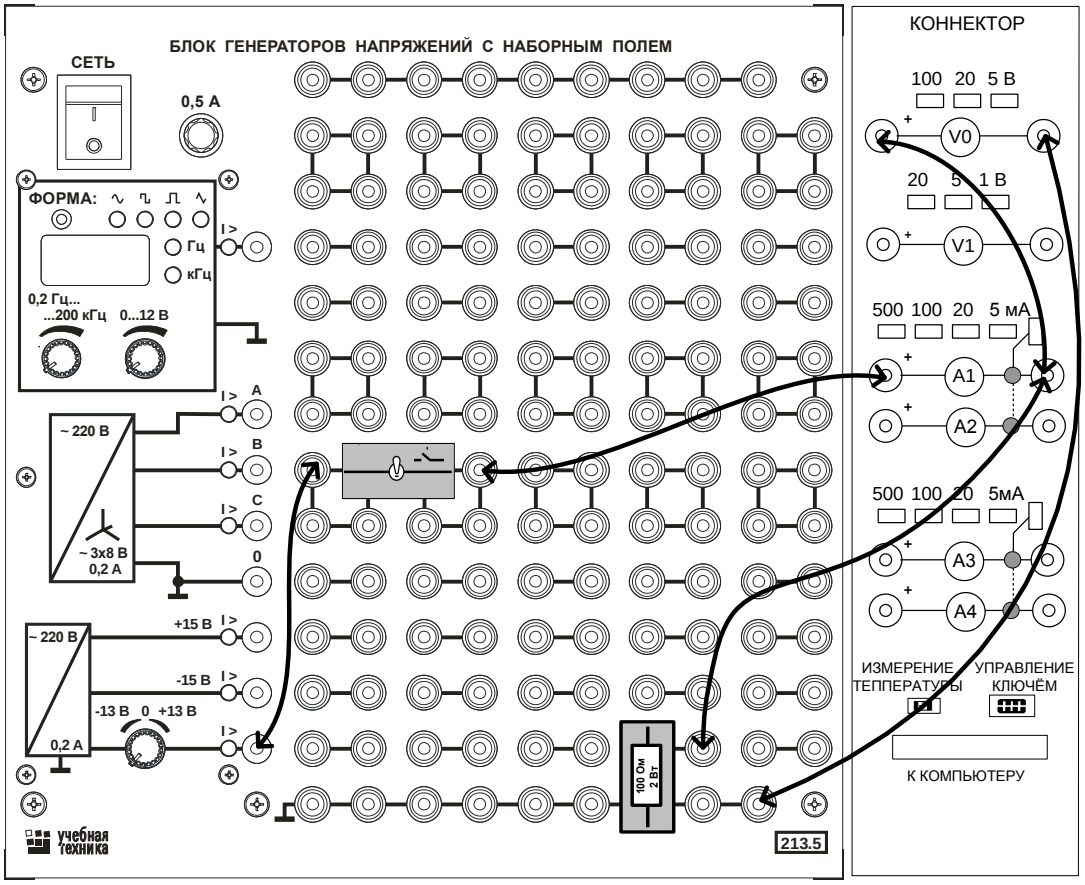


Рис. 1.2

Таблица 1

	Измеренные значения			Вычисленные значения	
$R_{ном}$, Ом	U, В	I, мА	P, Вт	P, Вт	R, Ом
	-5				
	4				
	6				
	8				
	12				

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу 2, необходимые расчёты.
2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

Контрольные вопросы

5. От каких параметров зависит величина тока на участке электрической цепи?
6. Как влияет величина тока в цепи на потребляемую мощность?
7. Каким должно быть сопротивление вольтметра, чтобы он не влиял на режим работы электрической цепи?
8. Каким должно быть сопротивление амперметра, чтобы он не влиял на режим работы электрической цепи?
9. Особенности режимов работы электрической цепи: номинального, холостого хода, короткого замыкания.
10. Как изменится потребляемая мощность, если ток в цепи увеличить в три раза?

Лабораторная работа № 2 «Исследование электрической цепи с последовательным соединением резисторов»

Цель работы

Исследование свойств последовательно соединённых резисторов

Общие сведения

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены последовательно (рис. 2.1), по ним проходит один и тот же ток. Величина тока определяется приложенным напряжением U и эквивалентным сопротивлением $R_{экв}$:

$I = U / R_{экв}$,

где $R_{экв} = \Sigma R = R_1 + R_2 + R_3$.

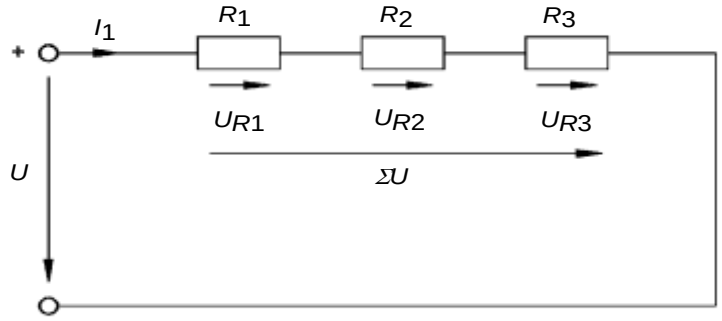


Рис. 2.1

На каждый отдельный резистор при этом приходится некоторая часть приложенного напряжения. Сумма напряжений на каждом резисторе в соответствии со вторым законом Кирхгофа равна полному приложенному напряжению:

$I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 = U$.

Экспериментальная часть

Задание

Измеряя токи и напряжения, убедиться, что ток одинаков в любой точке последовательной цепи и что сумма напряжений на резисторах равна напряжению, приложенному ко всей цепи. Сравнить результаты измерения с расчётом.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно монтажной схеме (рис. 2.2.2). Последовательно с резисторами 47, 100 и 220 Ом включите специальные миниблоки для подключения амперметра.
- С помощью двухжильного кабеля со штекером поочередно подключайте к этим миниблокам мультиметр в режиме измерения тока и измеряйте ток вдоль всей последовательной цепи. Убедитесь, что ток имеет одно и то же значение и запишите его в табл. 2.2.1.
- Затем измерьте напряжения на каждом резисторе, а также полное напряжение на входе цепи.
- Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток и падение напряжения на каждом резисторе. Результаты занесите в также табл. 2.2.1 и сравните с измеренными значениями.

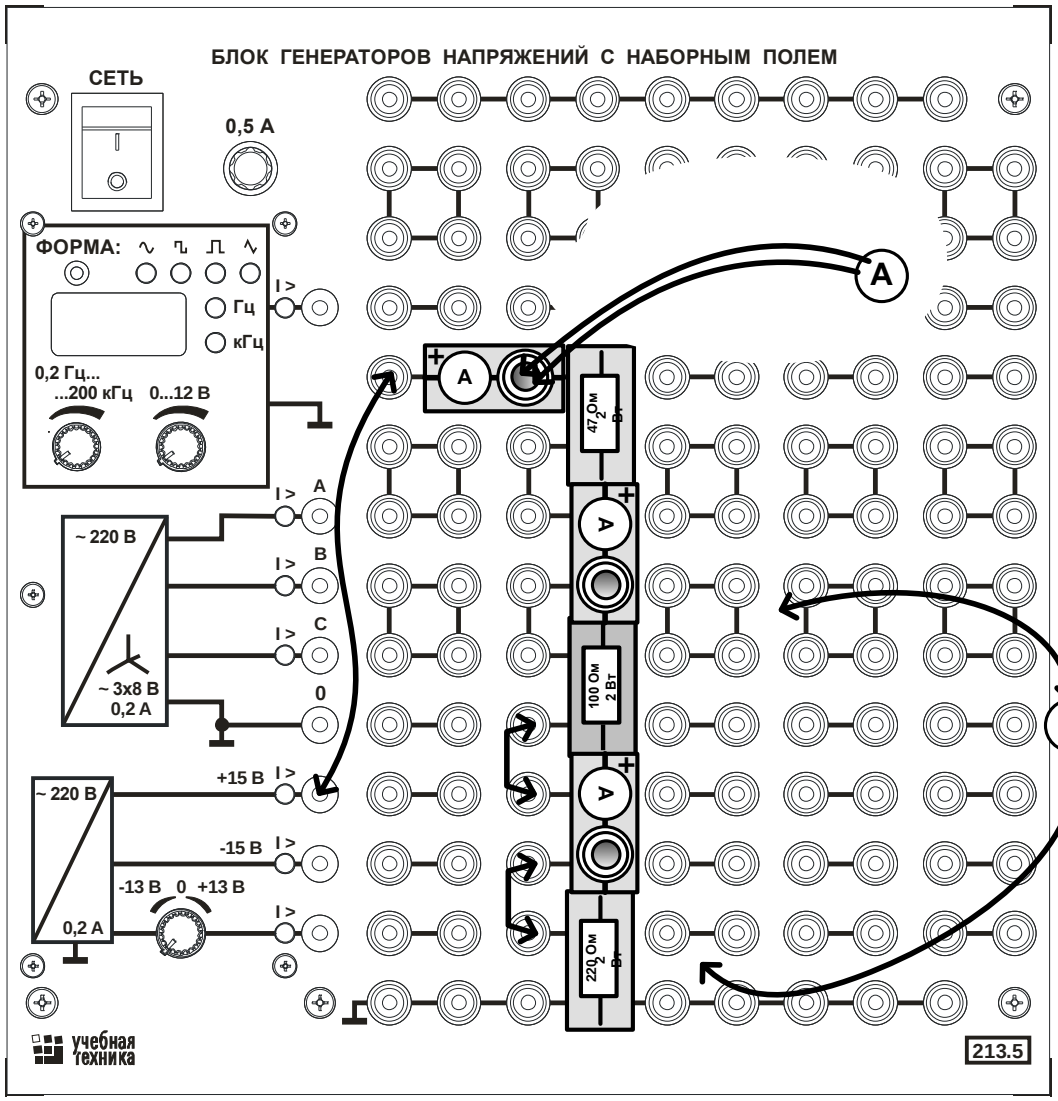


Рис. 2.2

Таблица 2.1

	Ток (I), мА	Падения напряжения на резисторах, В			Напряжение на входе цепи, В
		47 Ом (U_1)	100 Ом (U_2)	220 Ом (U_3)	$R_{экв}$=… Ом (U)
Измеренные значения					
Рассчитанные значения					

Проверьте выполнение второго закона Кирхгофа по экспериментальным и по расчётным значениям напряжений:

U = U1 + U2 + U3.

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, необходимые расчёты.
2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

Контрольные вопросы

1. Свойства последовательного соединения резисторов.
2. Закон Ома для полной электрической цепи.

3. Баланс напряжений.
4. Баланс мощностей. Мощность источника, мощность приёмника.
5. Мощность приёмника по закону Джоуля-Ленца.
6. На котором из двух последовательно соединённых резисторов с разным сопротивлением напряжение больше?
7. Какой из двух последовательно соединённых резисторов с разным сопротивлением потребляет меньшую мощность?
8. Как изменится напряжение на участках R_2 и R_3, если участок R_1 замкнуть накоротко *(участки соединены последовательно)?*

Лабораторная работа № 3 «Исследование электрической цепи с параллельным соединением резисторов»

Цель работы

Исследование свойств параллельно соединённых резисторов

Общие сведения

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены параллельно (рис. 3.1), все они находятся под одинаковым напряжением:

$U = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3}$

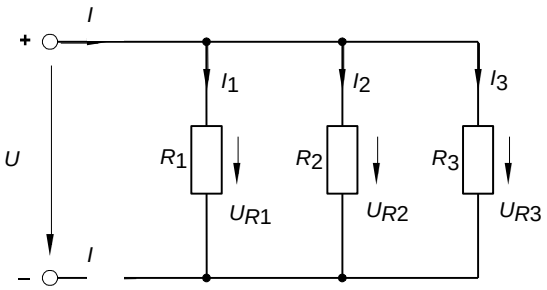


Рис. 3.1

В каждой ветви цепи протекает свой ток. Сумма токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа равна полному току:

$I = I_1 + I_2 + I_3$.

Величина тока ветви зависит от приложенного напряжения и сопротивления данной ветви:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Ток в неразветвленной части цепи зависит от приложенного напряжения и эквивалентного сопротивления цепи:

$$I_Э = \frac{U}{R_Э}$$

Для вычисления эквивалентного сопротивления цепи служит формула:

$$\frac{1}{R_Э} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Для цепи с двумя параллельно соединенными резисторами:

$$R_Э = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Экспериментальная часть

Задание

Измеряя напряжения и токи, убедиться, что напряжение, прикладываемое к каждому резистору, одинаково и что сумма токов ветвей равна полному току цепи. Проверить результаты измерения расчётом.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь согласно монтажной схеме (рис.3.2), вставив последовательно с каждым и резисторов (330, 220 и 470 Ом) специальные миниблоки для подключения амперметра.
- Измерьте напряжение на каждом резисторе, а также напряжение на источнике. Убедитесь, что все они одинаковы и запишите значение напряжения в табл. 3.
- С помощью мультиметра, специального кабеля со штекером и миниблоков для подключения амперметра измерьте токи в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты запишите в табл. 3.
- Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты занесите в табл. 3. и сравните с измеренными значениями.
- Проверьте как по экспериментальным, так и по расчётным данным, выполняется ли первый закон Кирхгофа:

I = I1 + I2 + I3.

Таблица 3

	Напряжение (*U*), В	Токи в ветвях, мА			Ток на входе цепи, мА
		330 Ом (I_1)	220 Ом (I_2)	470 Ом (I_3)	$R_{экв}$=… Ом (*I*)
Измеренные значения					
Рассчитанные значения					

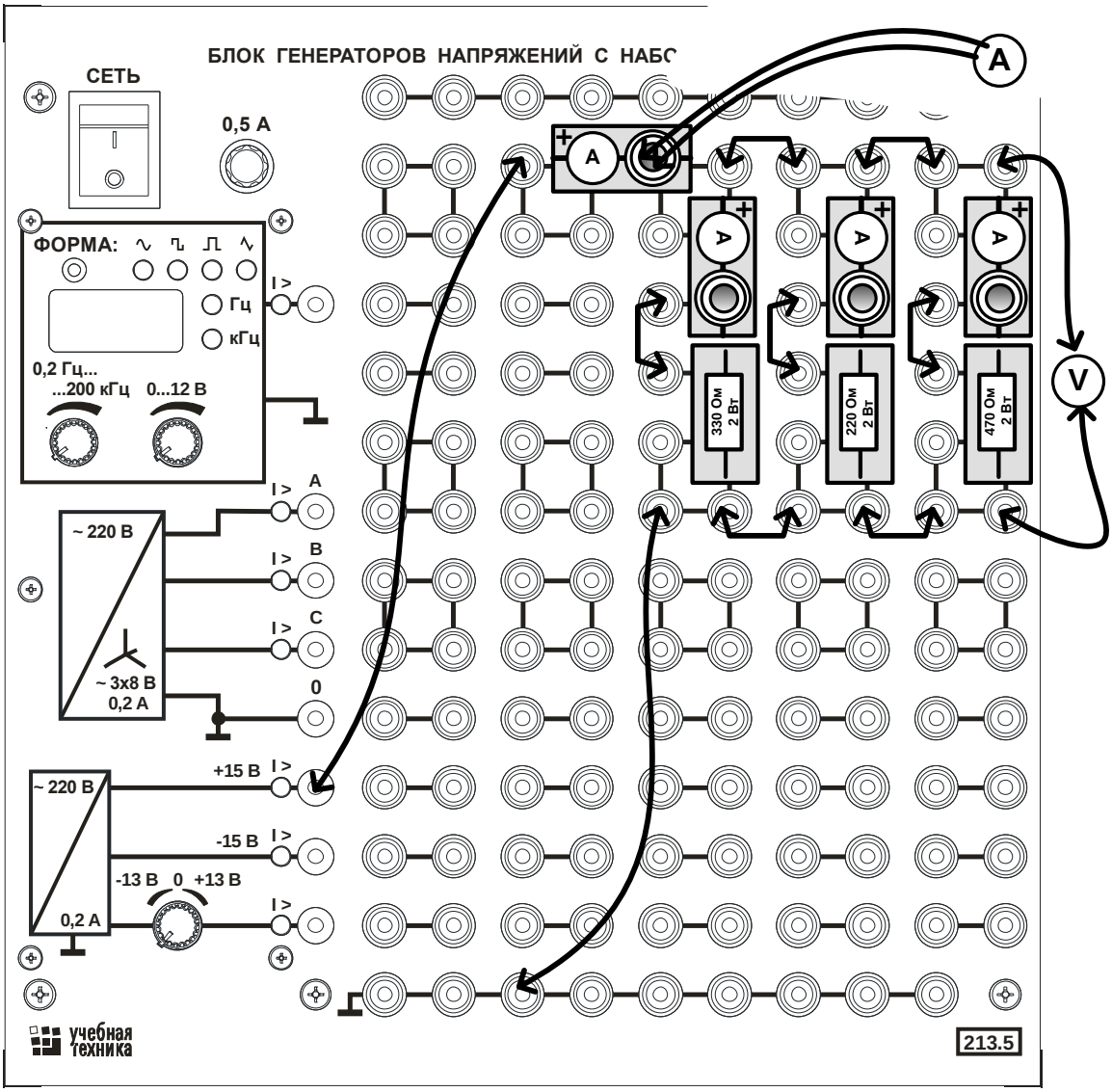


Рис. 3.2

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, необходимые расчёты.
2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

Контрольные вопросы

1. Что такое параллельное соединение резисторов?
2. Свойства параллельного соединения резисторов.
3. Эквивалентное сопротивление двух параллельно соединённых резисторов.
4. Эквивалентное сопротивление нескольких одинаковых параллельно соединённых резисторов.
5. Как изменится эквивалентное сопротивление при увеличении количества параллельно соединённых резисторов?
6. В каком из двух параллельно соединённых резисторов с разным сопротивлением протекает больший ток?
7. Как изменятся токи на участках R_1 и R_2, если разомкнуть участок с *K_3(участки соединены параллельно)?*

Лабораторная работа № 4 «Исследование электрической цепи со смешанным соединением резисторов»

Цель работы

Экспериментальная проверка первого и второго законов Кирхгофа и баланса мощностей

Общие сведения

На рис. 4.1 показан пример цепи со смешанным (т.е. последовательно- параллельным) соединением резисторов. Цепь состоит из последовательно (R1 и R2) и параллельно (R3 и R4) соединенных резисторов.

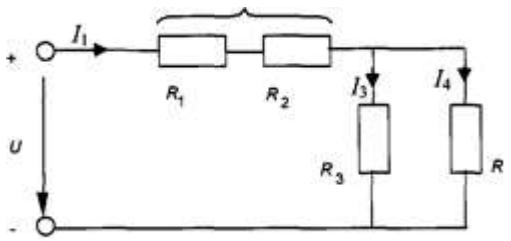


Рис. 4.1

Участки цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов относительно друг друга соединены последовательно. Чтобы вычислить полное сопротивление цепи сначала определяют эквивалентное сопротивление параллельного участка:

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}.$$

Затем определяют эквивалентное сопротивление всей цепи, состоящей теперь из трёх последовательно соединённых сопротивлений:

$$R_Э = R_1 + R_2 + R_{34}.$$

Для расчёта токов в этой цепи необходимо сначала определить по закону Ома ток в эквивалентном сопротивлении, он же в сопротивлениях R1 и R2:

$$I_1 = \frac{U}{R_Э}.$$

После этого опять же по закону Ома определяются напряжение на участке с параллельным соединением и токи в параллельных ветвях:

$$U_{34} = I_1 R_{34};\quad I_3 = \frac{U_{34}}{R_3};\quad I_4 = \frac{U_{34}}{R_4}.$$

Экспериментальная часть

Задание

Измерить токи, напряжения и мощность в цепи при смешанном соединении резисторов. Проверить результаты измерений расчётом. Проверить выполнение первого и второго законов Кирхгофа и баланса мощностей.

Порядок выполнения эксперимента

• Соберите цепь согласно монтажной схеме (рис. 4.2). В каждой из трёх ветвей этой схемы включены миниблоки для подключения амперметра. На входе цепи включён ваттметр для измерения полной мощности, потребляемой цепью

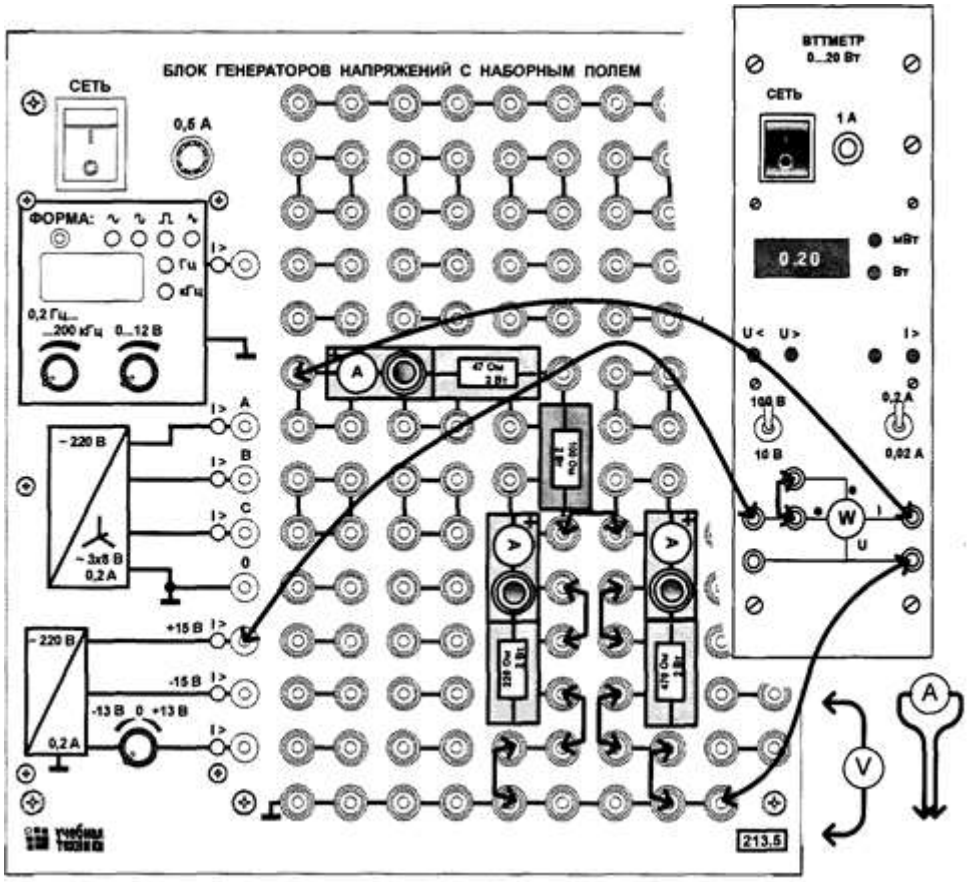


Рис 4.2

• Измерьте токи во всех ветвях, поочерёдно включая миллиамперметр в каждую ветвь цепи. Измерьте напряжения на всех элементах и мощность потребляемую всей цепью. При измерении мощности правильно выберите пределы измерения ваттметра (так, чтобы не светились светодиоды I > и I < 1 .Результаты измерений занесите в табл. 4.

Таблица 4

	I1, мА	I3, мА	I4, мА	***U,*** В	U_1 В	U_2, В	U34, В	***P,*** Вт
Измеренные величины								
Расчётные значения								

Убедитесь, что выполняются первый и второй законы Кирхгофа, а именно:

$$I_1 = I_3 + I_4;$$
$$U_1 = U_1 + U_2 + U_{34}.$$

• Рассчитайте токи и напряжения на всех элементах по формулам, приведённым в разделе «Общие сведения», занесите результаты в строку «Расчётные значения» и сравните их с экспериментальными данными. Проверьте также выполнение первого и второго законов Кирхгофа по расчётным значениям.

• Определите мощность, потребляемую каждым резистором и сумму мощностей потребителей:

$P_1 = I_1^2 R_1 =$ ..... Вт;

$P_2 = I_1^2 R_2 =$ ..... Вт;

$P_3 = I_3^2 R_3 =$ ..... Вт;

$P_4 = I_4^2 R_4 =$ ..... Вт;

..... $\sum P =$ ..... Вт.

Вычислите мощность, отдаваемую источником, и убедитесь, что она примерно равна сумме мощностей потребителей:

$P = UI =$ ……Вт.

Занесите это значение в табл. 4. и сравните с мощностью, измеренной ваттметром.

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, необходимые расчёты.
2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

Контрольные вопросы

1. При каком способе соединения резисторов уменьшается эквивалентное сопротивление?
2. Два резистора сопротивлением R соединены последовательно. Параллельно одному из резисторов подключили резистор сопротивлением R/2. Как изменится эквивалентное сопротивление всей цепи?
3. Как изменится величина тока при неизменном напряжении питания, если увеличить количество последовательно соединённых резисторов?
4. Как изменится величина тока при неизменном напряжении питания, если последовательное соединение трёх резисторов заменить на их параллельное соединение?
5. Как изменится мощность нагрузки, если увеличить количество работающих параллельно лампочек?

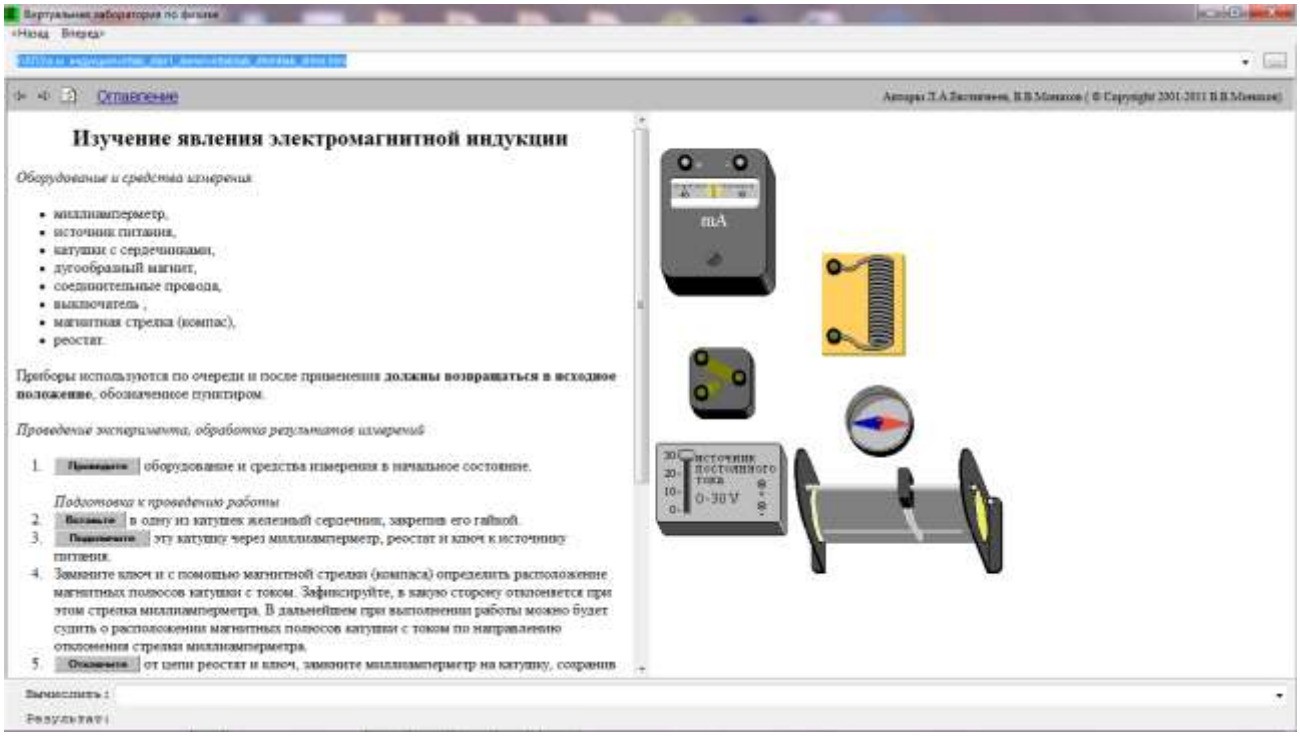
Тема № 2 Магнитные цепи.

Лабораторная работа № 5 «Электромагнитная индукция»

Цель работы: экспериментальное изучение явления магнитной индукции и проверка правила Ленца.

Теоретическая часть:

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре, который либо покоится в переменном по времени магнитном поле, либо движется в постоянном магнитном поле таким образом, что число линий магнитной индукции, пронизывающих контур, меняется. В нашем случае разумнее было бы менять во времени магнитное поле, так как оно создается движущимися (свободно) магнитом. Согласно правилу Ленца, возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. В данном случае наблюдать это мы можем по отклонению стрелки миллиамперметра.



Оборудование и средства измерения

- миллиамперметр,
- источник питания,
- катушки с сердечниками,
- дугообразный магнит,
- соединительные провода,
- выключатель ,
- магнитная стрелка (компас),
- реостат.

Приборы используются по очереди и после применения **должны возвращаться в исходное положение**, обозначенное пунктиром.

Проведение эксперимента, обработка результатов измерений

1. оборудование и средства измерения в начальное состояние.

Подготовка к проведению работы

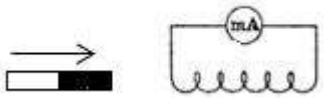
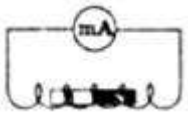
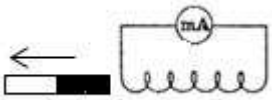
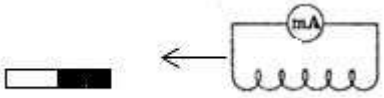
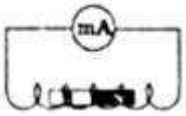
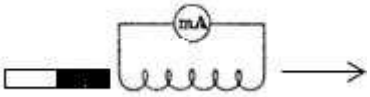
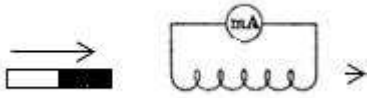
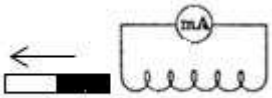
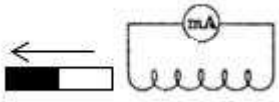
2. в одну из катушек железный сердечник, закрепив его гайкой.
3. эту катушку через миллиамперметр, реостат и ключ к источнику питания.
4. Замкните ключ и с помощью магнитной стрелки (компаса) определить расположение магнитных полюсов катушки с током. Зафиксируйте, в какую сторону отклоняется при этом стрелка миллиамперметра. В дальнейшем при выполнении работы можно будет судить о расположении магнитных полюсов катушки с током по направлению отклонения стрелки миллиамперметра.
5. от цепи реостат и ключ, замкните миллиамперметр на катушку, сохранив порядок соединения их клемм.

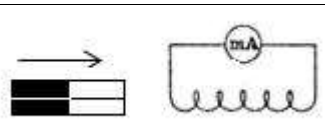
Проведение эксперимента

1. Приставьте дугообразный одним из полюсов к сердечнику
2. Выдвиньте сердечник из катушки одновременно наблюдая за стрелкой миллиамперметра.
3. Повторите наблюдение вдвигая сердечник внутрь катушки, а также меняя полюса магнита.
4. Проверьте выполнение правила Ленца в каждом случае.
5. Возьмите вторую катушку и ее так, чтобы оси катушек совпадали.
6. в обе катушки железный сердечник.

7. вторую катушку через выключатель к источнику.
8. Замыкая и размыкая ключ, наблюдайте отклонение стрелки миллиамперметра.
9. Проверьте выполнение правила Ленца.

Подготовьте для отчета таблицу и по мере проведения опытов заполните её.

№ п/п	Действия с магнитом и катушкой	Показания милли-амперметра, мА	Направления отклонения стрелки мил-лиампер-метра (вправо, влево или не откла-няется)	Направление индукционного тока (по правилу Ленца)
1	Быстро вставить маг-нит в катушку север-ным полюсом			
2	Оставить магнит в ка-тушке неподвижным после опыта 1			
3	Быстро вытащить маг-нит из катушки			
4	Быстро приблизить ка-тушку к северному по-люсу магнита			
5	Оставить катушку не-подвижной после опы-та 4			
6	Быстро вытащить ка-тушку от северного полюса магнита			
7	Медленно вставить в катушку магнит север-ным полюсом			
8	Медленно вытащить магнит из катушки			
9	Быстро вставить в ка-тушку 2 магнита се-верными полюсами			
10	Быстро вставить маг-нит в катушку южным полюсом			
11	Быстро вытащить маг-нит из катушки после опыта 10			

12	Быстро вставить в катушку 2 магнита южными полюсами			

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Какой ток называют индукционным?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Какой формулой он описывается?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Какова связь правила Ленца с законом сохранения энергии?

Тема № 4 Электрические цепи переменного тока.

Лабораторная работа № 6 Тема «Цепь синусоидального тока при последовательном соединении R, L, и C.»

Цель работы

Исследование электрической цепи синусоидального тока с последовательным соединением R, L и C при различном соотношении реактивных сопротивлений X_L и X_C.

Общие сведения

В цепи переменного тока кроме сопротивлений используются также катушки индуктивности и конденсаторы.

На сопротивлениях, которые в цепи переменного тока называют ещё ***активными сопротивлениями***, связь между током и напряжением определяется законом Ома. Если по активному сопротивлению R протекает синусоидальный ток $i = I_м \sin \omega t$, то напряжение на этом сопротивлении $u = U_м \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, а амплитуды тока и напряжения связаны законом Ома: $U_м = RI_м$.

Если по идеальной индуктивности L (т.е. активное сопротивление провода катушки равно нулю) протекает ток $i = I_м \sin \omega t$, то напряжение на ней $u = U_м \sin(\omega t + 90^o)$, т.е. напряжение на катушке опережает ток на 90^o, или ток отстаёт от напряжения по фазе на 90^o. Амплитуды тока и напряжения связаны соотношением, аналогичным закону Ома: $U_м = X_L I_м$, где $X_L = \omega L$ – ***индуктивное сопротивление***.

Наконец, если по конденсатору, ёмкость которого C, протекает синусоидальный ток $i = I_м \sin \omega t$, то напряжение на нём $u = U_м \sin(\omega t - 90^o)$ отстаёт от тока по фазе на 90^o. Амплитуда напряжения связана с током также выражением, аналогичным закону Ома: $U_м = X_C I_м$, где $X_C = 1/\omega C$ – ***ёмкостное сопротивление***.

Выражения аналогичные закону Ома применяются и для действующих значений синусоидальных токов и напряжений:

$U_R = RI_R$; $U_L = X_L I_L$; $U_C = X_C I_C$.

При последовательном соединении R, L, и C (рис. 3.1.1а) через все элементы протекает один и тот же ток. Тогда напряжение на всей цепи можно определить по второму закону Кирхгофа, как сумму напряжений на отдельных элементах. При сложении, чтобы учесть фазовые сдвиги между напряжениями, удобно использовать векторные диаграммы. На векторной диаграмме действующие (или амплитудные) значения токов и напряжений изображают векторами, длины которых равны численным значениям токов и напряжений, а углы между ними соответствуют фазовым сдвигам (рис. 3.1.1б).

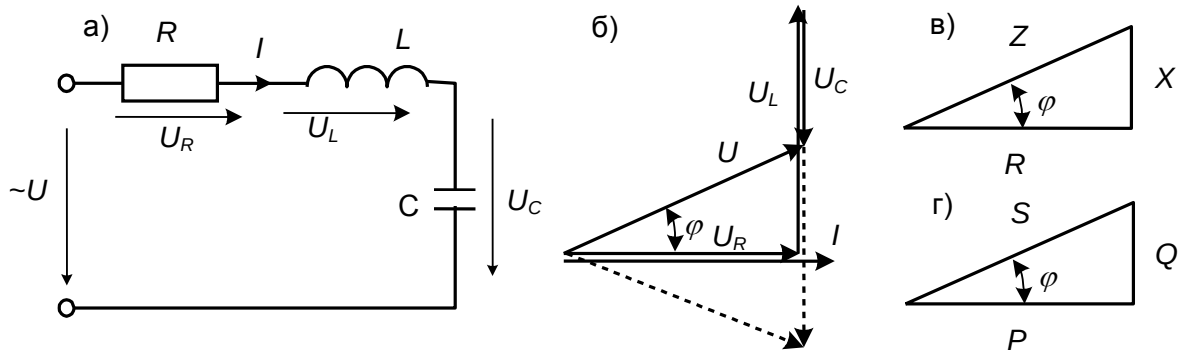


Рис. 6.1.

Из векторной диаграммы следует, что напряжение на всей цепи

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{R^2 I^2 + (X_L I - X_C I)^2} = ZI,$$

где $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ - ***полное сопротивление*** цепи при последовательном соединении *R, L*, и *C*, а $X = X_L - X_C$ – реактивное сопротивление.

Из векторной диаграммы следует также, что угол сдвига между током и напряжением

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{U_L - U_C}{U_R} = \operatorname{arctg}\frac{X_L - X_C}{R} = \operatorname{arctg}\frac{X}{R}$$

.Все соотношения между активным, реактивным и полным сопротивлениями, а также углом □,□хорошо иллюстрируются с помощью треугольника сопротивлений (рис. 3.1.1в), который подобен треугольнику напряжений.

Если $X_L > X_C$, то угол □ □положительный и напряжение опережает ток. Этот случай показан на векторной диаграмме сплошными линиями. Если же $X_L < X_C$, то угол □ отрицательный, и напряжение отстаёт от тока (показано на векторной диаграмме пунктиром). Если же, наконец, $X_L = X_C$, тогда и $U_L = U_C$ и □ = 0, и ток совпадает с напряжением по фазе. Этот случай называется ***резонансом напряжений***.

Условие резонанса $X_L = X_C$ или □ = 0 можно также записать в виде: $\omega L = \dfrac{1}{\omega C}$ или $\omega^2 LC = 1$.

Отсюда можно определить частоту, индуктивность или ёмкость, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс.

При синусоидальном токе мощность, потребляемая цепью, периодически изменяется во времени с двойной частотой. Однако, кроме переменной составляющей, она содержит также и постоянную составляющую. Среднее значение мощности за период называется ***активной мощностью***: $P = UI\cos\square = I^2R$. Она измеряется в Вт. Кроме активной мощности в цепях переменного тока используют понятия ***полной мощности*** $S = UI = I^2Z$, (В·А), ***реактивной мощности*** $Q = UI\sin\square = I^2X$, (вар), а также индуктивной мощности $Q_L = I^2X_L$, (вар) и ёмкостной мощности $Q_C = I^2X_C$, (вар). Очевидно, что $Q = Q_L - Q_C$. Все соотношения между мощностями можно проиллюстрировать треугольником мощностей, подобным треугольникам напряжений и сопротивлений (рис. 3.1.1г). При резонансе, когда $X = X_L - X_C = 0$ и □ = 0, реактивная мощность также равна нулю, а активная равна полной мощности.

Параметры цепи переменного тока *R*, X_L и X_C можно определить по показаниям трёх приборов вольтметра, амперметра и ваттметра. Измерив этими приборами *U*, *I*, и *P*, определяем $Z = U/I$ и □ = arccosP/UI. Затем из треугольника сопротивлений определяем $R = Z\cos\square$ и $X = Z\sin\square$.

Экспериментальная часть

Задание

Определить экспериментально параметры цепи с последовательным соединением *R*, *L* и *C* для трёх случаев $X_L > X_C$, $X_L = X_C$ и $X_L < X_C$. Построить векторные диаграммы. Сделать расчёт цепи при резонансе и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

Порядок выполнения работы

Измерьте омметром и запишите активное сопротивление катушки индуктивности 900 витков. R_K = ……..Ом.

Снимите с трансформатора катушку 900 витков, вставьте в неё ***только одну половинку*** разъёмного сердечника и соберите цепь, принципиальная схема которой показана на рис. 3.1.2, а монтажная – на рис. 3.1.3.

Активизируйте виртуальные приборы для измерения тока, напряжений и активной мощности.

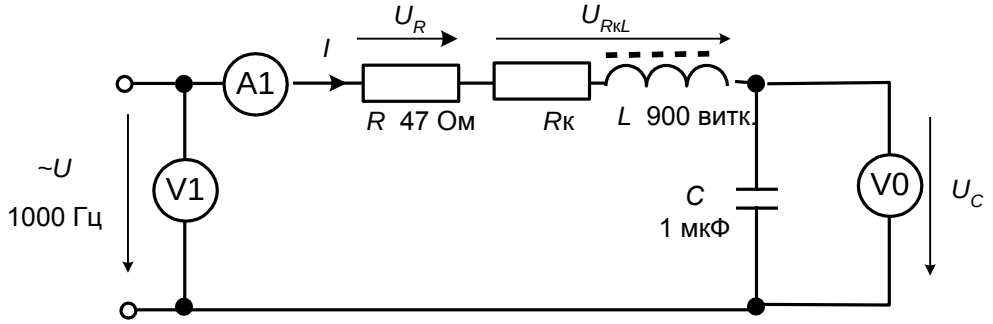


Рис. 6. 2

Установите переключатель сигналов генератора напряжений в положение «~», регулятор частоты – в положение 1000 Гц и регулятор напряжения в крайнее правое положение (максимальная амплитуда).

Включите генератор и, регулируя частоту, добейтесь резонанса по максимуму тока.

Измерьте мощность, ток и напряжения на входе цепи, на резисторе, на катушке с с активным внутренним сопротивлением и на конденсаторе. Запишите эти показания приборов в строку $X_L = X_C$ табл. 3.1.1.

Таблица 6.

f = ……Гц	Измерения						Вычисления	
	P, мВт	*I*, мА	*U*, В	U_R, В	$U_{RкL}$, В	U_C, В	$U_{Rк}=R_кI$, В	$U_L=\sqrt{U_{RкL}^2-U_{Rк}^2}$, В
C = 1 *мкФ* ($X_L=X_C$)								
C = 1,47 *мкФ* ($X_L>X_C$)								
C = 0,47 *мкФ* ($X_L<X_C$)								

Включите параллельно конденсатору 1 мкФ конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L > X_C$.

Оставьте в цепи один конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L < X_C$.

По опытным данным рассчитайте напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки и занесите результаты также в табл. 3.1.1.

На рис.6.1. постройте в масштабе векторные диаграммы для всех случаев.

По экспериментальным данным определите параметры цепи *Z*, □, *R*, *X* и сведите результаты расчёта в табл. 6.1.

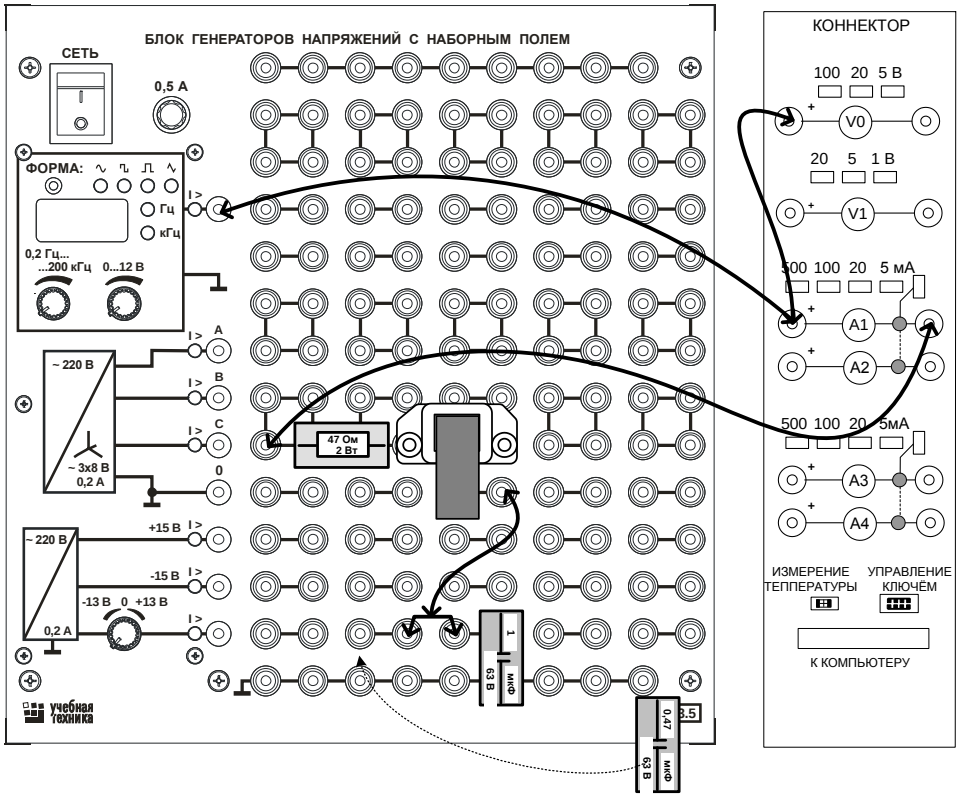


Рис. 6.1.

Определите те же эквивалентные параметры цепи *Z, R, X* по номинальным данным, указанным на этикетках (кроме катушки) и сведите результаты расчёта в табл. 3.1.3. Сравните результаты. Проверьте расчёт путём непосредственного измерения сопротивлений *Z, R, X* и угла □ виртуальными приборами.

Векторные диагнаммы, масштаб напряжений: .....В/см

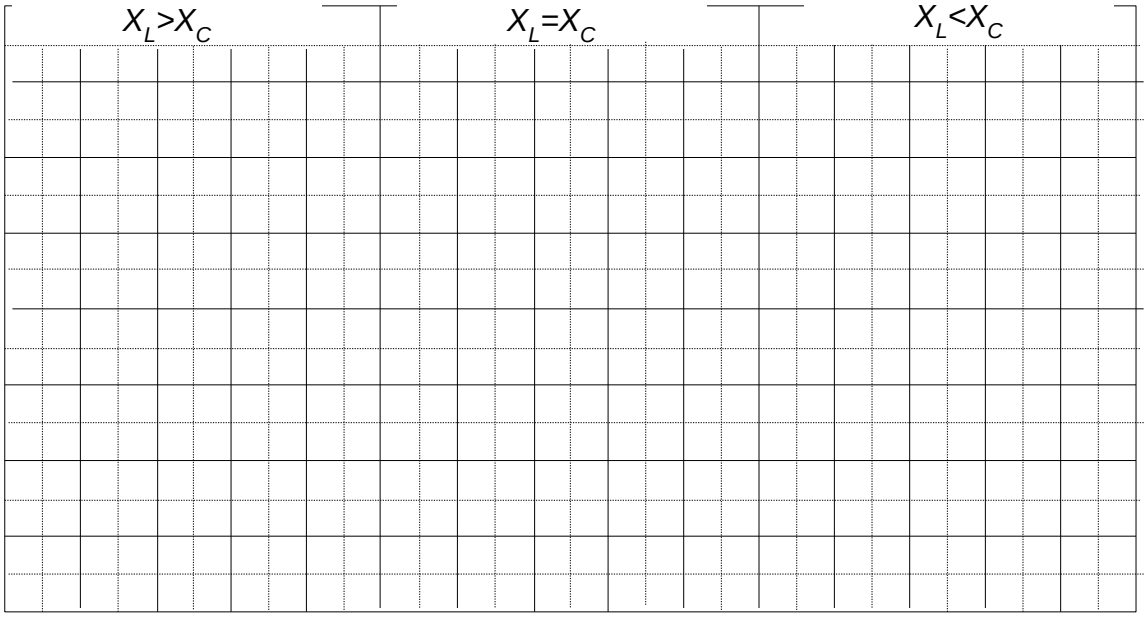


Рис. 6.4

Таблица 61.2

	$\cos\varphi = \frac{P}{UI}$	□, град	sin□	$Z = \frac{U}{I}$, Ом	R = Zcos□ , Ом	X = Zsin□, Ом
$X_L=X_C$						
$X_L>X_C$						
$X_L<X$						

Таблица 6.1.3

	$R=R_к+R$, Ом	$X_L=U_L/I$,Ом (по данным табл.7.1)	$X_C=\frac{1}{\omega C}$, Ом	$X=X_L-X_C$, Ом	$Z=\sqrt{R^2+X^2}$, Ом	$\varphi=arctg\frac{X}{R}$, град.
$X_L=X_C$						
$X_L>X_C$						
$X_L<X$						

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную
2. схему электрической цепи, таблицы, векторные диаграммы, необходимые расчёты.
3. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
4. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
5. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.
6. Контрольные вопросы
7. Что такое индуктивное, емкостное, активное сопротивления?
8. Как зависит от частоты индуктивное сопротивление?
9. Как зависит от частоты емкостное сопротивление?

Контрольные вопросы

1. Что понимают под активной мощностью? Единицы измерения.
2. Что понимают под реактивной мощностью? Единицы измерения.
3. Почему активная мощность в цепи с ёмкостью равна нулю?
4. Правила о сдвиге фаз для цепи с активным сопротивлением, индуктивностью,
5. емкостью, с активно-индуктивной и активно-ёмкостной нагрузкой.
6. Полное сопротивление в цепи переменного тока (формула).
7. Каковы условия для наступления в цепи резонанса напряжений?
8. Свойства резонанса напряжений?

Лабораторная работа № 7 Исследование трёхфазной цепи при соединении треугольником

Цель работы

Исследование трёхфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке, соединённой треугольником

Общие сведения

В схеме «треугольник» (рис. 7.1), нагрузка R_{AB}, R_{BC} и R_{CA} каждой фазы включается на ***линейное напряжение,*** которое в данном случае равно ***фазному*** ($U_Л = U_Ф$**).**

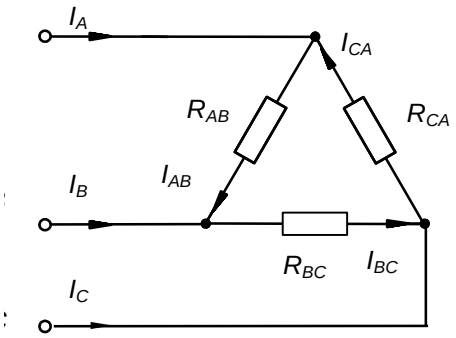


Рис. 7.1

Фазные токи I_{AB}, I_{BC} и I_{CA} определяются по закону Ома:

$$I_{AB}=\frac{U_{AB}}{R_{AB}};\qquad I_{BC}=\frac{U_{BC}}{R_{BC}};\qquad I_{CA}=\frac{U_{CA}}{R_{CA}}.$$

Линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа как векторные разности соответствующих фазных токов:

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

Построение этих векторов показано на векторной диаграмме (рис. 7.1.).

При симметричных напряжениях U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} и одинаковых нагрузках фаз $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = R$ токи также симметричны, причём, линейный ток по величине в √3 раз больше фазного. Это поясняется на векторных диаграммах (рис. 7.2).

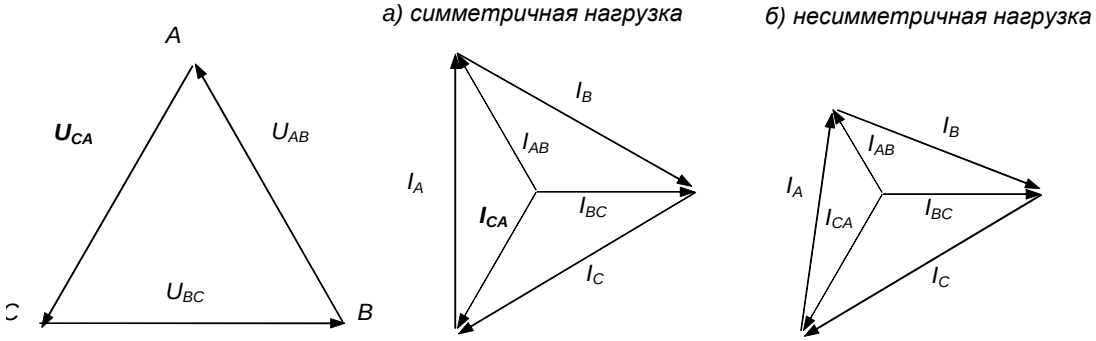


Рис. 7.2.

Суммарная мощность ΣP, потребляемая трехфазной нагрузкой при ее соединении в «треугольник», складывается из мощностей фаз $\Sigma P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$.

Также как и при соединении в звезду в случае симметричной нагрузки:

Активная мощность $\Sigma P = 3 \cdot U_Ф \cdot I_Ф \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \cos\varphi$.

Реактивная мощность $\Sigma Q = 3 \cdot U_Ф \cdot I_Ф \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \sin\varphi$.

Полная мощность $\Sigma S = 3 \cdot U_Ф \cdot I_Ф = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л$.

Активная мощность трёхфазной цепи при соединении в треугольник измеряется двумя ваттметрами так же, как и при соединении в звезду без нейтрального провода.

Экспериментальная часть

Задание

В трехфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник измерить действующие значения токов и напряжений, мощность, простроить векторные диаграммы и проверить баланс мощностей для следующих случаев:

Симметричная активная нагрузка.

Несимметричная активная нагрузка.

Несимметричная смешанная нагрузка.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь с симметричной нагрузкой (**R_{AB} = R_{BC} = R_{CA}** = 1 кОм**)** согласно принципиальной схеме (рис. 4.2.3) и монтажной схеме (рис. 4.2.4).

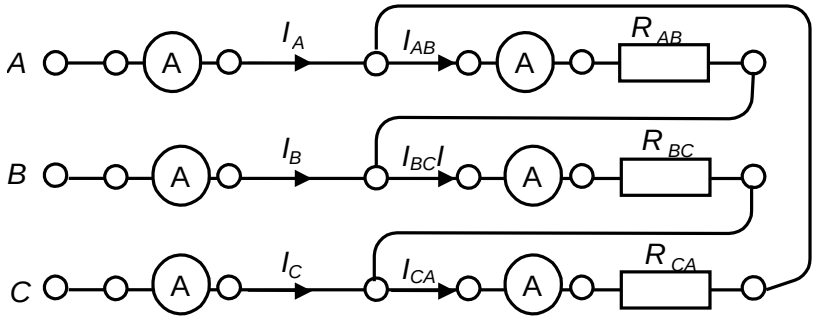


Рис. 7.3

- Измерьте мультиметрами (или виртуальными приборами) напряжения и токи, указанные в табл. 7.1 и вычислите мощности.
- Подключая токовую цепь ваттметра (виртуального или реального) сначала в фазу *A*, а цепь напряжения – на напряжение U_{AB}, затем токовую цепь в фазу С, а цепь напряжения – на напряжение U_{CB}, измерьте две мощности и вычислите суммарную мощность. Проверьте баланс мощностей. ***(Для переключения ваттметра из одной цеп в другую, также как и амперметра, используйте специальный коммутационный миниблок «амперметр» и пару проводников с коаксиальным разъёмом!)***.
- Повторите измерения и вычисления для несимметричной нагрузки с (R_{AB} = 1 кОм, R_{BC} = 330 Ом, R_{CA} = 470 Ом). Повторите измерения и вычисления, заменив резистор фазы В конденсатором 4,4 мкФ, а резистор фазы С – катушкой индуктивности 900 витков с собранным ферромагнитным сердечником.
- Выберите масштабы токов и напряжений и постройте векторные диаграммы для всех случаев.

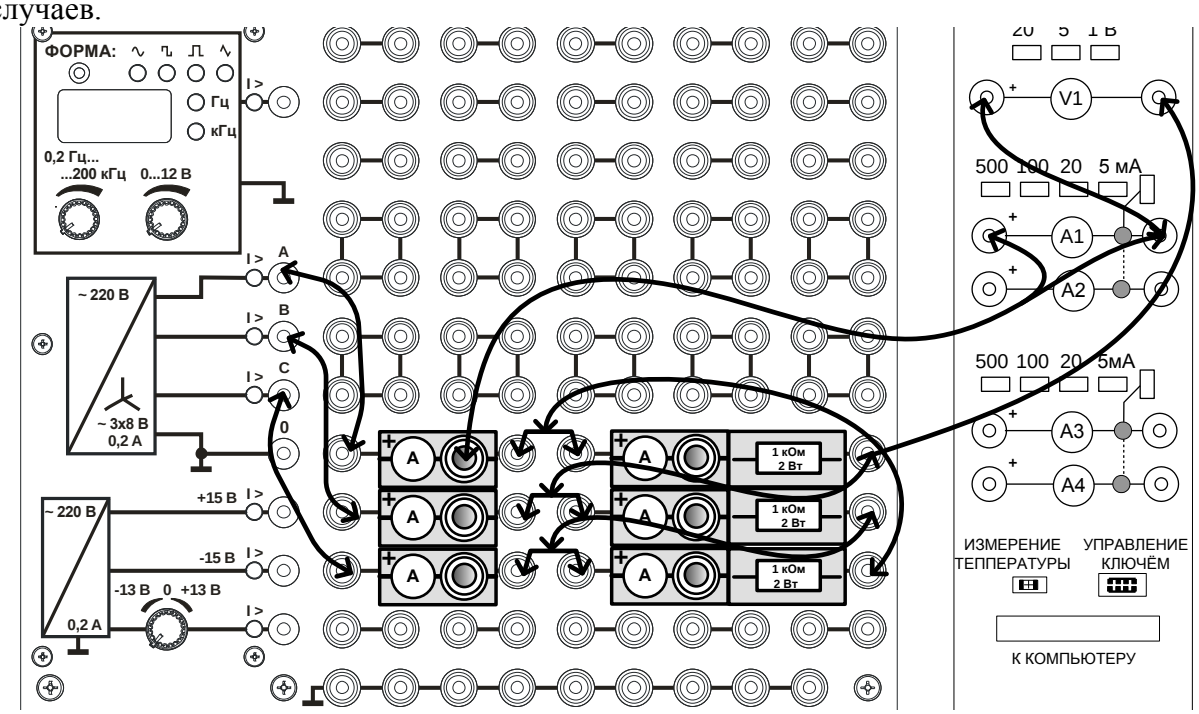


Рис. 7.4

Таблица 7.1

Соединение «треугольник»		Симметричная активная нагрузка	Несимметричная активная нагрузка	Несимметричная смешанная нагрузка
Фазные токи, мА	I_{AB}			
	I_{BC}			
	I_{CA}			
Линейные токи, мА	I_A			
	I_B			
	I_C			
Линейные напряжения, В	U_{AB}			
	U_{BC}			
	U_{CA}			
Рассчитанныемощности, мВт	P_{AB}			
	P_{BC}			
	P_{CA}			
	ΣP			
Измеренные мощности, мВт	P_1			
	P_2			

	ΣP			

Векторные диаграммы

1. Симметричная активная нагрузка $R_A = R_B = R_C = 1$ кОм

m_U=.....В/см, m_I = ……мА/см

2. Несимметричная активная нагрузка $R_A = 1$ кОм, $R_B = 330$ Ом, $R_C = 470$ Ом

3. Смешанная нагрузка: $R_A = 1$ кОм, $C_B = 4{,}4$ мкФ, $L_C \rightarrow$ катушка 900 витк.

m_U=.....В/см, m_I = ……мА/см

Требования к отчёту

В отчёте необходимо указать

1. номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, векторные диаграммы напряжений и токов в масштабе.
2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под соединением приемников энергии треугольником?
2. Что понимают под симметричной нагрузкой?
3. Как рассчитываются мощности P, Q, £при симметричной нагрузке?
4. Соотношение напряжений, фазного иФ и линейного иЛ, при соединении приемников энергии треугольником.
5. Соотношение фазных и линейных токов при симметричной нагрузке, соединённой треугольником.
6. Как определяются линейные токи при неравномерной нагрузке, соединённой треугольником?

Лабораторная работа № 8 Тема «Исследование трёхфазной цепи при соединении звездой»

Цель работы

Исследование трёхфазной цепи с нейтральным проводом и без нейтрального провода при обрыве и коротком замыкании фазы «*B*»

Общие сведения

Если нагрузки (приемники) соединены в трехфазную цепь по схеме «звезда» (рис. 8.1), то к сопротивлениям нагрузки приложены фазные напряжения. Линейные напряжения ($U_Л$) в √3 раз больше фазных ($U_Ф$), а линейные токи ($I_Л$) равны фазным ($I_Ф$) и определяются по закону Ома:

$$I_A = \frac{U_A}{R_A}; \qquad I_B = \frac{U_B}{R_B}; \qquad I_C = \frac{U_C}{R_C},$$

Ток нейтрали (I_N) равен векторной сумме этих токов: $\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C.$

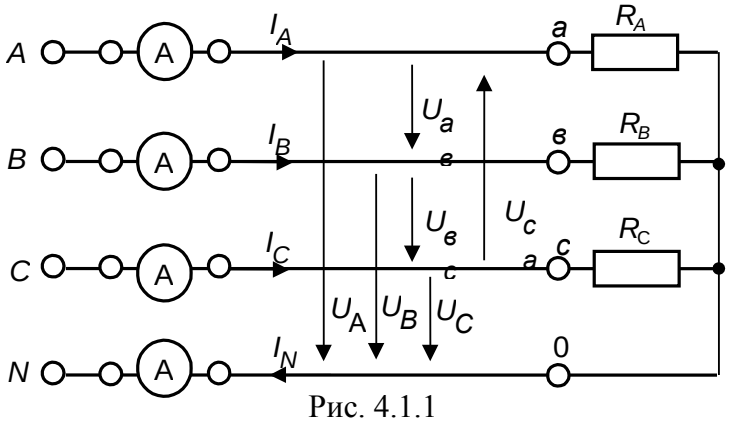


Рис. 4.1.1

При симметричных напряжениях U_A, U_B, U_C и одинаковых сопротивлениях $R_A = R_B = R_C = R$ токи I_A, I_B, I_C также симметричны и их векторная сумма (I_N) равна нулю. Тогда $I_Л = I_Ф = U_Ф / R$; $I_N = 0$.

Если же сопротивления фаз нагрузки неодинаковы, то через нулевой провод протекает некоторый ток $I_N \neq 0$, а в схеме без нейтрали происходит смещение точки 0 на векторной диаграмме напряжений. Это поясняется на векторных диаграммах (рис. 8.2).

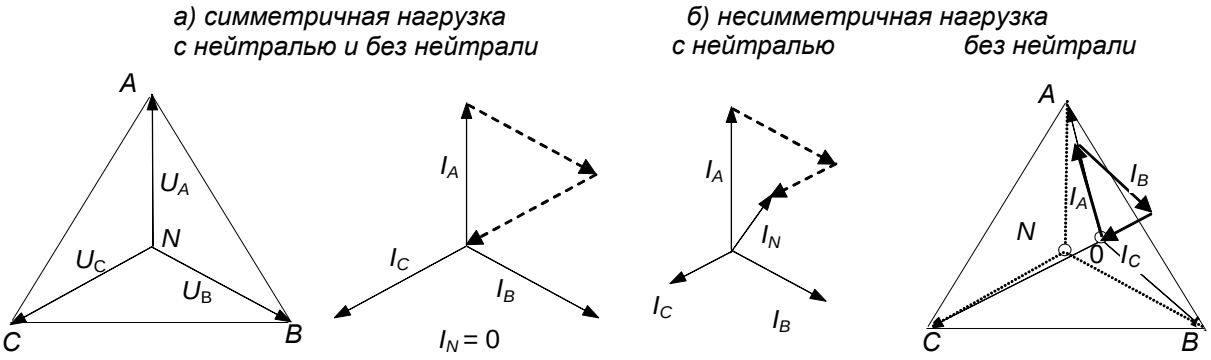


Рис. 4.1.2

Мощность складывается из мощностей трёх фаз: $\Sigma P = P_A + P_B + P_C$. При симметричной и чисто активной нагрузке, имеем: $\Sigma P = 3\ P_Ф = 3U_Ф\, I_Ф = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л$.

При смешанной (активно-индуктивной или активно-емкостной) нагрузке в симметричной трёхфазной цепи:

Активная мощность $\Sigma P = 3 \cdot U_Ф \cdot I_Ф \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \cos\varphi$.

Реактивная мощность $\Sigma Q = 3 \cdot U_Ф \cdot I_Ф \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \sin\varphi$.

Полная мощность $\Sigma S = 3 \cdot U_Ф\, I_Ф = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л$.

Активная мощность в четырёхпроводной трёхфазной цепи измеряется с помощью трёх ваттметров (рис. 4.1.3а), а в трёхпроводной - с помощью двух ваттметров (рис. 8.3б).

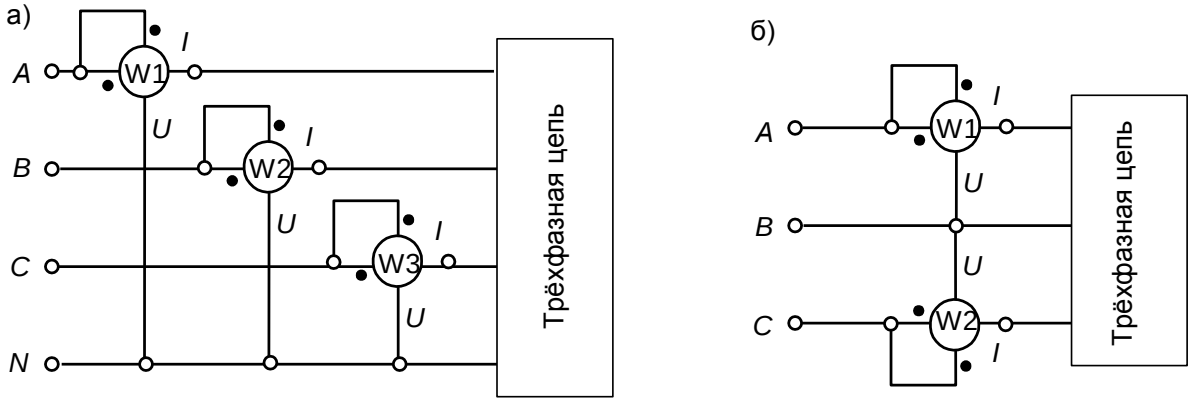


Рис. 8. 3

Экспериментальная часть

Задание

В трехфазной цепи при соединении нагрузки в звезду измерить действующие значения токов и напряжений, мощность, простроить векторные диаграммы и проверить баланс мощностей для следующих случаев:

- Симметричная активная нагрузка с нейтральным проводом и без него.
- Несимметричная активная нагрузка с нейтральным проводом и без него.
- Несимметричная смешанная нагрузка с нейтральным проводом и без него.

Порядок выполнения эксперимента

- Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой (**$R_A = R_B = R_C$** = 1 кОм**)** согласно принципиальной схеме (рис. 8.1.) и монтажной схеме (рис. 8.4). Включите компьютер и виртуальные приборы.

- Измерьте напряжения, токи и мощности на нагрузке в схеме с нейтральным проводом. Результаты измерений занесите в табл. 8
- Рассчитайте мощности фаз и суммарную мощность. Результаты запишите также в табл. 8. Сравните результаты.
- Уберите из схемы нейтральный провод (перемычку между точками N и 0) и снова измерьте токи и напряжения.
- Подключая токовую цепь виртуального ваттметра сначала в фазу *A*, а цепь напряжения – на напряжение U_{AB}, затем токовую цепь в фазу С, а цепь напряжения – на напряжение U_{CB}, измерьте две мощности и вычислите суммарную мощность. Проверьте баланс мощностей.

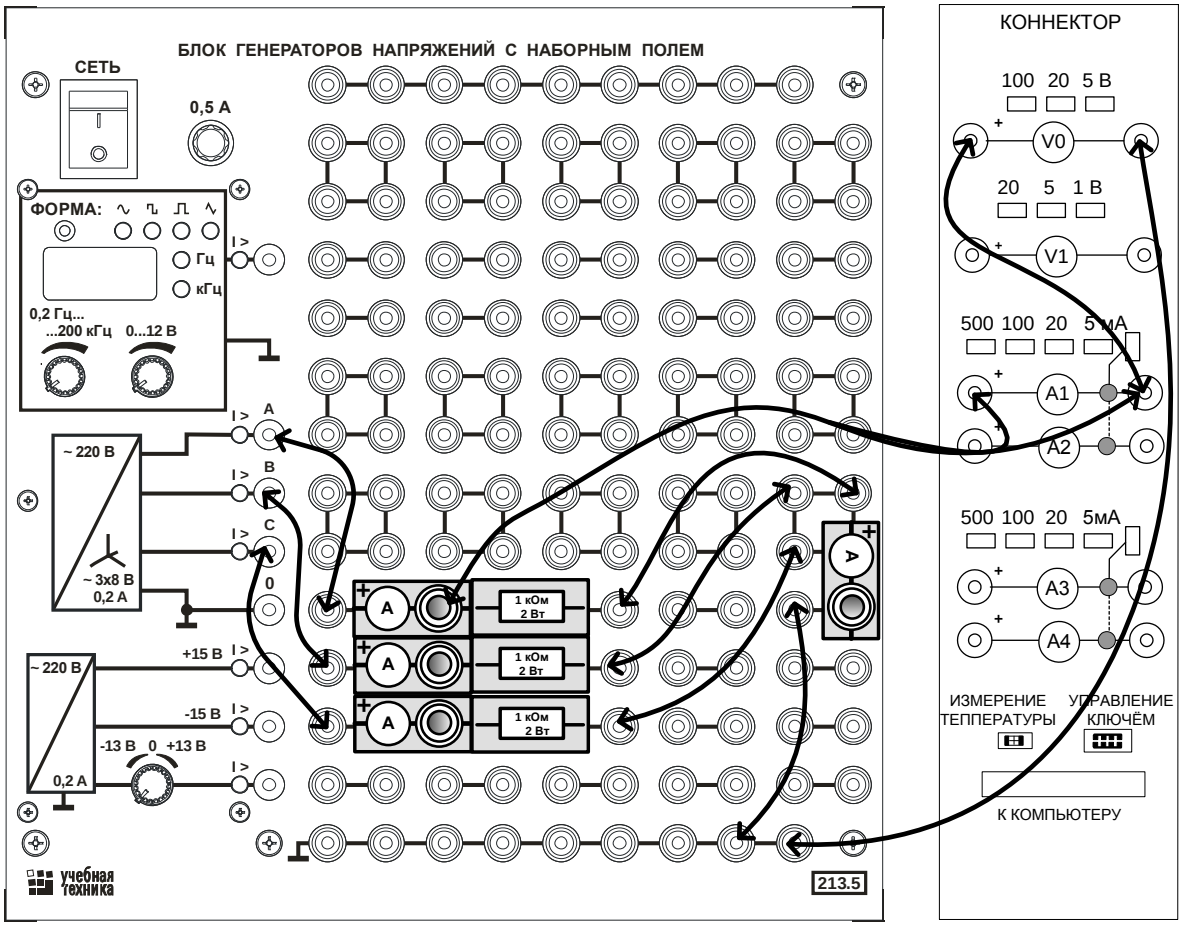


Рис. 8.4

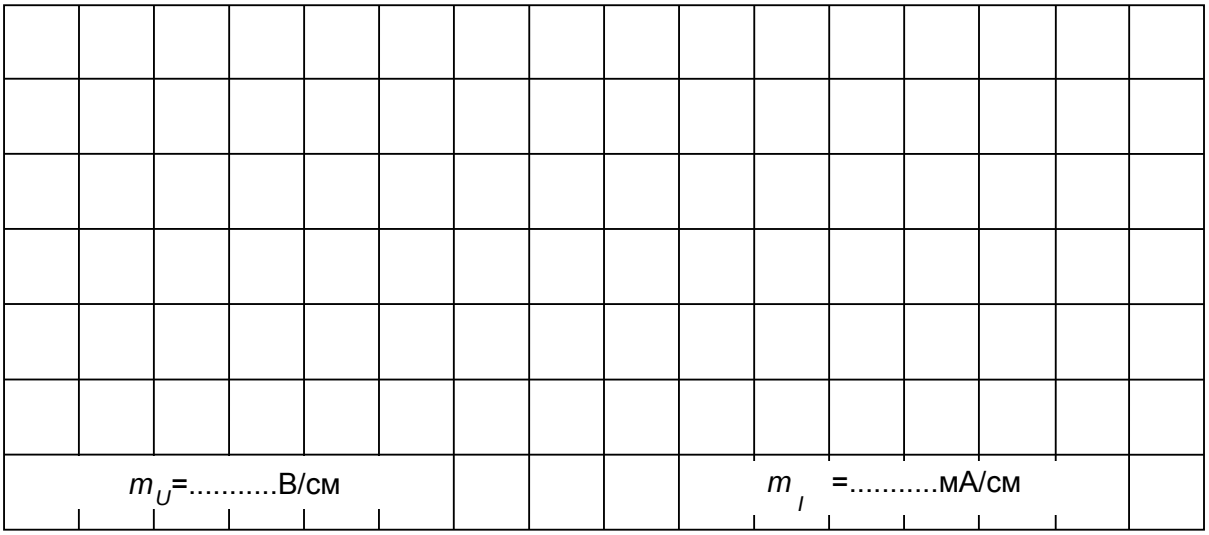
- Повторите измерения и вычисления для несимметричной нагрузки с нейтральным и без нейтрального провода (R_A = 1 кОм, R_B = 330- Ом, R_C = 470 Ом).
- Повторите измерения и вычисления, заменив резистор фазы В конденсатором 4,4 мкФ, а резистор фазы С – катушкой индуктивности 900 витков с собранным ферромагнитным сердечником. Выберите масштабы токов и напряжений и постройте векторные диаграммы для всех случаев.

Таблица 8

Схема «звезда»		Симметричная активная нагрузка		Несимметричная активная нагрузка		Несимметричная смешанная нагрузка	
		с нейтралью	без нейтрали	с нейтралью	без нейтрали	с нейтралью	без нейтрали
Фазные токи, ток нейтрали мА	I_A						
	I_B						
	I_C						
	I_N						
Линейные напряжения, В	U_{AB}						
	U_{BC}						
	U_{CA}						
Фазные напряжения, В	U_A						
	U_B						
	U_C						
Рассчитанныемощности, мВт	P_A						
	P_B						
	P_C						
	ΣP						
Измеренные мощности, мВт	P_1						
	P_2						
	P_3		-		-		-
	ΣP						

Векторные диаграммы

1. Симметричная активная нагрузка $R_A = R_B = R_C = 1$ кОм



2. Несимметричная активная нагрузка $R_A = 1$ кОм, $R_B = 330$ Ом, $R_C = 470$ Ом

	С нейтралью								Без нейтрали						

m_U=.....В/см, m_I = ……мА/см

3. Смешанная несимметричная нагрузка фаз:
R_A = 1 кОм, C_B = 4,4 мкФ, L_C → катушка 900 витков с сердечником

	С нейтралью								Без нейтрали						
m_U=..... В/ см									m_I=..... мА/ см						

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, векторные диаграммы.
2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

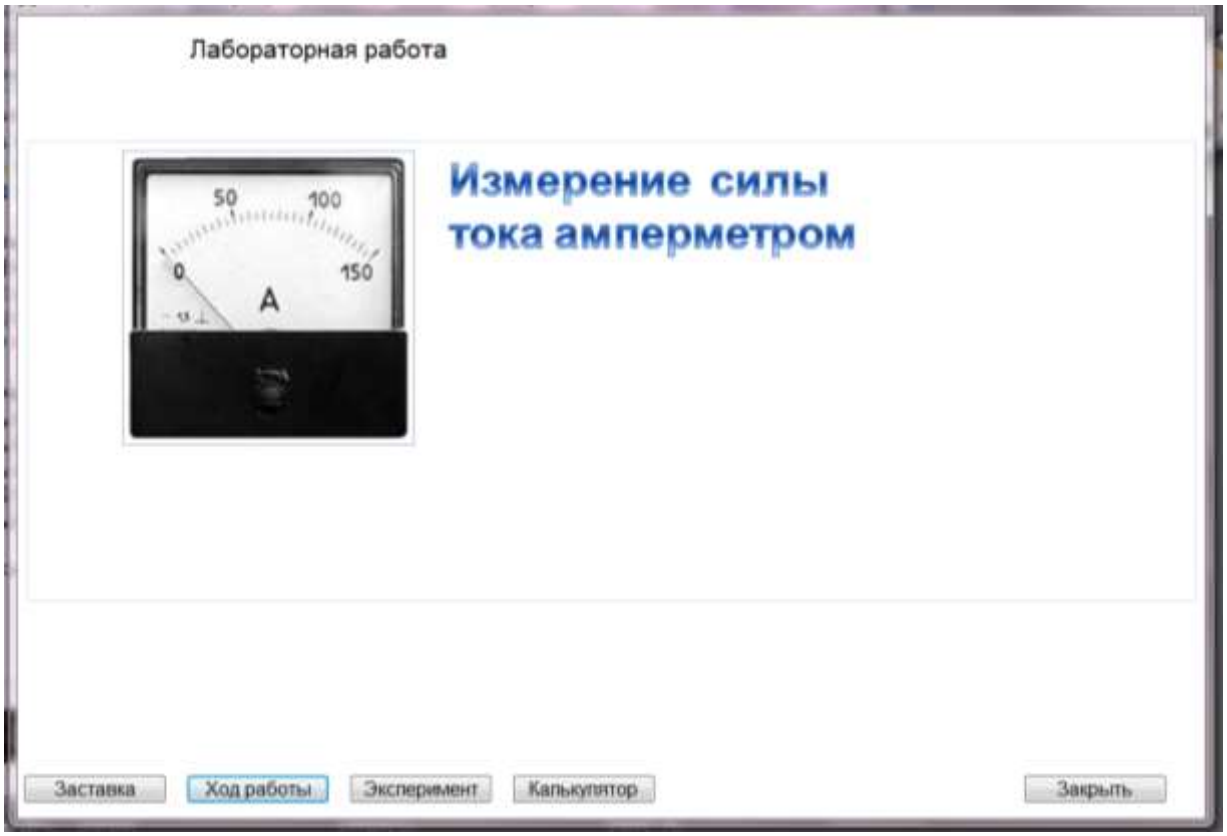
Контрольные вопросы

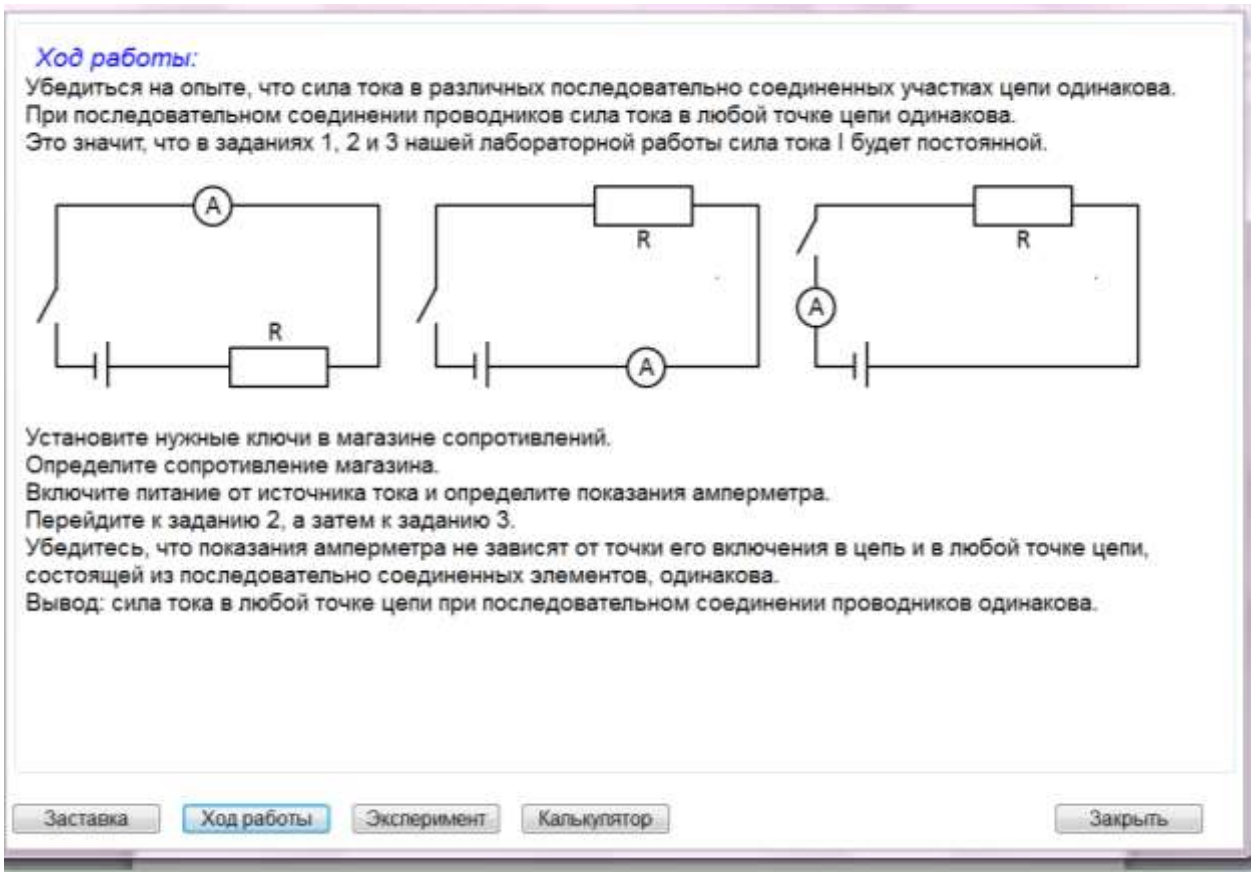
1. Соотношение напряжений (фазного $u_Ф$ и линейного $u_Л$) при симметричной нагрузке, соединённой звездой.
2. Что такое «перекос фаз»? Как уменьшить «перекос фаз»?
3. Как изменятся при обрыве фазы *A (C)* напряжение и ток в оставшихся фазах при наличии нейтрального провода?
4. Как изменятся при обрыве фазы *A(C)*напряжение и ток в оставшихся фазах без нейтрального провода?
5. Как изменятся при коротком замыкании фазы *A(C)*напряжение и ток в оставшихся фазах при наличии нейтрального провода?
6. Как изменятся при коротком замыкании фазы *A(C)*напряжение и ток в оставшихся фазах без нейтрального провода?

7. Роль нейтрального провода.

№ 4 Электроизмерительные приборы и электрические измерения

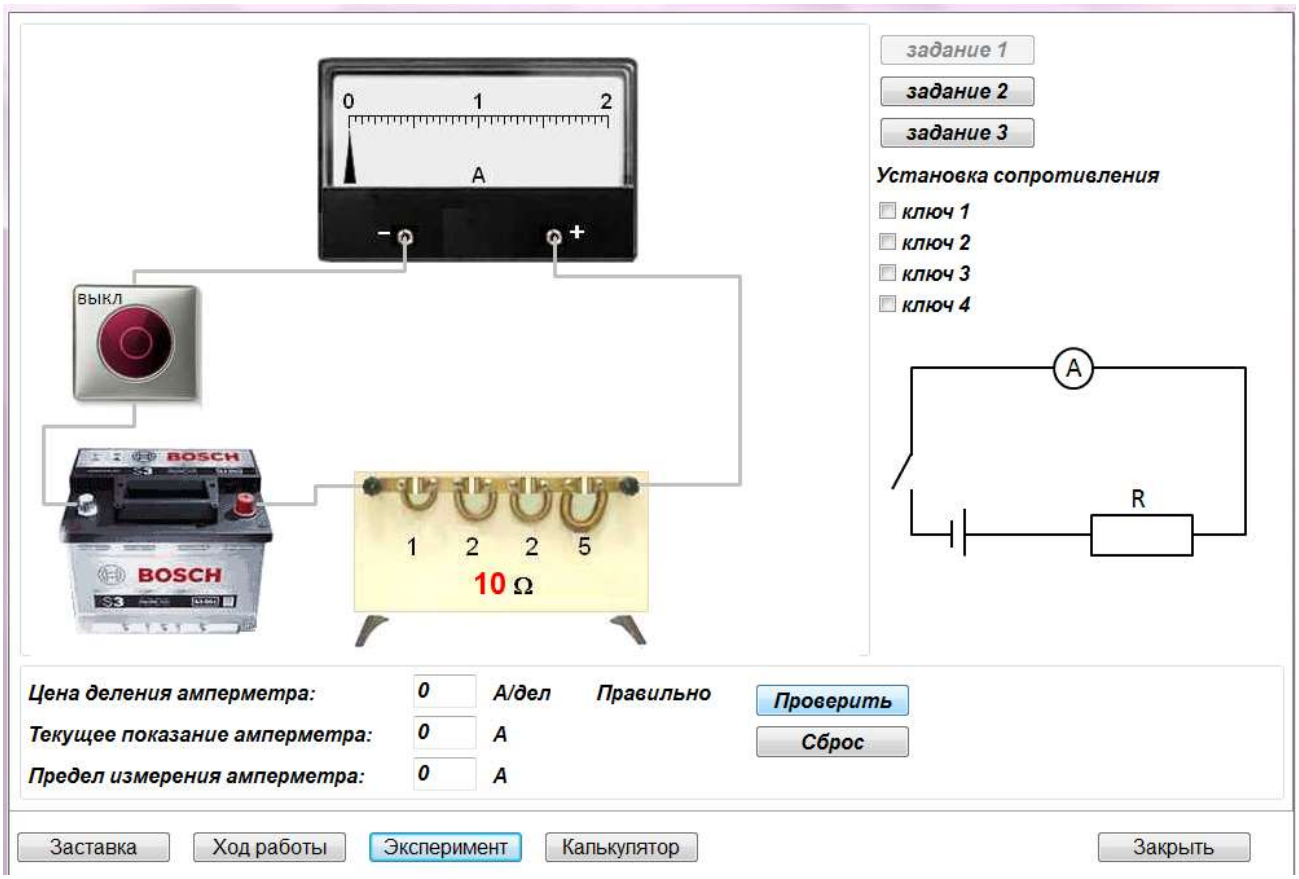
Лабораторная работа № 9 «Измерение силы, напряжения и сопротивления».

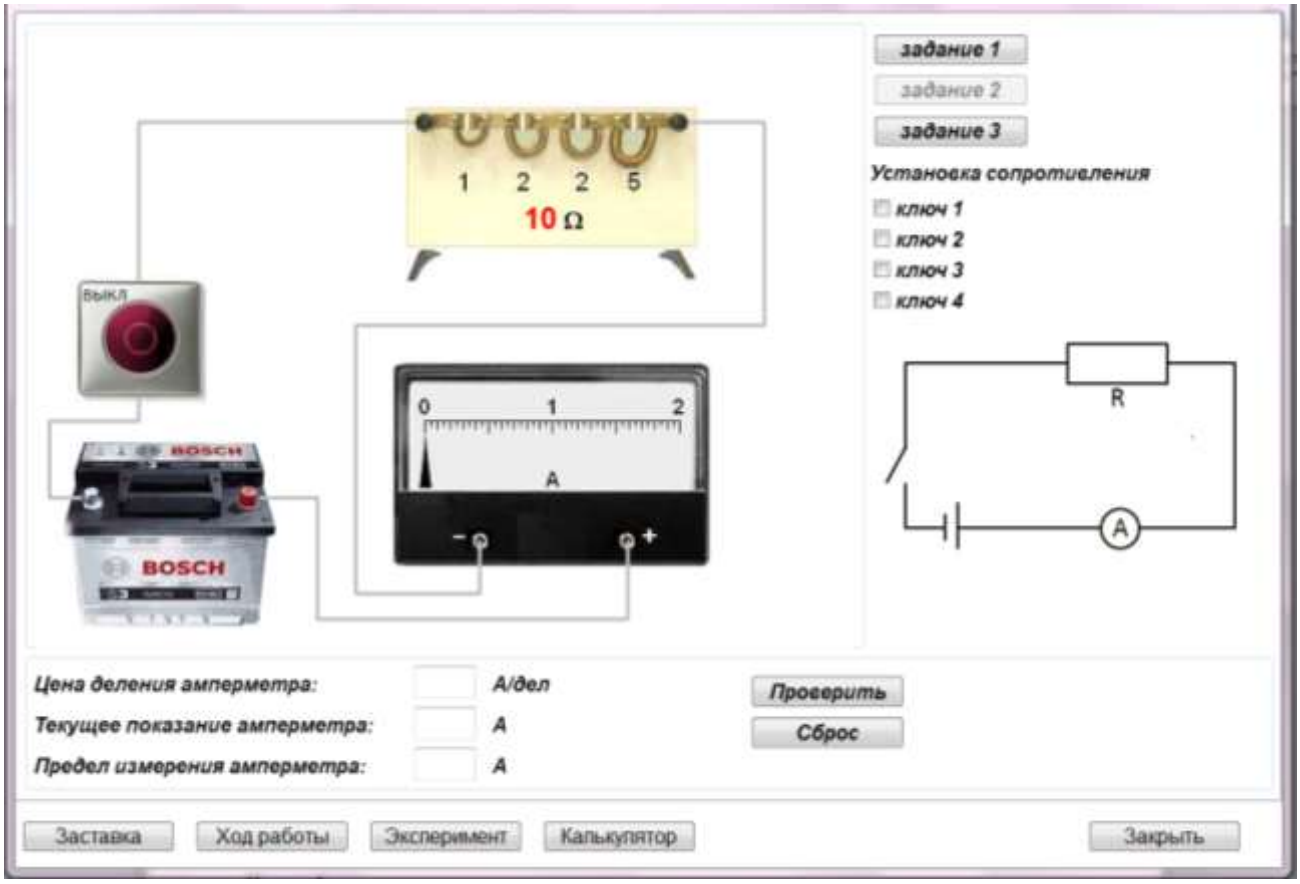


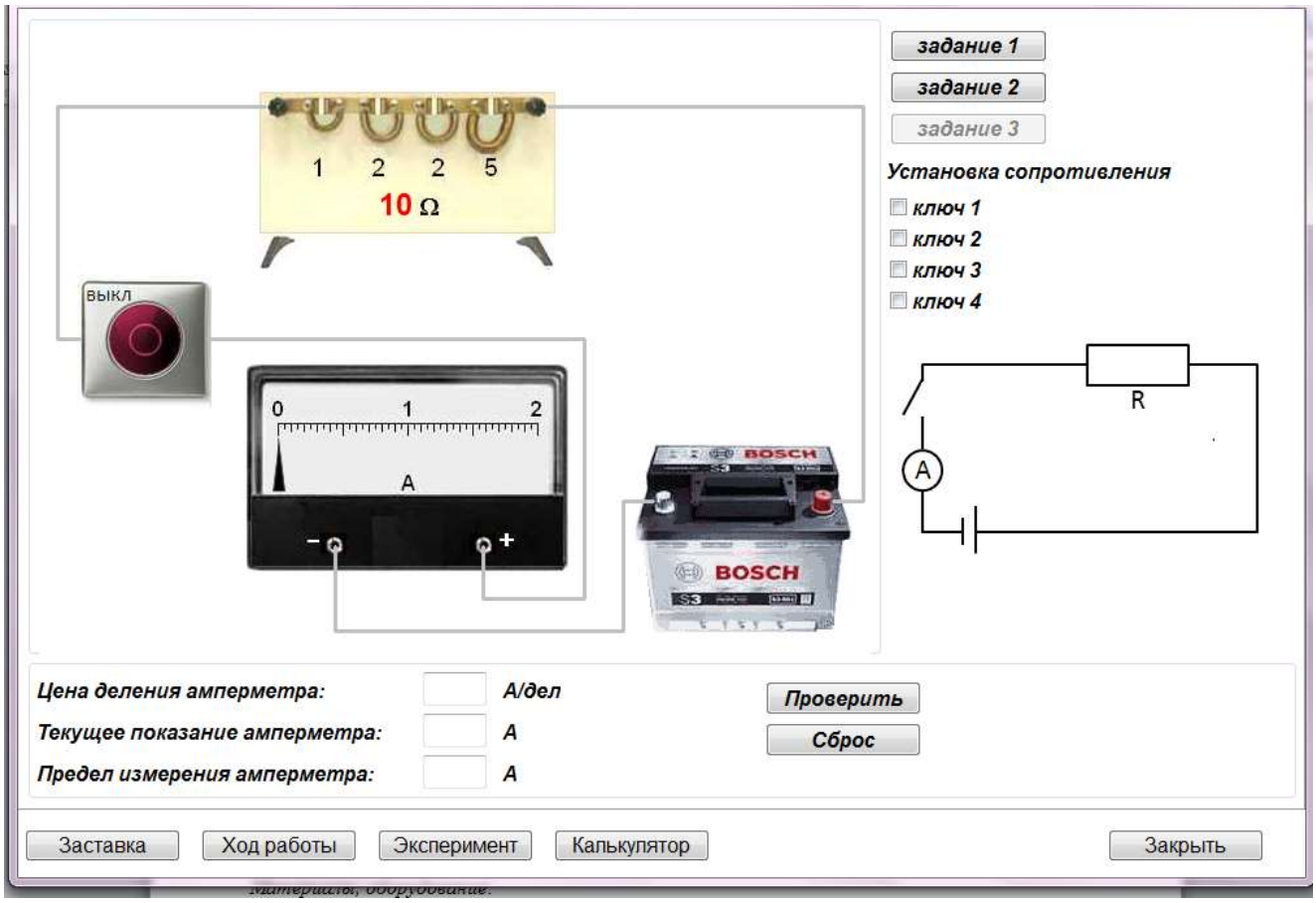


Результаты экспериментов занесите в таблицу 9.1

R (Ом)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (A)										




задание 1
задание 2
задание 3
Установка сопротивления
ключ 1
ключ 2
ключ 3
ключ 4
1 2 2 5
10 Ω
ВЫКЛ
BOSCH
0 1 2
A
R
Цена деления амперметра:
А/дел
Текущее показание амперметра:
А
Предел измерения амперметра:
А
Проверить
Сброс
Заставка
Ход работы
Эксперимент
Калькулятор
Закрыть


задание 1
задание 2
задание 3
Установка сопротивления
ключ 1
ключ 2
ключ 3
ключ 4
1 2 2 5
10 Ω
ВЫКЛ
BOSCH
0 1 2
A
R
Цена деления амперметра:
А/дел
Текущее показание амперметра:
А
Предел измерения амперметра:
А
Проверить
Сброс
Заставка
Ход работы
Эксперимент
Калькулятор
Закрыть

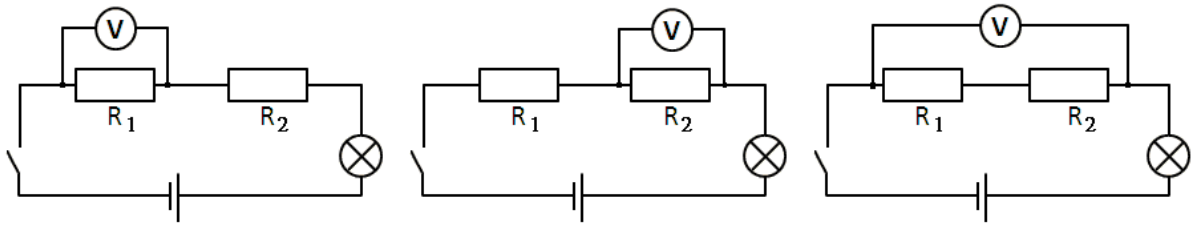
Лабораторная работа

Измерение напряжения на различных участках электрической цепи

Заставка | Ход работы | Эксперимент | Калькулятор | Закрыть

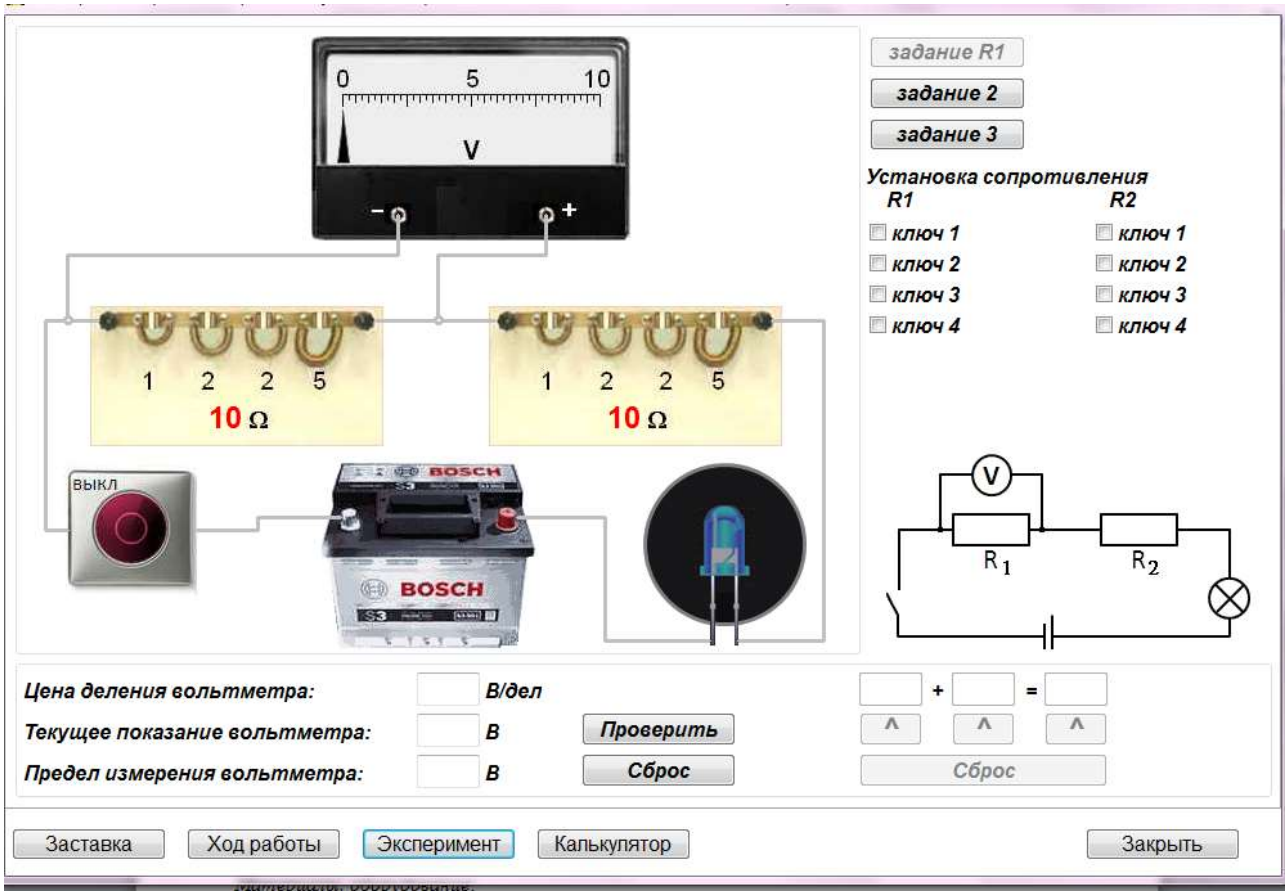
Ход работы:

Цель работы: измерить напряжение на участке цепи, состоящем из двух последовательно соединенных спиралей, и сравнить его с напряжением на концах каждой спирали.



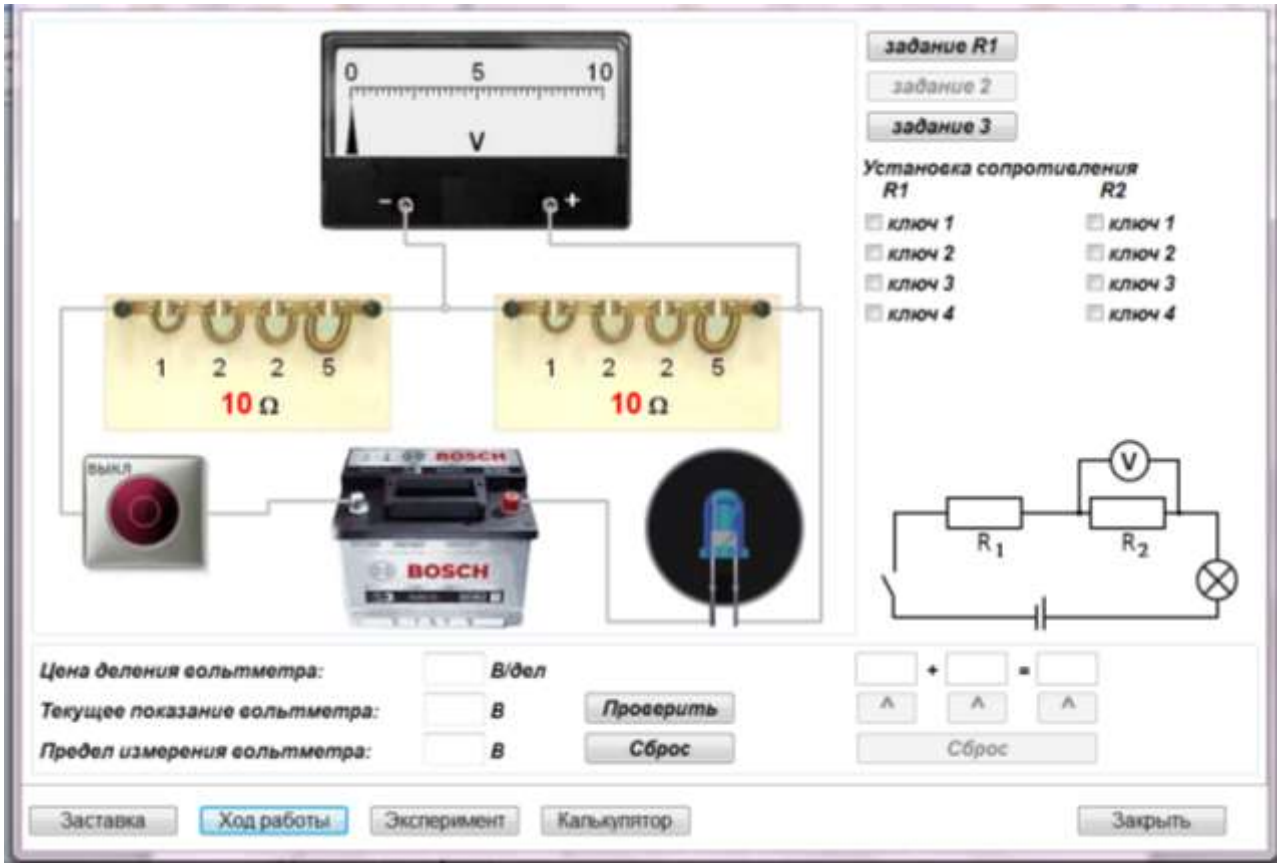
Предполагается измерить напряжение на первой спирали U1, на второй спирали U2 и на двух спиралях вместе U.
Теория предсказывает следующее соотношение: U=U1+U2.
1. Установите с помощью ключей сопротивление первого и второго реостатов.
2. Запустите задания 1, 2 и 3.
3. В каждом задании определите напряжение с помощью вольтметра.
4. Убедитесь в справедливости U=U1+U2.
5. Вывод: напряжение на концах двух соединенных последовательно проводников равно сумме напряжений на каждом из них.

Заставка | Ход работы | Эксперимент | Калькулятор | Закрыть



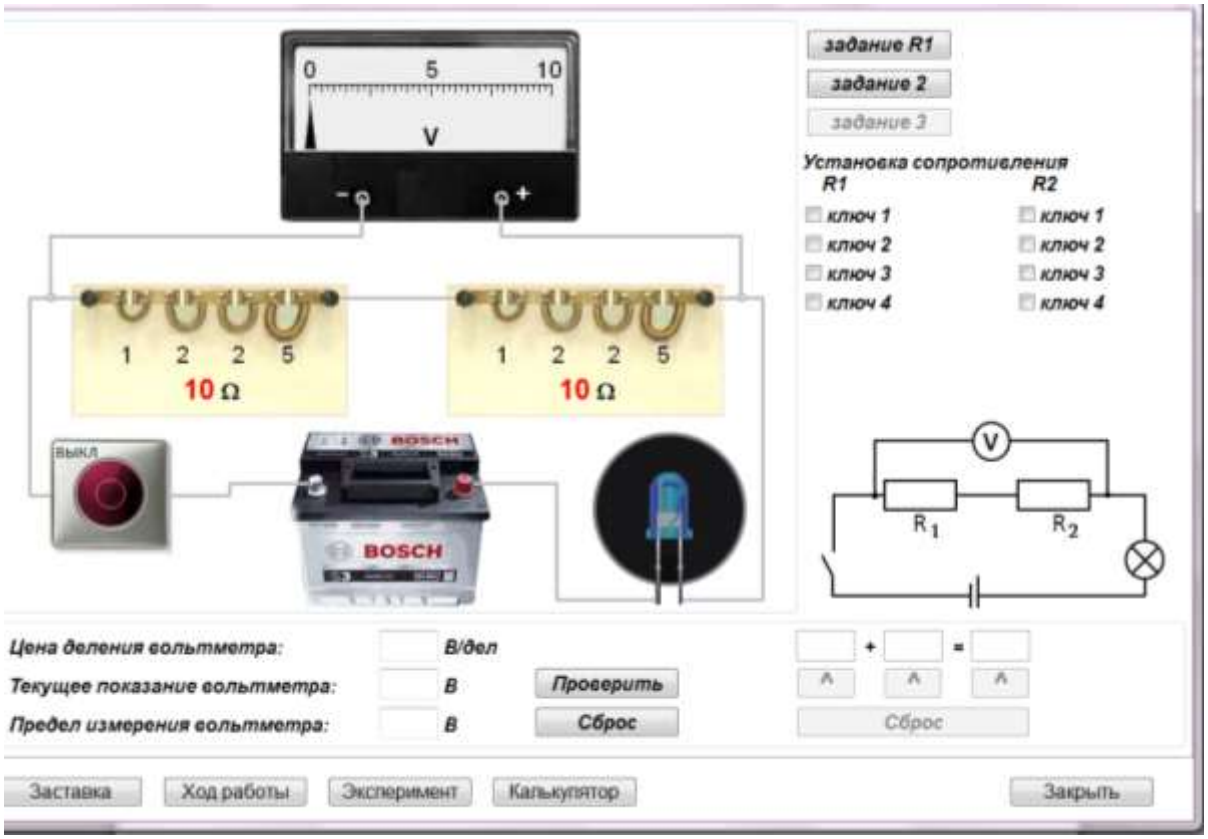
Результаты экспериментов занесите в таблицу 9.2

R1 (Ом)	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***
R2 (Ом)	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***
U1(В)										



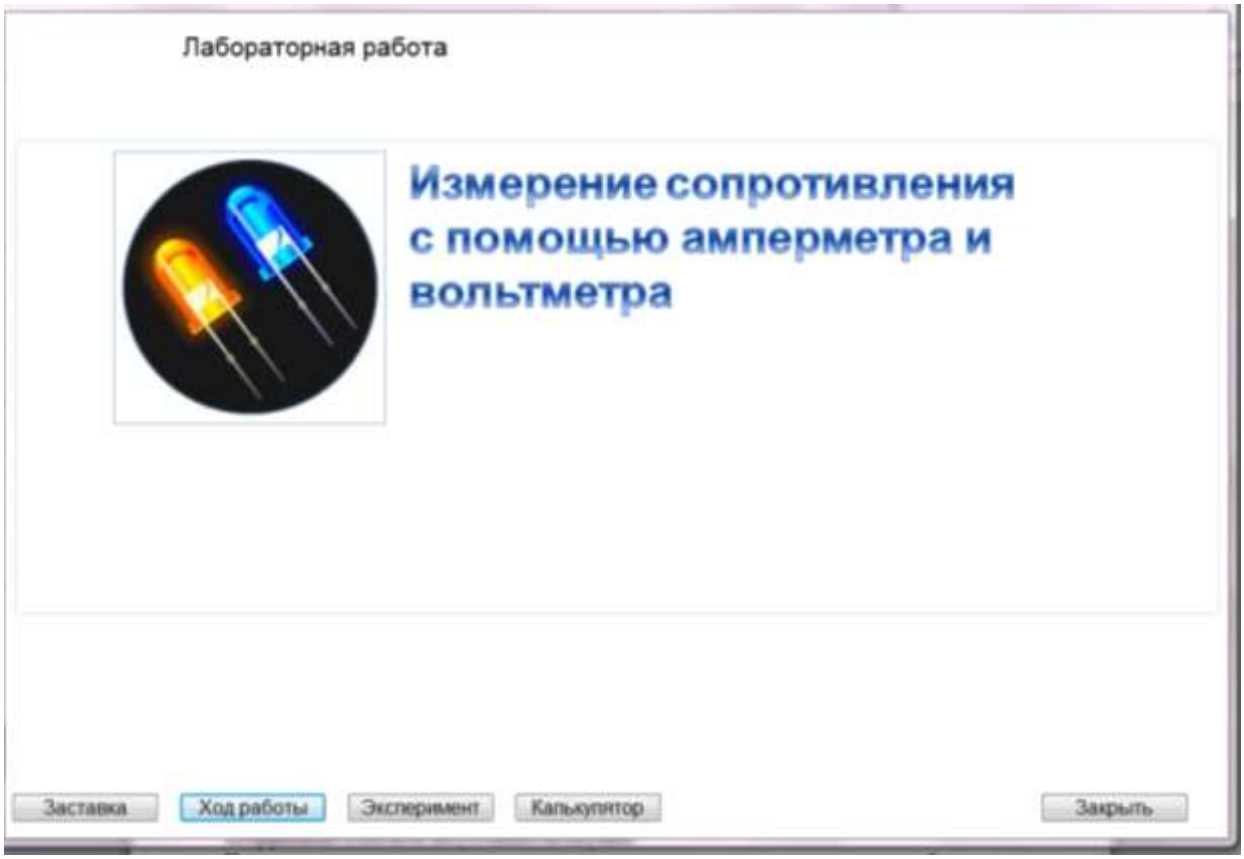
Результаты экспериментов занесите в таблицу 9.3

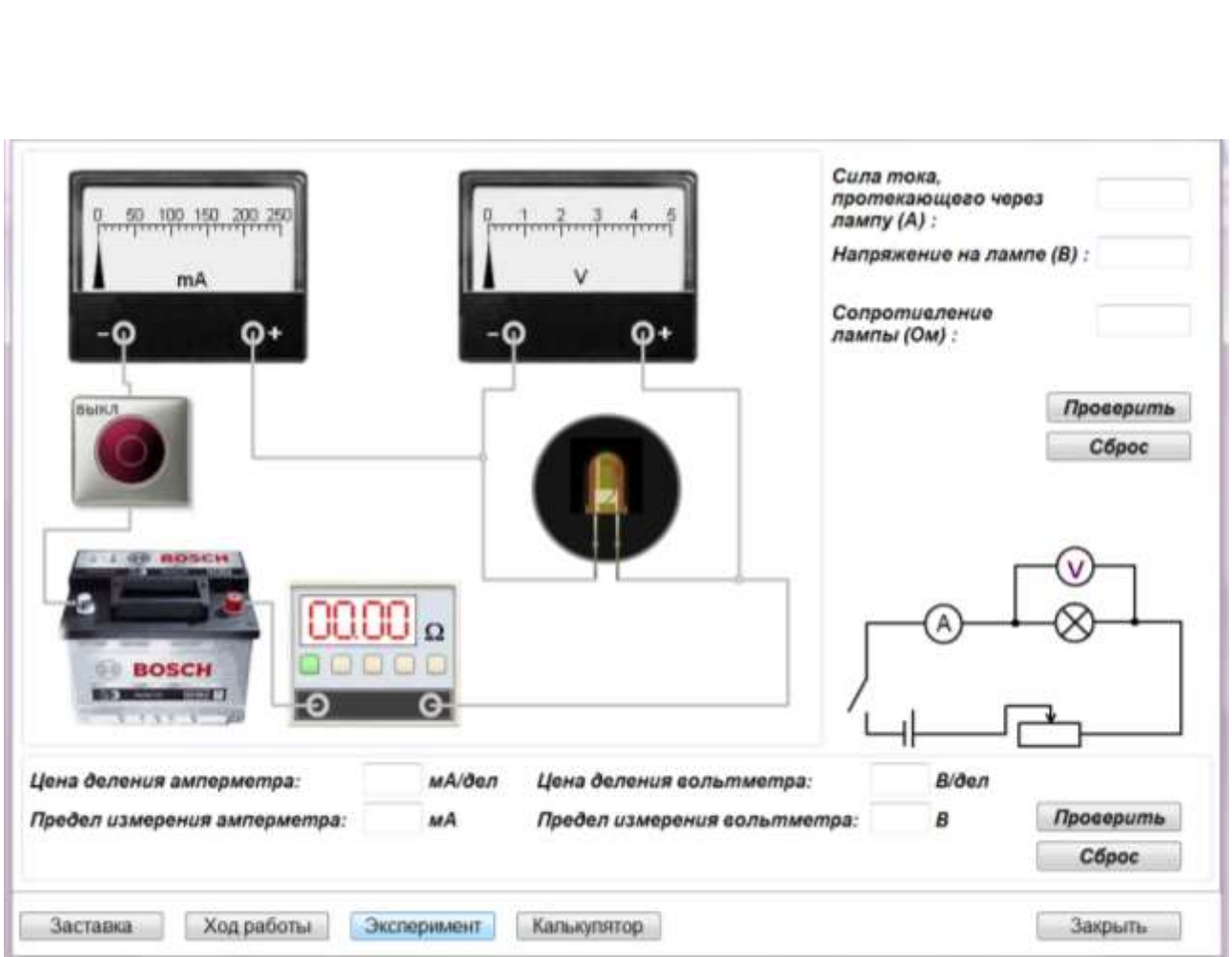
R1 (Ом)	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***	***10***
R2 (Ом)	***10***	***9***	***8***	***7***	***6***	***5***	***4***	***3***	***2***	***1***
U2 (В)										



Результаты экспериментов занесите в таблицу 9.4

R1 (Ом)	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***
R2 (Ом)	***10***	***9***	***8***	***7***	***6***	***5***	***4***	***3***	***2***	***1***
U (В)										





Цель ра
амперм
ника не

вестно,

Провер
Пример

Итак, м
но и не

Заставка

Содержание отчета:

1. Название и цель работы.
2. Оборудование для выполнения лабораторной работы
3. Начертить схемы экспериментов.
4. Написать цену деления и предел измерения приборов.
3. Начертить и заполнить таблицу, с результатами измерений.
4. Выполнить необходимые расчеты.
5. Выводы по работе.

Тема 5. Трансформаторы

Лабораторная работа № 10. «Определение характеристик однофазного трансформатора»

Цель работы

Испытание трансформатора при холостом ходе (ХХ), коротком замыкании (КЗ) и в рабочем режиме. Определение основных параметров трансформатора, построение нагрузочной характеристики.

Общие сведения

Трансформатор - статический электромагнитный аппарат, в котором посредством магнитного поля, переменный ток одного напряжения преобразуется в переменный ток другого напряжения той же частоты.

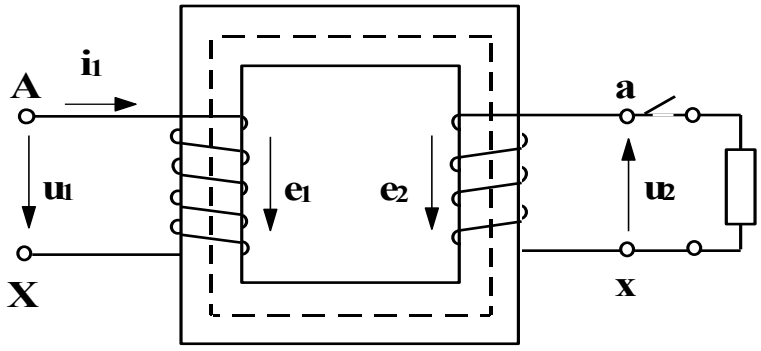


Рис. 10. Электромагнитная схема трансформатора

Трансформатор состоит из замкнутого стального сердечника, который набирается из отдельных листов электротехнической стали, изолированных друг от друга слоем лака. Делается это для уменьшения вихревых токов. На сердечнике располагаются две катушки, их называют обмотками, которые тщательно изолированы от сердечника и не имеют электрической связи друг с другом. Обмотка, которая подключается к источнику энергии, называется первичной, обмотка, к которой подключается приемник энергии, называется вторичной. Начало и конец обмотки высшего напряжения обозначаются соответственно начальными и конечными буквами латинского алфавита ”A” и ”X”. Начало и конец обмотки низшего напряжения обозначаются теми же малыми буквами латинского алфавита ”a” и ”x”. При подключении первичной обмотки, имеющей □ витков, к источнику синусоидального напряжения - u_1, в цепи первичной обмотки течет ток - i_1. Намагничивающая сила этого тока - i_1□□□создает переменный магнитный поток $\Phi_{осн}$, который замыкается по сердечнику, пронизывая обе обмотки. Этот поток индуцирует в обмотках электродвижущие силы:

$$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi_{осн}}{dt}; \quad (1)$$

$$e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi_{осн}}{dt}. \quad (2)$$

Если вторичная обмотка замкнута, то под действием ЭДС ”e_2” в цепи вторичной обмотки потечет ток. Отношение электродвижущих сил определяется отношением чисел витков первичной

и вторичной обмоток и для трансформатора есть постоянная величина, которая называется коэффициентом трансформации.

$$k_{12} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (3)$$

Величина коэффициента трансформации может быть найдена экспериментально или вычислена по паспортным данным.

В паспорт трансформатора заносятся номинальная мощность S, номинальное напряжение и токи обмоток. Номинальной полезной мощностью трансформатора называется полная мощность на зажимах вторичной обмотки - $S_{2н}$, она приблизительно равна полной мощности потребляемой первичной обмоткой - $S_{1н}$, т.е.

$$S_{1н} \approx S_{2н} = S_н. \quad (4)$$

Номинальным напряжением называется напряжение на зажимах обмотки при холостом ходе трансформатора, обозначается - $U_{1н}$, $U_{2н}$.

Номинальным током называется ток, связанный с номинальной мощностью и номинальным напряжением следующим соотношением:

$$I_н = \frac{S_н}{U_н} \quad (5)$$

Эксплуатационные характеристики трансформатора определяются изменением вторичного напряжения при нагрузке, потерями мощности в сердечнике и обмотках, коэффициентом полезного действия. Все эти величины могут быть рассчитаны по данным опытов холостого хода и короткого замыкания, которые характеризуют работу трансформатора в предельных режимах нагрузки: при ее отсутствии $I_2 = 0$ и номинальной - $I_2 = I_{2н}$. Основным режимом работы трансформатора является режим нагрузки, когда вторичная обмотка замкнута на приемник и по ней протекает ток i_2. Сила тока i_2 определяется величинами ЭДС e_2 и полного сопротивления вторичной цепи. При наиболее распространенной индуктивной нагрузке, ток вторичной обмотки отстает от ЭДС - e_2 по фазе, при емкостной - опережает ЭДС на некоторый угол, определяемый параметрами вторичной цепи.

Появление тока во вторичной обмотке сопровождается появлением намагничивающей силы - □□□□, которая создает в сердечнике магнитный поток, направленный, в соответствии с принципом Ленца, навстречу потоку первичной обмотки, т.е. магнитный поток вторичной обмотки стремится размагнитить магнитопровод. Увеличение вторичного тока приводит к возрастанию мощности вторичной цепи - i_2e_2.

Согласно закону сохранения энергии это вызывает рост мощности потребляемой первичной обмоткой из сети - $i_1u_{□}$□и, следовательно,

при неизменной величине первичного напряжения увеличение тока вторичной обмотки приводит к возрастанию тока первичной обмотки.

Одновременно с увеличением тока первичной обмотки возрастает и намагничивающая сила - i_1□□□□прирост которой, компенсирует размагничивающее действие вторичного тока.

Магнитный поток в сердечнике трансформатора при нагрузках от 0 до номинальной остается неизменным.

Протекание тока во вторичной обмотке трансформатора вызывает падение напряжения в ее активном и индуктивном сопротивлениях. Поэтому ЭДС - e_2 несколько отличается от напряжения U_2 на зажимах вторичной обмотки.

Отклонение величины вторичного напряжения трансформатора от напряжения холостого хода, выраженное в процентах, называется изменением напряжения трансформатора при нагрузке.

$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100\% \quad (6)$$

Эта величина может быть рассчитана по данным опытов холостого хода и короткого замыкания или определена по внешней характеристике, которая представляет собой зависимость

вторичного напряжения от коэффициента загрузки - $U_2 = f(\square)$. При индуктивной нагрузке вторичное напряжение уменьшается с ростом вторичного тока. При номинальной нагрузке уменьшение напряжения будет тем больше, чем больше полные сопротивления обмоток.

Величина изменения напряжения при нагрузке зависит также от характера нагрузки. У силовых трансформаторов при изменение напряжения составляет 5-10 %. Чтобы устранить нежелательное уменьшение напряжения на приемниках, трансформатор проектируют так, чтобы напряжение холостого хода U_{20} было на 5% больше номинального напряжения приемников, кроме того предусматривается возможность изменения числа витков одной из обмоток при возрастании нагрузки.

Задание

Проделать опыты холостого хода и короткого замыкания и определить основные параметры трансформатора с разъёмным сердечником и сменными катушками, номинальные параметры которого приведены в таблице 15.1. Снять нагрузочную характеристику и зависимость коэффициента полезного действия (КПД) от нагрузки.

Таблица 10.1

W	U_H-В	Iн, мА	R. Ом	Sh- ВА
100	2.33	600	0.9	1.4
300	7	200	4.8	1.4
900	21	66.7	37	1.4

Технология работы

1. Соберите трансформатор с числом витков w_1 = 300, w_2 = 100, 300 или 900 по указанию преподавателя.

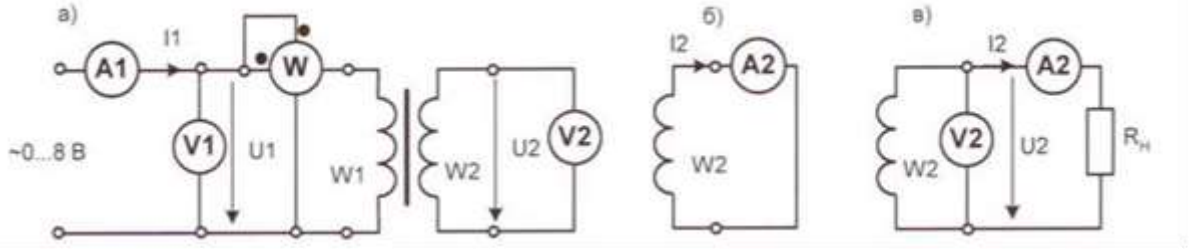


Рис. 10.1. Схемы опытов а) холостого хода (ХХ), б) короткого замыкания (КЗ), в) снятие нагрузочной (внешней) характеристики

2. Соберите цепь согласно монтажной схеме (Рис. 10.2), нагрузочный резистор пока не включайте согласно принципиальной схеме опыта ХХ (Рис. 15.1.а).

3. Включите генератор, установите на его выходе напряжение U = 7 В, сделайте измерения при холостом ходе ($Я_н$ = ю) и запишите результаты в таблицу 10.2. Вычислите коэффициент трансформации U_1/U_2, ток 1_{XX} % (в % от номинального) и запишите в таблицу 10.2 (строка ХХ).

4. Проделайте опыт короткого замыкания. Для этого вставьте перемычку вместо $Я_н$. Отрегулируйте напряжение источника так, чтобы первичный ток стал равен номинальному току (200 мА) обмотки 300 витков. Запишите результаты измерений в табл. 15.2 (строка КЗ). Вычислите коэффициент трансформации I_2/I_1, напряжение короткого замыкания $и_{КЗ}$ % и тоже запишите в таблицу 15.2.

5. Снимите нагрузочную характеристику трансформатора. Для этого включайте поочерёдно сопротивления нагрузки, указанные в таблице 15.3, и делайте измерения с первичной и вторичной стороны трансформатора.

Примечание: В табл. 15.3 указаны значения сопротивлений RH для случая, когда wi

= w2 = 300 витков. При w2 = 900 витков их надо увеличить, а при w2 = 100 витков - уменьшить в 10раз.

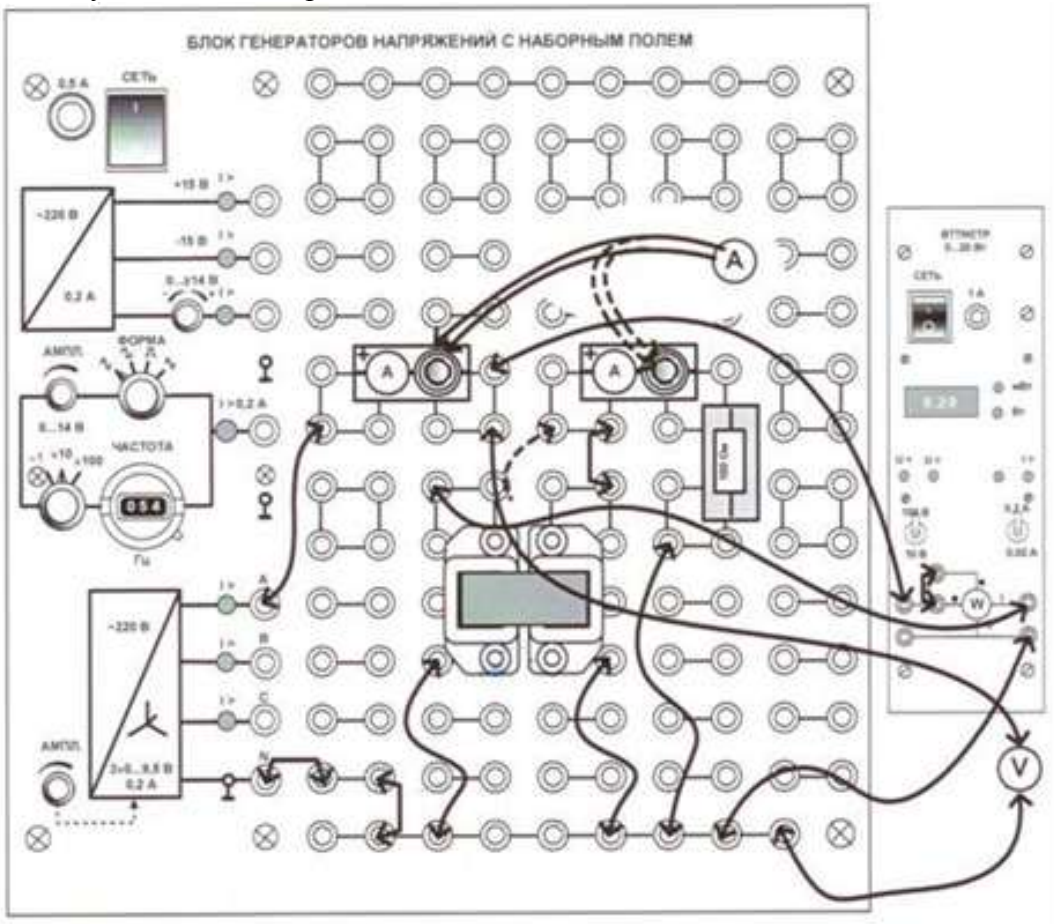


Рис. 10.2. Монтажная схема

Таблица 10.2

Опыт	u_u В	u_2, в	мА	h, мА	Ри Вт	(ри град.	$ши_2$	/2//1	t/кз, %	1\x, %
XX				-				-	-	
КЗ		-					-			-

Таблица 10.3

Rн, Ом	U2, В	h, мА	Ри мВт	Pi, мВт	U_2 /£Аном- %	h Ihuow- %	кпд. %
х.х.							
330							
220							
100							
47							
22							

6. Рассчитайте $P_2 = U_2P_2$, h/ Ьтм %, $U_2/ U_{2НО}т$ %, кпд ($k = P_2/ P_1$) и постройте в масштабе графики $P2 = fi(R_H)$; U2/ U2HOM % = f2(Rn); I2/Рном % = f3(Rn); k = f^Rn)-

Требования к отчёту

1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести таблицы, необходимые расчёты, рисунки с экспериментальными и расчётными графиками зависимости

амплитуды магнитного потока от напряжения на катушке $\Phi_м = f(U)$ и зависимости амплитуды магнитного потока от частоты $\Phi_м = f(f,)$.

2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

Контрольные вопросы

1. Назначение трансформаторов.
2. Устройство трансформаторов.
3. Трансформаторная ЭДС.
4. Коэффициент трансформации.

Тема 6. Электронные приборы и устройства

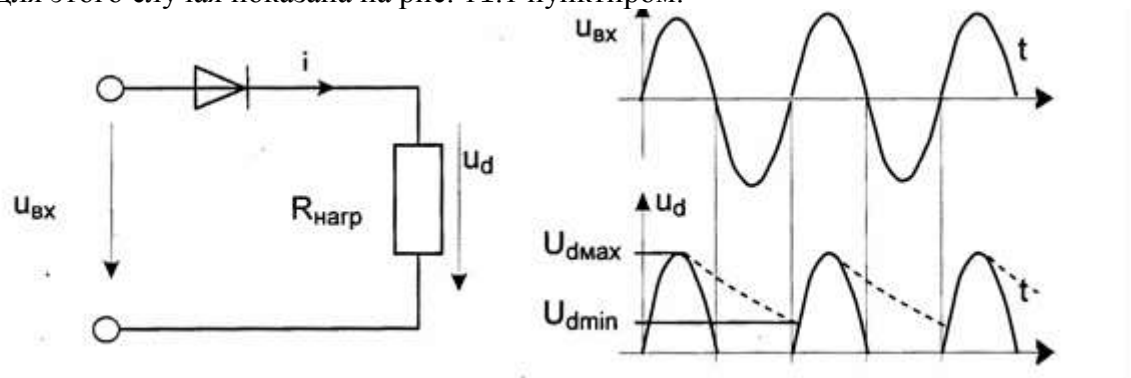
Лабораторная работа № 11 «Исследование однополупериодногои двухполупериодного выпрямителя»

Цель работы:

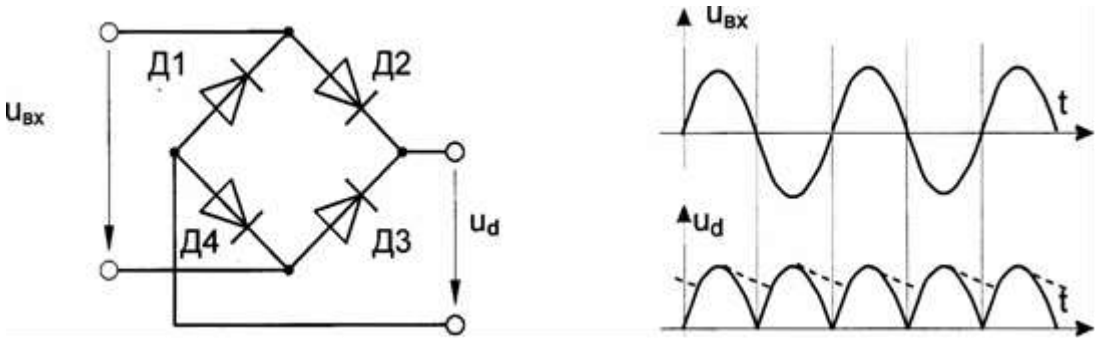
Ознакомление с принципом действия и характеристиками однофазных схем выпрямления переменного напряжения.

Теоретическое введение

В цепи с полупроводниковым диодом (рис. 11.1) установившийся ток может протекать только при определенной полярности приложенного к диоду напряжения. При изменении полярности напряжения диод запирается и ток прекращается. В результате при синусоидальном приложенном напряжении $u_{нх}$ в нагрузке протекает пульсирующий ток одного направления. Такую же форму имеет и выпрямленное напряжение на нагрузке $ц$. Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения применяются сглаживающие фильтры. Простейшим фильтром является конденсатор, подключенный параллельно нагрузке. Тогда при открытом состоянии диода конденсатор заряжается, а при закрытом - разряжается на нагрузку. Ток и напряжение на нагрузке становятся непрерывными, пульсации уменьшаются, и увеличивается среднее значение напряжения на нагрузке. Кривая *Ud(t)* для этого случая показана на рис. 11.1 пунктиром.



полупериоде диоды Д2 и Д4 закрываются, но открываются диоды Д1 и ДЗ пропуская ток в нагрузку в том же направлении. По сравнению с однополупериодным выпрямителем в двухполупериодном в два раза увеличивается постоянная составляющая выпрямленного напряжения и в два раза увеличиваетя частота пульсации, что облегчает задачу сглаживания пульсаций фильтрами.



При исследовании выпрямителей применяются следующие обозначения:
u_{BX}, U_{BX} Uвх max— мгновенное, действующее и амплитудное значения синусоидального входного напряжения;
ud, Ud, Udmax, Udmin — мгновенное, среднее, максимальное, минимальное значения выходного (выпрямленного) напряжения;
Umax~ - амплитуда переменной составляющая выпрямленного напряжения, которая в первом приближении может быть определена их графика (рис. 11.1):
f n — частота пульсаций выходного напряжения;
m = fпульс /fвх — число пульсаций выпрямленного напряжения за один период напряжения питания;

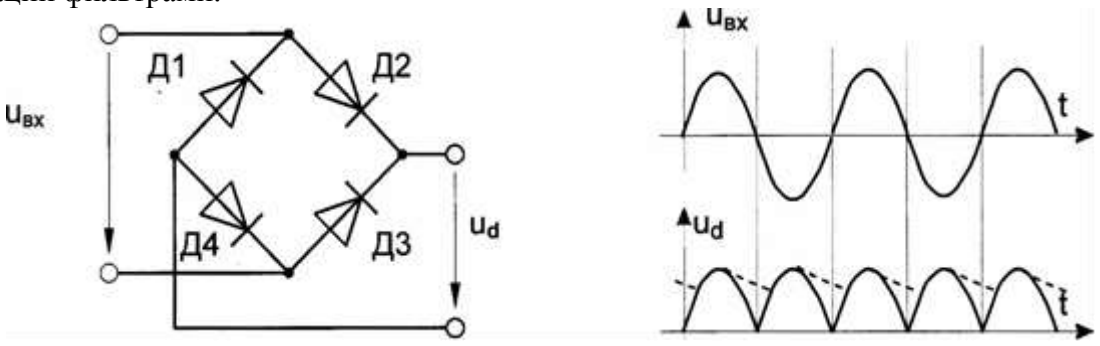
$k_{\text{пул}} = \frac{U_{\max\sim}}{U_d}$ коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения.

В однополупериодном выпрямителе без фильтра:

$$Ud = \frac{U_{\text{ад max}}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ад}}}{\pi} \cong 0{,}45U_{\text{ад}};\quad U_{\max\sim} \cong \frac{U_{\text{ад max}}}{2};\quad k_{\text{пул}} = \frac{\pi}{2} = 1{,}57.$$

Двухполупериодный мостовой выпрямитель состоит из четырёх диодов,(рис. 11.2).

При положительном полупериоде входного напряжения диоды Д2 и Д4 открыты и через них течёт ток в нагрузку. Диоды Д1 и ДЗ в этот момент закрыты.При отрицательном полупериоде диоды Д2 и Д4 закрываются, но открываются диоды Д1 и ДЗ пропуская ток в нагрузку в том же направлении. По сравнению с однополупериодным выпрямителем в двухполупериодном в два раза увеличивается постоянная составляющая выпрямленного напряжения и в два раза увеличиваетя частота пульсации, что облегчает задачу сглаживания пульсаций фильтрами.



В двухполупериодном выпрямителе без фильтра:

$$Ud = \frac{2U_{\text{ад max}}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U_{\text{ад}}}{\pi} \cong 0{,}9U_{\text{ад}};\quad U_{\max\sim} \cong \frac{U_{\text{ад max}}}{2};\quad k_{\text{пул}} = \frac{\pi}{4} = 0{,}785.$$

Экспериментальная часть

Задание

Исследовать экспериментально основные параметры однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

Порядок выполнения эксперимента

• Соберите цепь согласно принципиальной схеме (рис. 11.3) и монтажной (рис. 11.4) сначала без сглаживающего фильтра (С=0). Включите мультиметры: VI - для

измерения действующего значения синусоидального напряжения, V2 - для измерения постоянного напряжения.

- Включите и настройте осциллограф. Установите развертку 5 мс/дел.
- Сделайте измерения и запишите в табл. 11.1. значения: $U_{B}x$ - по мультиметру VI, U_d - по мультиметру V2 , U_{dMax} и U_{dmin} - по осциллографу, m =$f_{пульс}$/fвх-
- Рассчитайте и запишите в табл. 15.1 коэффициенты Ud/ $U_{B}x$, U_{max}~ и $f_{пульс}$.

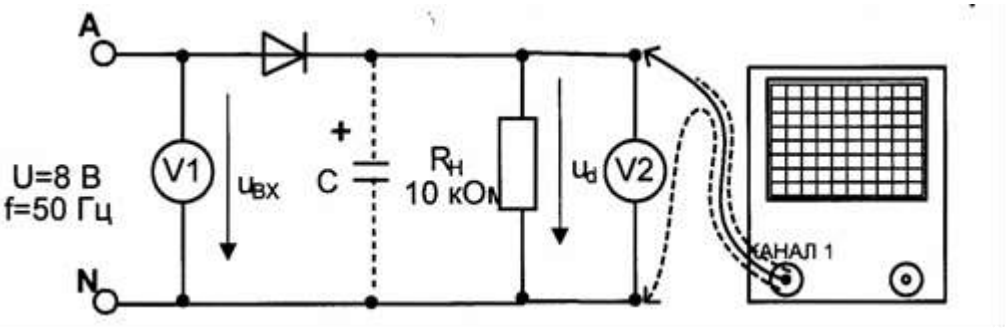


Рис.11.3

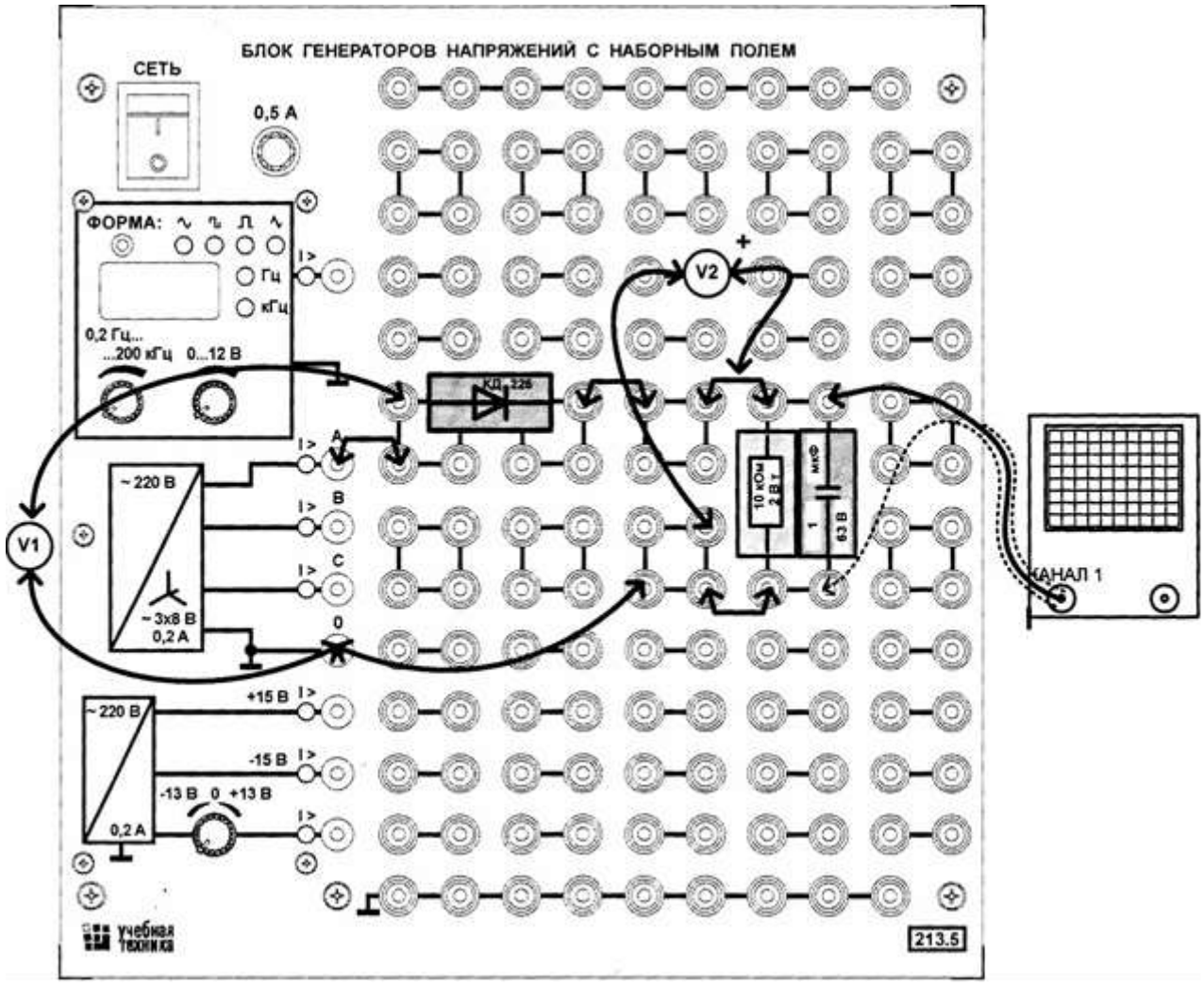


Рис. 11.4

Параллельно нагрузочному резистору Rh подключите сглаживающие конденсаторы С с емкостями, указанными в табл. 11.1 **(не ошибитесь с полярностью при подключении электролитических конденсаторов!),** повторите измерения и вычисления.

Таблица 11.1

С мкФ	0	1	10	100
Uвх, В				

Ud. В				
Ud мах, В				
Ud rnin, В				
m				
U_d/U_{BX}				
Uпах-				
fпульс				

Соберите цепь двухполупериодного мостового выпрямителя согласно монтажной схеме рис. 11.5, повторите все измерения и вычисления. Результаты сведите в табл. 11.2.

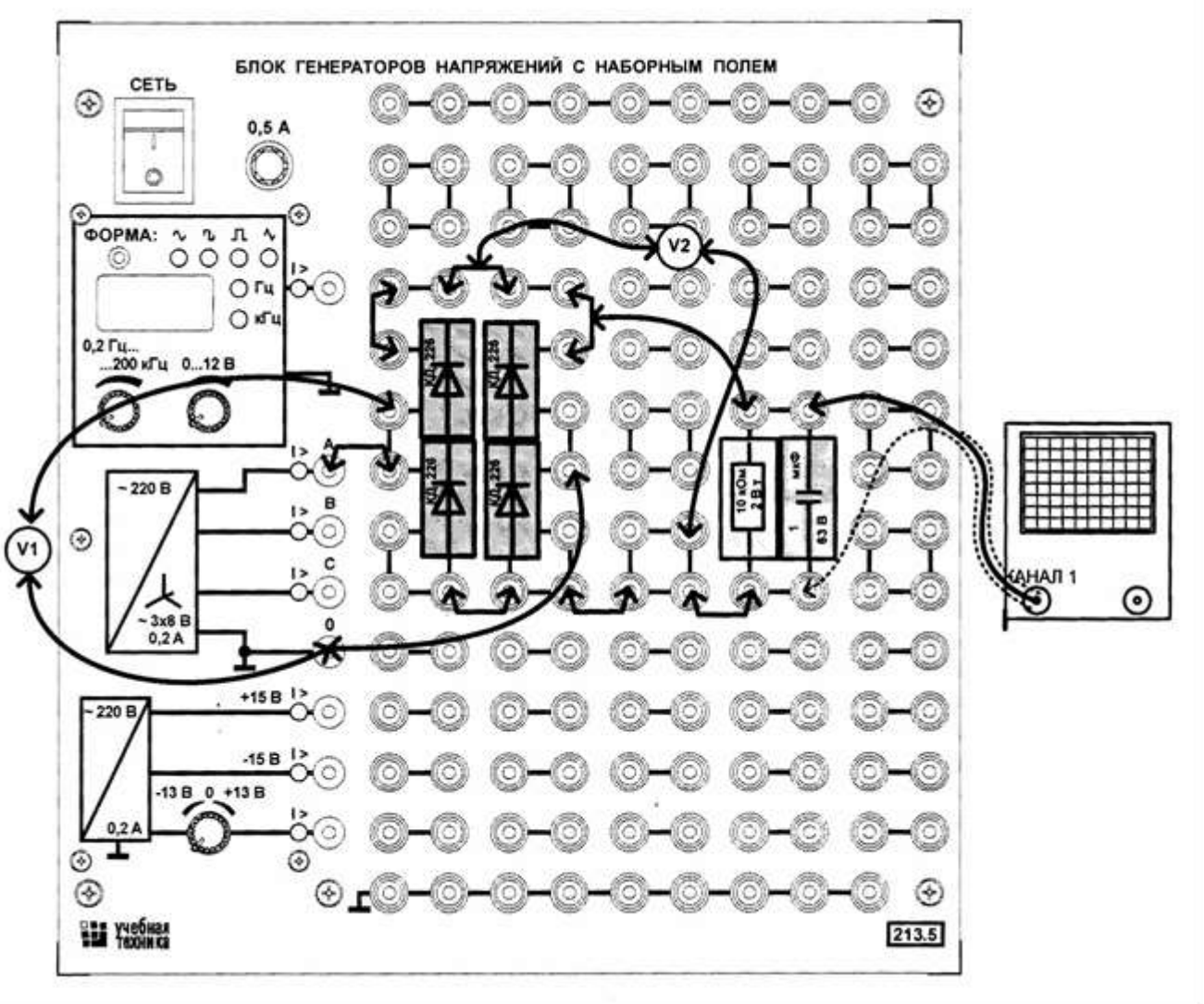


Таблица 11.2

С мкФ	0	1	10	100
Uвх, В				
Ud. В				
Ud мах, В				
Ud rnin, В				
m				
U_d/U_{BX}				
Uпах-				
fпульс				

Содержание отчета

1. Схемы выпрямителей. Таблицы с результатами измерений.
2. Нагрузочные характеристики и зависимости входного напряжения от тока нагрузки для всех исследованных выпрямителей.
3. Осциллограммы токов и напряжений для всех исследованных выпрямителей.
4. Выводы по результатам исследований, содержащие сравнение исследованных схем выпрямителей.

Контрольные вопросы

1) Каковы различия между входным и выходным сигналами однополупериодного выпрямителя?

2) Одинаковы ли частоты входного и выходного сигналов в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей?

3) Зачем необходимы трансформаторы в схемах выпрямителей?

4) Каковы различия между сигналом на входе и на выходе при двухполупериодном выпрямлении?

5) По осциллограммам выходного напряжения, определите, осуществляет ли выпрямительный мост однополупериодное или двухполупериодное выпрямление?

6) Чем отличаются выходные напряжения в схемах с выпрямительным мостом и двухполупериодным выпрямителем с отводом от средней точки трансформатора?

7) В каком диапазоне напряжений может изменяться среднее значение выходного напряжения выпрямителя с емкостным фильтром на выходе?

8) Какие факторы влияют на величину коэффициента пульсации выпрямителя с емкостным фильтром на выходе?

9) Будет ли отличаться среднее значение выходного напряжения однополупериодной и двухполупериодной схем выпрямления с емкостным фильтром, если сопротивление нагрузки будет равно бесконечности?

10) Будет ли влиять частота входного напряжения выпрямителя на среднее значение выходного напряжения и на коэффициент пульсации при фиксированных значениях емкости фильтра и сопротивления нагрузки?

Лабораторная № 12 Тема «Исследование трехфазного мостового выпрямителя»

Цель работы: 1. Изучение работы однотактного и двухтактного трехфазных выпрямителей при различном характере нагрузки.

2. Исследование характеристик выпрямителей и сглаживающих электрических фильтров.

3. Исследование влияния индуктивностей рассеяния обмоток трансформатора на работу выпрямителя.

1. Общие теоретические положения

Потребители большой мощности питаются выпрямленным трехфазным переменным током. Несколько большая в сравнении с однофазным выпрямителем стоимость трехфазного выпрямителя многократно окупается за счет более простого сглаживания выходного напряжения.

Чаще всего используется мостовая схема выпрямления трёхфазного напряжения (рис. 12.1а). Она состоит из 6 вентилей (полупроводниковых диодов) и питается линейными напряжениями трёхфазного источника. На рис. 12.16 показаны кривые фазных напряжений источника питания u_A, *ив, ис* и кривая выпрямленного напряжения u_d. Выпрямленное напряжение образуется разностью фазных напряжений, т.е. линейными напряжениями. В нечётной группе вентилей в открытом состоянии находится тот вентиль, у которого на аноде положительное наибольшее напряжение, а в чётной - тот вентиль, у которого на катоде отрицательное наименьшее напряжение. Разность положительного наибллынего

напряжения и отрицательного наименьшего напряжения и есть выпрямленное напряжение на выходе трёхфазного моста. Эта разность на рис.12.1а заштрихована. Так на отрезке 30°<гл/<150° открыт диод Д1, так как напряжение u_A на этом отрезке имеет наибольшее значение. В чётной группе вентилей на отрезке *90°<cot<240°* открыт диод Д2, так как у него на катоде напряжение *uc* имеет наименьшее значение. При *cot*= 150° диод Д1 закрывается и открывается диод Д3, а при *cot*=240° закрывается диод Д2 и открывается Д4. На рисунке 12.1 в показаны графики токов в диодах.

Средняя величина выпрямленного напряжения в трёхфазном мосте

$$U_d = \frac{3U_{ë\,max}}{\pi} = \frac{3\sqrt{2}U_ë}{\pi} \cong 1{,}35U_ë = 2{,}34U_ô;$$

Амплитуда пульсаций

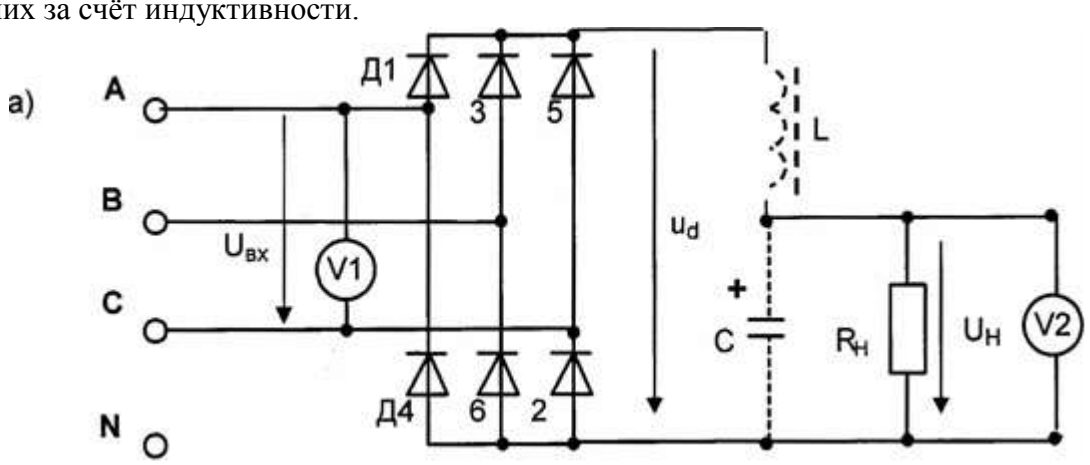
$$U_{max\sim} \cong \frac{1-\cos 30^0}{2} U_{ë\,max} \cong 0{,}067U_{ë\,max};$$

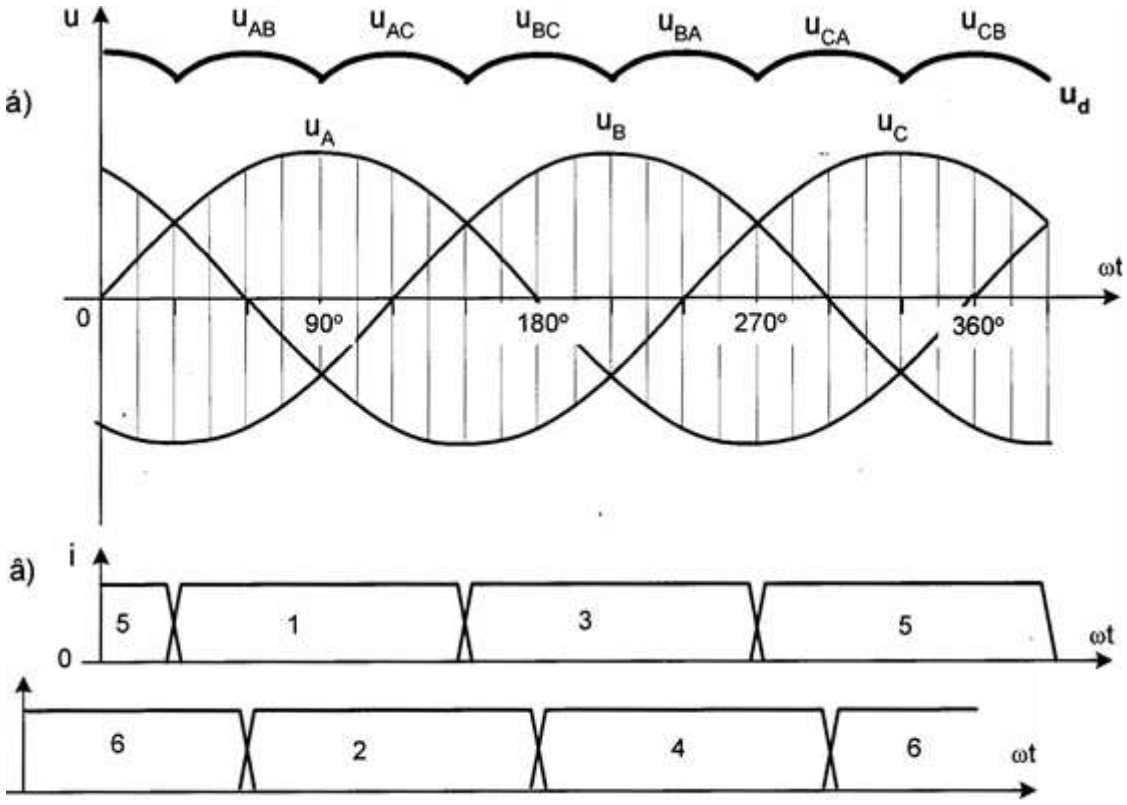
Коэффициент пульсаций

$$k_{ïóëüñ} = \frac{0{,}067\pi}{3} \cong 0{,}07;$$

Частота пульсаций $m = f_{пульс}/f_{вх}=6.$

Для сглаживания пульсаций применяются ёмкостный, индуктивный или индуктивно-ёмкостный фильтры. Ёмкостный фильтр эффективен, когда ток нагрузки невелик, т.е. сопротивление нагрузки велико по сравнению с ёмкостным сопротивлением фильтра. Индуктивный фильтр, наоборот, эффективен при больших токах, когда сопротивление нагрузки мало по сравнению с индуктивным сопротивлением фильтра. Смешанный индуктивно-ёмкостный фильтр хорошо сглаживает в широком диапазоне изменения нагрузки: при малых токах сглаживание происходит в основном за счёт ёмкости, а при больших за счёт индуктивности.





Экспериментальная часть

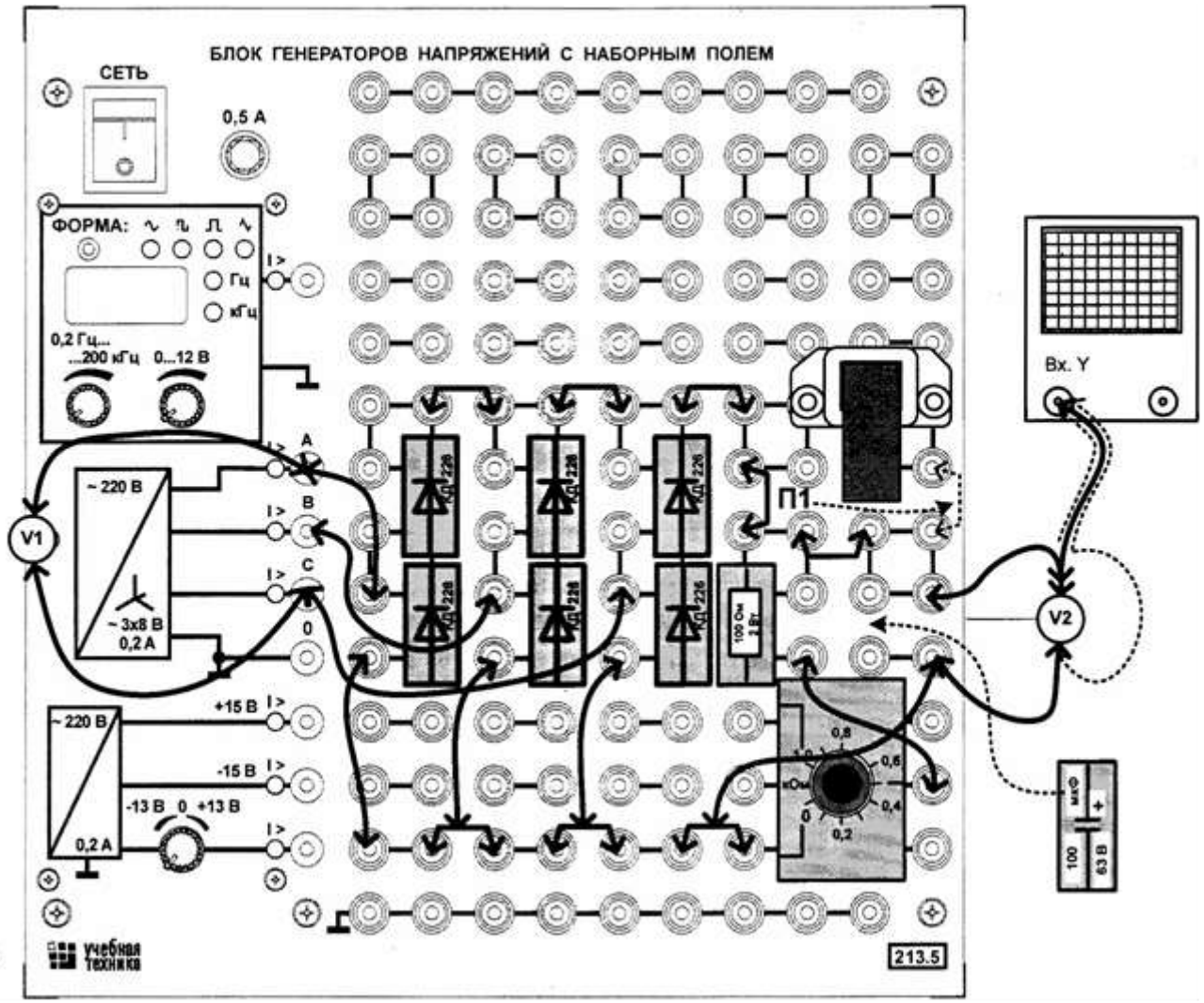
Задание

Выпрямить выходное напряжение трехфазного источника посредством трехфазного мостового выпрямителя (так называемая схема Ларионова). Измерить параметры выпрямителя и сравнить с параметрами однофазных выпрямителей. Исследовать влияние индуктивного, ёмкостного и ёмкостно-индуктивного фильтров на форму выпрямленного напряжения при различных сопротивлениях нагрузки.

Порядок выполнения эксперимента

• Соберите цепь трехфазного мостового выпрямителя согласно принципиальной схеме (рис. 12.1а) и монтажной схеме (рис. 12.2.), На схеме VI - мультиметр для измерения действующего значения синусоидального напряжения V2 — мультиметр для измерения постоянного (выпрямленного) напряжения. Сопротивление нагрузки i?$_H$ состоит из двух последовательно соединённых резисторов - постоянного 100 Ом и переменного 1000 Ом и в первом опыте может быть любым от 100 до 1100 Ом. В качестве индуктивности используйте катушку трансформатора 900 витков, вставив между половинками сердечника полоски обычцой писчей бумаги в один - два слоя, чтобы в магнитопроводе образовался немагнитный зазор. В первом опыте C=0 и L=0 (на монтажной схеме конденсатор отсутствует, а перемычка П1 находится в исходном положении, показанном сплошной линией). Для наблюдения формы выпрямленного напряжения в схему включён осциллограф.

• Подайте на вход схемы переменное трехфазное напряжение максимальной величины, которую может дать источник, включите осциллограф и установите развертку 5 мС/дел, отрегулируйте усиление.



• Сделайте измерения и запишите в табл. 6.1. значения: Uвх — действующее (по вольтметру VI), U_d— среднее (по вольтметру V2), z/ С/уоёий ([по] осциллографу), *m* =

fпульс / fвх- Попробуйте изменять сопротивление нагрузки, вращая влево и вправо ручку потенциометра. Проследите, меняется ли при этом величина и форма выпрямленного напряжения. Объясните результаты.

• Рассчитайте и запишите в табл. 6.1 коэффициенты *Ud* / U_{Bx} и $f_{пульс}$.

• Параллельно нагрузочному резистору R_H подключите конденсатор 100 мкФ, как показано на монтажной схеме пунктирной стрелкой **(при этом не перепутайте полярность!).**

***Uвх*, В**	***U*$_{d>}$ В**	***U* шёип ' В**	*m*	***U*$_d$/*U*$_{BX}$**	***F*** импульс

• Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 1100 Ом и наоборот, пронаблюдайте на осциллографе за изменением формы выпрямленного напряжения и сделайте вывод.

• Уберите из схемы конденсатор и включите индуктивность. Для этого переставьте перемычку П1 как показано пунктирной стрелкой. Опять изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 1100 Ом, проследите за изменением формы выпрямленного напряжения.

• Наконец включите в схему и катушку и конденсатор и повторите ещё раз опыт с изменение сопротивления нагрузки.

• По результатам последних опытов ответьте на контрольные вопросы.

Вопрос 1: Какова частота пульсаций выходного напряжения ивых трехфазного выпрямителя с нулевым выводом?

Ответ: .

Вопрос 2: Как влияет сопротивление нагрузки на величину и форму выходного напряжения выпрямителя без сглаживающего фильтра ?

Ответ:

Вопрос 3:

Ответ: Как влияет сопротивление нагрузки на величину и форму выходного напряжения выпрямителя с ёмкостным фильтром ?.с индуктивным фильтром? С ёмкостно-индуктивным фильтром?

Ответ:

Содержание отчета

1. Принципиальная схема макета.
2. Временные диаграммы расчетных и экспериментальных данных. Графики снятых характеристик и зависимостей.
3. Краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Используя временные диаграммы, объяснить работу исследованных схем выпрямителей при различном характере нагрузки.
2. Как влияют резистивные сопротивления и индуктивности рассеивания обмоток трансформатора на работу выпрямителя и его характеристики?
3. Объяснить последовательность работы вентилей в трехфазной однотактной и трехфазной двухтактной схемах.
4. Что такое вынужденное намагничивание трансформатора, как оно влияет на характеристики выпрямителя?
5. Как зависит коэффициент сглаживания (коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке kп) L- и C-фильтров от тока нагрузки?
6. Объяснить изменение хода внешней характеристики с LC-фильтром при I0 □ 0.
7. Как влияет индуктивность рассеивания обмоток трансформатора LS на форму тока вентиля и выпрямленного напряжения трехфазного выпрямителя с индуктивным фильтром?
8. Как зависит габаритная мощность трансформатора в выпрямителе от типа сглаживающего фильтра?

Тема № 7 Электрические машины

Лабораторная работа №13 Тема«Исследование генератора постоянного тока с независимым возбуждением»

Цель работы:

1 Изучить принцип действия, конструкцию и свойства генераторов постоянного тока с параллельным и независимым возбуждением.

2 Ознакомиться с методикой снятия основных характеристик генераторов: холостого хода, внешней, регулировочной.

3 Выявить по снятым характеристикам рабочие свойства генераторов.

Общие сведения

В генераторе независимого возбуждения катушки главных полюсов получают питание от вспомогательного источника постоянного напряжения. При вращении якоря в его обмотке наводится ЭДС. ЭДС генератора пропорциональна магнитному потоку полюса Ф и скорости вращения n якоря

$E = C_E \Phi n$,

где C_E - коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции машины и выбранной системы единиц; n - частота вращения якоря в об/мин.

Величина магнитного потока Ф, возбуждаемого полюсами, будет зависеть от величины тока в обмотке возбуждения. Поскольку ЭДС Е якорной обмотки при постоянной скорости вращения прямо пропорциональна потоку, то, изменяя ток в обмотке возбуждения, можно регулировать ЭДС генератора.

Характеристика холостого хода показана на рис.14.

Это зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения $U_0 = f (I_B)$ при постоянной скорости вращения и токе нагрузки I_a, равном нулю. Очевидно, что при холостом ходе $U_0 = E$.

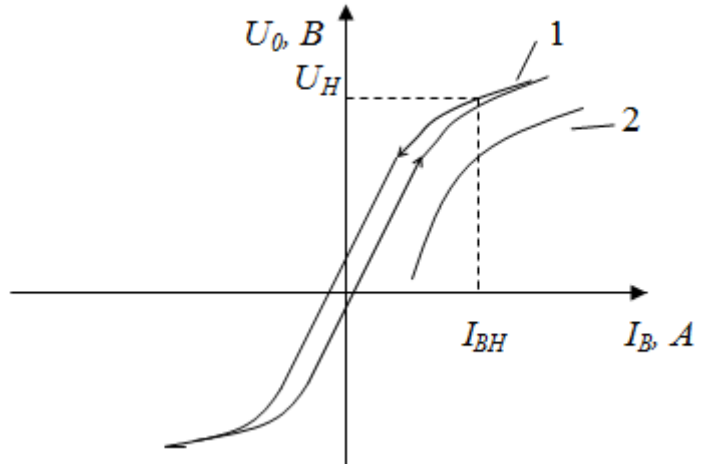


Рис.14. **Характеристика холостого хода (кривая 1) и нагрузочная характеристика (кривая 2)**

В начальной части эта характеристика близка к прямолинейной зависимости вследствие того, что при небольшом значении магнитного потока ферромагнитные части магнитной цепи машины ненасыщены. По мере увеличения тока возбуждения магнитная индукция увеличивается, что приводит к насыщению отдельных участков магнитной цепи и, следовательно, к уменьшению их магнитной проницаемости. Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля B = f (H) становится нелинейной. А так как напряжение холостого хода пропорционально магнитной индукции ($U_0 = E_0 \sim$ Ф $\sim$ B), а ток возбуждения пропорционален напряженности магнитного поля ($I_B \sim F \sim H$), то нелинейной становится и характеристика холостого хода.

Если к щеткам генератора подключить нагрузку, то напряжение U на его зажимах будет меньше ЭДС Е на величину внутреннего падения напряжения в машине, создаваемого током нагрузки I_a на сопротивлении r_a :

$U = E - I_a r_a$.,

где ra - суммарное сопротивление якорной цепи, которое складывается из сопротивления обмотки якоря rЯ и обмотки добавочных полюсов rД .

С ростом нагрузки ток во внешней цепи I_a генератора соответственно увеличивается, а внутреннее падение напряжения $I_a r_a$ возрастает. Благодаря этому напряжение на зажимах генератора уменьшается, однако незначительно, так как сопротивление обмотки якоря очень мало. При номинальном токе I_H нагрузки и номинальном токе возбуждения напряжение на щетках генератора также будет номинальным U_H.

При нагрузке машины ее магнитное состояние обусловлено совместным действием обмоток возбуждения и обмотки якоря. Влияние поля якоря на основное магнитное поле (поле полюсов) называется реакцией якоря. Если щетки машины установлены на геометрической нейтрали, поле якоря будет поперечным, так как его ось совпадает с осью щеток. Поперечная реакция якоря искажает картину магнитного поля в воздушном зазоре и вследствие насыщения магнитной системы машины вызывает уменьшение магнитного потока.

Для исследования действия реакции якоря при работе машины снимают нагрузочную характеристику $U = f (I_B)$. Нагрузочная характеристика показывает зависимость напряжения на зажимах генератора U от тока возбуждения I_B при постоянной скорости вращения и токе нагрузки I_H , равном номинальному значению. Она расположена ниже характеристики холостого хода (см. рис.1), поскольку при одних и тех же значениях тока возбуждения величина напряжения под нагрузкой меньше, чем ЭДС Е вследствие падения напряжения в якорной цепи и реакции якоря.

Внешняя характеристика - это зависимость напряжения от тока нагрузки U = f (I_a) при постоянных скорости вращения и токе возбуждения. Для генератора независимого возбуждения эта характеристика показана на рис14..2.

Уменьшение напряжения при увеличении нагрузки (то есть при увеличении тока якоря I_a) объясняется увеличением падения напряжения в якорной цепи и уменьшением ЭДС за счет увеличения размагничивающего действия реакции якоря.

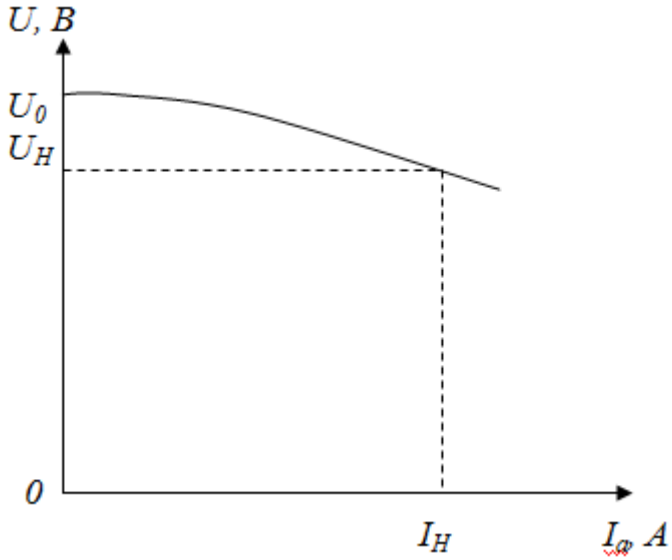


Рис.14. 2. **Внешняя характеристика**

По внешней характеристике определяют процентное изменение напряжения $U_{\%}$ при сбросе нагрузки

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

В генераторах независимого напряжения $U_{\%}$ составляет 5 - 10 %.

Регулировочная характеристика показывает зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянных значениях скорости вращения якоря и напряжения на зажимах генератора $I_B = f (I_a)$.

Можно сказать, что регулировочная характеристика показывает, как нужно изменять ток возбуждения, чтобы при изменении нагрузки поддерживать напряжение постоянным.

Так как $U = E - I_a r_a$, а с увеличением тока якоря I_a возрастает падение напряжения $I_a r_a$ и размагничивающее действие реакции якоря, то, как видно из внешней характеристики, напряжение U будет уменьшаться. Поэтому для того, чтобы напряжение U оставалось неизменным, нужно одновременно с увеличением тока якоря увеличивать ток возбуждения I_B , что приведет к увеличению ЭДС и сохранению тем самым U = const (рис. 3).

Зная регулировочную характеристику, можно правильно выбрать регулятор возбуждения по мощности и пределам изменения тока возбуждения.

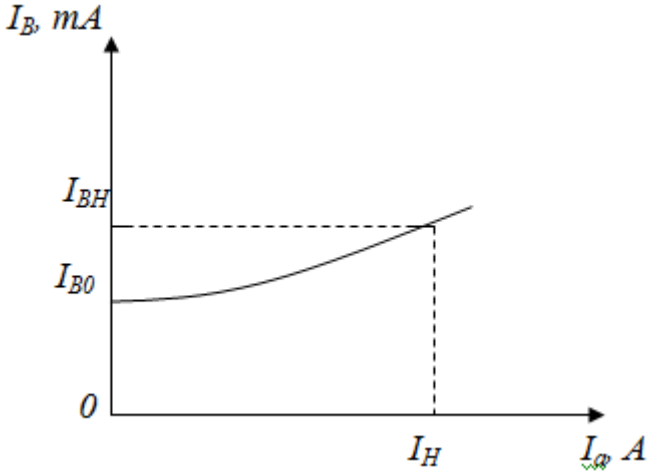


Рис.14. 3. **Регулировочная характеристика.**

1. Схемы электрические соединений

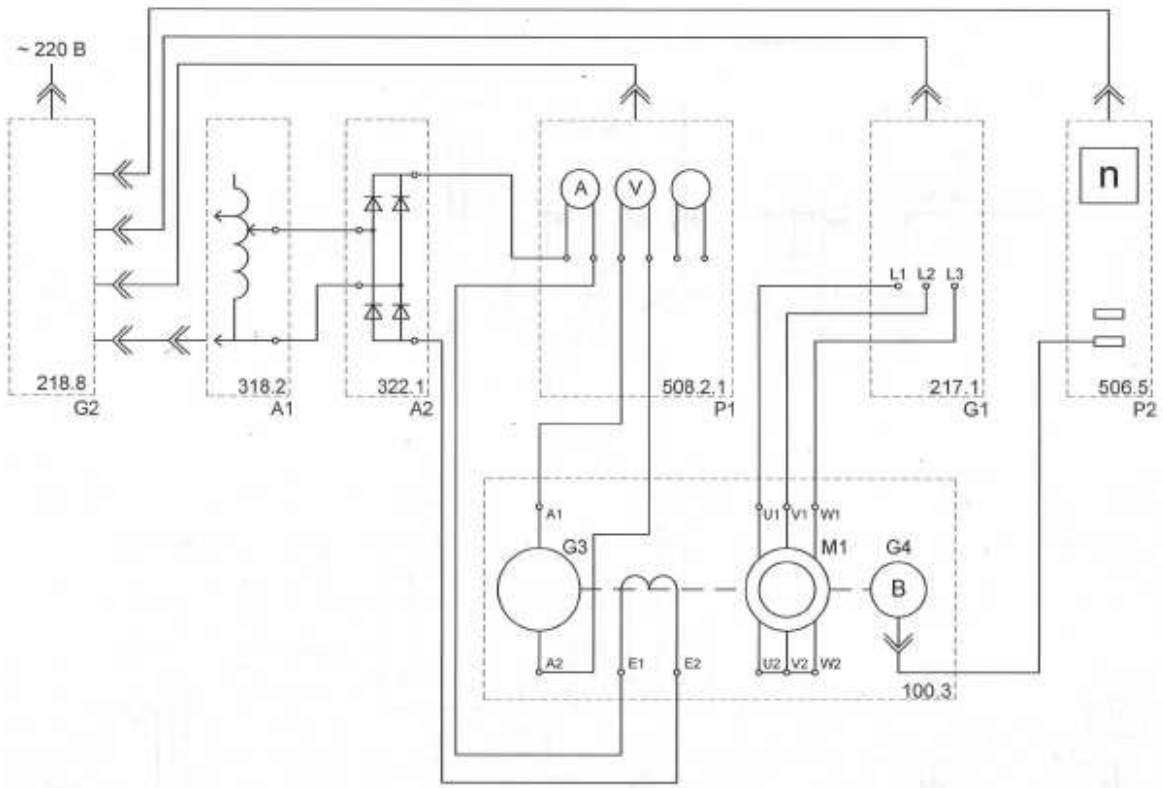


Рис. 1.1. Схема для снятия характеристики холостого хода генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

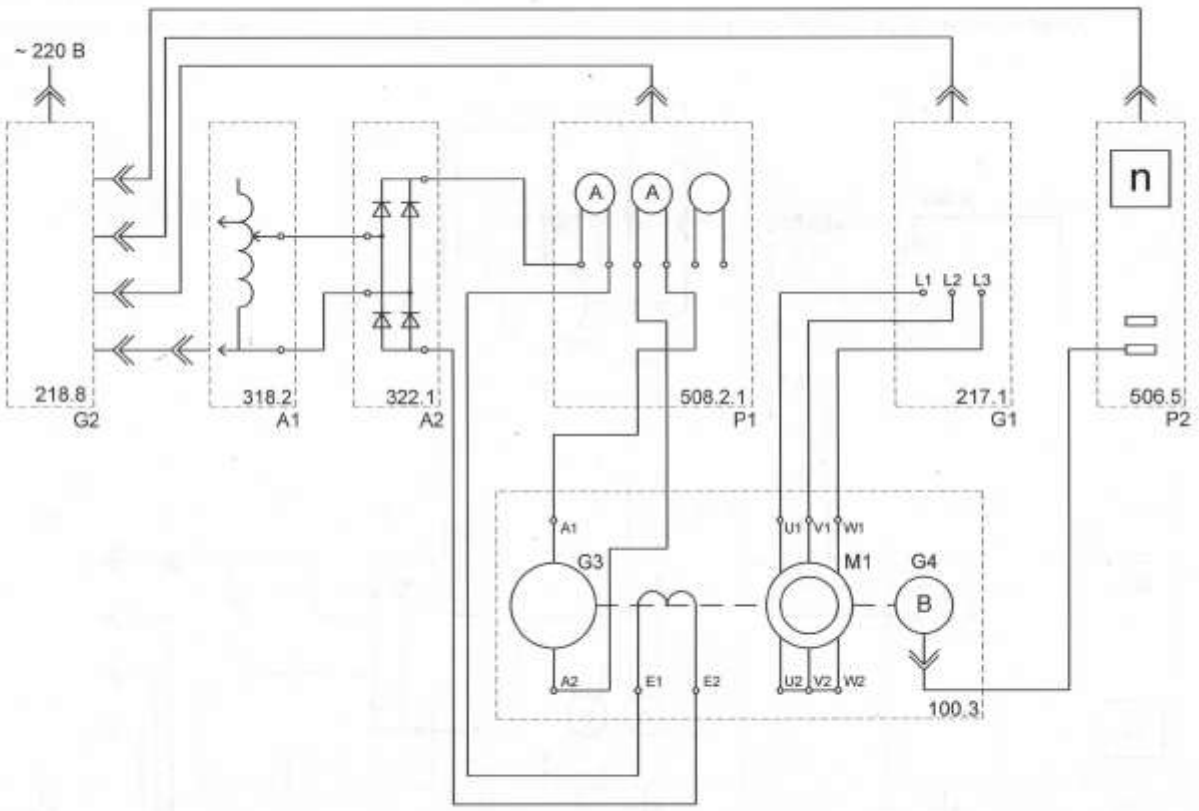


Рис. 1.2. Схема для снятия характеристики короткого замыкания генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

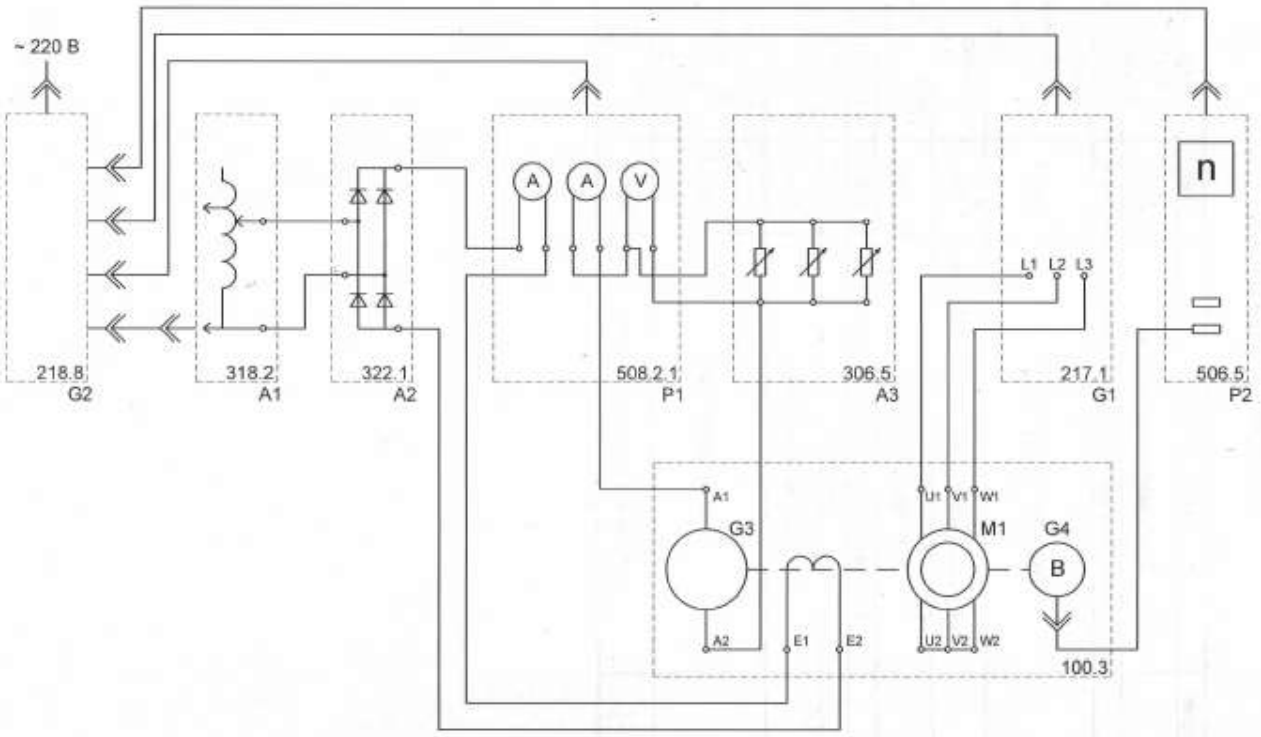


Рис. 1.3. Схема для снятия внешней, регулировочной и нагрузочной характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

4. **Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Преобразователь частоты	217.1	0...100 Гц 3х220 В; 3 А
G2	Однофазный источник питания	218.8	~220 В / 6 А
G3	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; 220 В 2,4 А (якорь) 220 В (возбуждение)
G4	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
Ml	Асинхронный двигатель	106	120 Вт; 220/380 В; 1350 мин"[1]
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.2	-0...240В /2 А
A2	Выпрямитель	322.1	-400 В /2 А
A3	Активная нагрузка	306.5	220/380 В; 50Гц; 3х0. ..30 Вт
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра 0...1000 В 0...10 А=; 0...20 МОм
P2	Указатель частоты вращения	506.5	2000...0...2000 мин"[1]

Порядок выполнения экспериментальной части

Снятие характеристики холостого хода Eo=f(If) **генератора постоянного тока с независимым возбуждением**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" преобразователя частоты G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.1.
- Регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите, например, следующие значения параметров: U номинальное - 220 В, тип характеристики - линейная, выход 1 - скорость, выход 2 - скорость, управление - ручное.
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».

• Вращая регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml, например, 157 рад/с (соответствует 1500 об/мин). Нажмите кнопку «НАЗАД» и убедитесь, что электродвигатель Ml пришел во вращение и на дисплее преобразователя G1 по завершении разгона двигателя Ml отображается скорость вращения его магнитного поля 157 рад/с.

• Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1 установите по указателю P2 частоту вращения n генератора G3 (двигателя Ml), например, 1500 об/мин и поддерживайте ее в ходе эксперимента.

• Включите выключатель "СЕТЬ" автотрансформатора A1.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1, изменяйте ток возбуждения If генератора G3 в диапазоне 0—0,15 А и заносите показания амперметра (ток If) и вольтметра (э.д.с. Eo генератора G3) в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

If, A										
Eo, B										

• По завершении эксперимента у автотрансформатора A1 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора и отключите выключатель "СЕТЬ". Нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Используя результаты табл. 1.1, постройте искомую характеристику холостого хода генератора Eo=f(If) при **n** = const.

Снятие характеристики короткого замыкания Ijo=f(If) **генератора постоянного тока с независимым возбуждением**

• Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

• Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" преобразователя частоты G1.

• Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.2.

• Регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 поверните против часовой стрелки до упора.

• Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2.

• Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

• Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».

• Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите, например, следующие значения параметров: U номинальное - 220 В, тип характеристики - линейная, выход 1 - скорость, выход 2 - скорость, управление - ручное.

• Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».

• Вращая регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml, например, 157 рад/с (соответствует 1500 об/мин). Нажмите кнопку «НАЗАД» и убедитесь, что электродвигатель Ml пришел во вращение и на дисплее преобразователя G1 по завершении разгона двигателя Ml отображается скорость вращения его магнитного поля 157 рад/с.

• Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1 установите по указателю P2 частоту вращения n генератора G3 (двигателя Ml), например, 1500 об/мин и поддерживайте ее в ходе эксперимента.

• Включите выключатель "СЕТЬ" автотрансформатора A1.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1, изменяйте ток возбуждения If генератора G3 в диапазоне 0.. .0,05 А и заносите показания амперметров (ток If) и (ток 1к) в таблицу 1.2 **(ток $1_к$ длительно не должен превышать значения** 0,6 А).

Таблица 1.2

If, А										
1к, А										

• По завершении эксперимента у автотрансформатора A1 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора и отключите выключатель "СЕТЬ". Нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Используя результаты табл. 1.2, постройте искомую характеристику короткого замыкания генератора 1к=Щ0 при n = const.

Снятие внешней U=f(I), регулировочной If=f(I) и нагрузочной U=f(If) характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением

• Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

• Соедините гнезда защитного заземления "®" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" преобразователя частоты GE

• Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.

• Регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 поверните против часовой стрелки до упора.

• Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2,-

• Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

• Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИ1ДЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».

• Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите, например, следующие значения параметров: U номинальное - 220 В, тип характеристики - линейная, выход 1 - скорость, выход 2 - скорость, управление - ручное.

• Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».

• Вращая регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml, например, 157 рад/с (соответствует 1500 об/мин). Нажмите кнопку «НАЗАД» и убедитесь, что электродвигатель Ml пришел во вращение и на дисплее преобразователя G1 по завершении разгона двигателя Ml отображается скорость вращения его магнитного поля -157 рад/с.

• Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1 установите по указателю P2 частоту вращения n генератора G3 (двигателя Ml), например, 1500 об/мин и поддерживайте ее в ходе эксперимента.

• Регулировочные рукоятки активной нагрузки A3 установите в положение "0"

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1, установите и поддерживайте неизменным в ходе эксперимента ток возбуждения If, равным, например, 0,1 А.

• Перемещая регулировочные рукоятки активной нагрузки А3, изменяйте ток I якорной обмотки генератора G3 и заносите показания амперметра (ток I) и вольтметра (напряжение U якорной обмотки генератора G3) в таблицу 1.3.1.

Таблица 1.3.1

I,A										
U, B										

• Верните регулировочные рукоятки активной нагрузки А3 в положение "О".

• Установите путем регулирования тока возбуждения If напряжение U якорной обмотки генератора G3, равным, например, 100 В и поддерживайте его в ходе эксперимента.

• Перемещая регулировочные рукоятки активной нагрузки А3 по часовой стрелке изменяйте ток I якорной обмотки генератора G3 и заносите показания амперметров (ток I) и (ток If) в таблицу 1.3.2.

Таблица 1.3.2.

I,A										
If, A										

Меняя положение регулировочных рукояток активной нагрузки А3 и поддерживая путем регулирования тока возбуждения If ток I якорной обмотки неизменным и равным, например, 0,15 А, изменяйте напряжение U якорной обмотки генератора G3 и заносите показания вольтметра (напряжение U) и амперметра (ток If) в таблицу 1.3.3.

Таблица 1.3.3.

If, A										
U, B										

• По завершении эксперимента у автотрансформатора А1 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора.и отключите выключатель "СЕТЬ". Нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Используя данные табл. 1.3.1... 1.3.3 постройте искомые:

- внешнюю характеристику генератора U=f(I) при n= const, If =const (табл. 1.3.1.);
- регулировочную характеристику генератора If =f(I) при n= const, U=const (табл. 1-3.2.);,
- нагрузочную характеристику генератора U=f(If) при n- const, I=const (табл. 1.3.3.).

Содержание отчёта

1. Наименование и цель работы.
2. Технические сведения об оборудовании и электроизмерительных приборах.
3. Схемы экспериментальных установок.
4. Таблицы с результатами измерений.
5. Графические материалы - характеристики.
6. Выводы о соответствии результатов эксперимента теоретическим положениям.

Контрольные вопросы

1. В чём состоит принцип обратимости электрических машин постоянного тока.
2. Опишите устройство и объясните принцип действия генератора постоянного тока независимого возбуждения.
3. Сравните характеристики генераторов постоянного тока в зависимости от типа возбуждения.
4. Поясните явление реакции якоря генератора.
5. Поясните явление коммутации в генераторе постоянного тока и приведите меры улучшения коммутации.
6. Объясните природу возникновения электромагнитного момента генератора постоянного тока.
7. Укажите вид основных характеристик генератора постоянного тока.

Лабораторная работа №14 Тема «Исследование двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением»

Цель работы:

Осуществление пуска и изучение способов изменения направления вращения двигателя, технических данных, методов регулирования частоты вращения, основных свойств, а также характеристик двигателя.

Общие сведения

Двигатели постоянного тока в основном используются в приводах, требующих регулирования частоты вращения в широком диапазоне. Существенным недостатком двигателей постоянного тока является наличие щеточно-коллекторного устройства, которое снижает надежность двигателя. В зависимости от способа включения обмоток возбуждения и якоря различают следующие типы двигателей постоянного тока: двигатели параллельного возбуждения, двигатели последовательного возбуждения; двигатели смешанного возбуждения.

Пуск двигателей можно осуществлять тремя способами: *непосредственным включением, если двигатель малой мощности; включением пускового реостата; снижением питающего напряжения.*

В лаборатории пуск осуществляется третьим способом, т. е. изменением питающего напряжения с помощью *лабораторного автотрансформатора (ЛАТР).* Пуск заканчивается, когда напряжение на двигателе достигнет номинального значения. При этом необходимо следить, чтобы машина не пошла “в разнос”, т. е. не превысила числа оборотов ***nmax=1,5nн .*** Снижение оборотов будет при увеличении момента на валу машины.

Способы регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока можно получить, анализируя формулу:

$$n = \frac{U - IR_a}{c_e \Phi} \quad (1)$$

где ***U*** — подводимое к двигателю напряжение; ***IR*** а— падение напряжения в цепи якоря;

Ф — основной магнитный поток на полюс; ***ce*** — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных данных двигателя;

. Регулировать частоту вращения можно следующими способами:

изменением напряжения, подводимого к двигателю; изменением сопротивления цепи якоря; *изменением магнитного потока*.

Для двигателя с последовательным возбуждением первый способ возможен при наличии автономного источника питания, допускающего регулирование напряжения – ЛАТР.

Второй способ регулирования частоты вращения предусматривает введение добавочного сопротивления *Rд* последовательно в цепь якоря (см. рис. 3). При этом увеличивается падение напряжения *I(Ra + Rд)* подводимое к якорю напряжение уменьшается, вследствие чего частота вращения двигателя уменьшается.

При третьем способе регулирования параллельно цепи обмотки возбуждения включают шунтирующий реостат *Rш*, снижая сопротивление которого, увеличивают ток шунта, а ток возбуждения уменьшается на основании первого закона Кирхгофа. Поток *Ф* - уменьшается, частота вращения при этом будет увеличиваться. Этот способ является экономичным, так как потери в реостате невелики.

Изменение направления вращения двигателя может быть осуществлено путем изменения направления тока либо в обмотке возбуждения, либо в обмотке якоря. Одновременное изменение направления тока и в обмотке якоря, и в обмотке возбуждения, не дает изменения направления вращения якоря двигателя.

В результате взаимодействия токов в проводах обмотки якоря с магнитным полем в воздушном зазоре возникает электромагнитный момент

$$M = c_м \Phi I_a \text{ , (2)}$$

где *см=0,975 се* .

При установившихся режимах работы *(n=const)* электромагнитный момент уравновешивает статический момент сопротивления на валу

M = Mc

Mc = M0 + M2 (3)

где *M0* — момент, обусловленный механическими и магнитными потерями

M2 - двигателя; полезный момент нагрузки.

Для того, чтобы увеличить ток якоря, увеличивают тормозной момент на валу двигателя, что приводит к снижению частоты вращения, и как следствие, к уменьшению ЭДС якоря *Ea* и согласно выражению

$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a} \quad (4)$$

ток якоря возрастет. Это вызовет, согласно формулы (2), увеличение момента. Ток якоря будет возрастать до такого значения, при котором момент двигателя станет равным сумме полезного тормозного момента *M2* и момента холостого хода *M0* (3). Эксплуатационные свойства двигателя определяются его рабочими характеристиками, под которыми понимают зависимости частоты вращения *n* полезного момента *M2* потребляемого тока *I*а и коэффициента полезного действия *h* от полезной мощности *P2* при *U=const* (рис. 1).

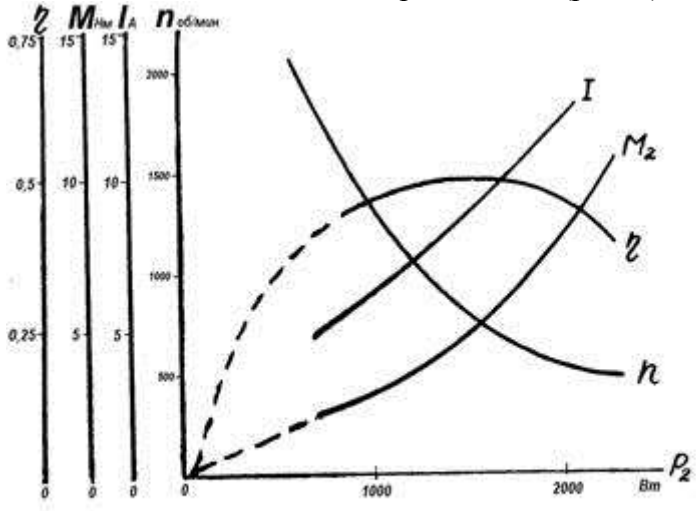


Рис.1

А. Скоростная характеристика.

Для выяснения вида зависимости *n = f(P2)*, которая называется скоростной характеристикой, обратимся к формуле (1). Напряжение *U* постоянно. Ток возбуждения *Iв* при последовательном соединении равен току якоря. Последний, при увеличении нагрузки, т. е. момента на валу будет возрастать, что приведёт к уменьшению числии увеличению знаменателя (*Ф – возрастает)* и частота вращения двигателя будет резко снижаться. Скоростная характеристика является гиперболической. Такие характеристики принято называть *мягкими.* При значительном увеличении нагрузки, по мере насыщения магнитной цепи, характеристика приобретает более прямолинейный характер.

Необходимо обратить особое внимание на то, что при значительном уменьшении нагрузки и тем более при полном ее сбросе двигатель резко увеличивает частоту вращения (идет «в разнос»). Поэтому двигатель последовательного возбуждения нужно использовать для привода механизмов, которые позволяют создать некоторую нагрузку при пуске и не требуют разгрузки до холостого хода при работе.

Б. Моментная характеристика.

M2 = f (P2) при *U = const*

Электромагнитный момент *M* двигателя определяется по формуле (2). При незначительном насыщении стали *Ф ~ Ia и M = cφм I2 ,* т. е. моментная характеристика двигателя последовательного возбуждения представляет собой квадратичную параболу.

По мере увеличения тока якоря наступает насыщение магнитной системы двигателя и увеличение электромагнитного момента замедляется. При большом насыщении стали, когда магнитный поток мало увеличивается, момент двигателя становится почти пропорциональным току якоря.

Двигатели последовательного возбуждения развивают большой начальный пусковой момент и имеют «мягкую» механическую характеристику. Благодаря этим особенностям, двигатели последовательного возбуждения получили широкое применение в качестве тяговых двигателей на электроподвижном составе и в качестве приводных двигателей в подъемных механизмах.

В. КПД двигателя.

h = f (P2) при U=const

Коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока определяется по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1}$$

При изменении режима работы двигателя меняется подводимая мощность *P1* и мощность потерь энергии *å p* поэтому меняется и КПД.

При теоретическом холостом ходе, когда *P2=0, h = 0.* При увеличении нагрузки КПД сначала быстро увеличивается до максимального значения, а затем начинает уменьшаться.

Коэффициент полезного действия двигателя достигает максимального значения *hmax* при такой нагрузке, когда постоянные потери равны переменным потерям.

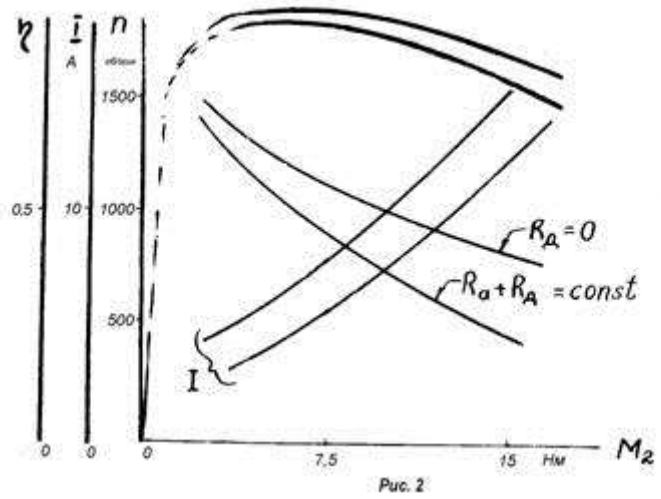


Рис. 2

Механические характеристики двигателя представляют зависимости:

n =f (M2) при U=const и (Ra + Rд) = const

На рис. 2 изображены механические, токовые и характеристики КПД двигателя последовательного возбуждения, снятые при отсутствии(естественная характеристика) и наличии добавочного сопротивления *Rд* (искусственная характеристика).

Угол наклона механической характеристики зависит от величины добавочного сопротивления *Rд*, включенного в цепь якоря. При одном и том же моменте на валу двигателя, чем больше будет добавочное сопротивление, тем меньше будет напряжение на зажимах якоря, тем меньше будет частота вращения двигателя.

Регулировочные характеристики двигателя представляют зависимости:

а) *n = f(U) при M2 = const;*

б) n = f(Iв) при U = const и M2 = const.

Первая характеристика дает возможность судить о том, как будет изменяться частота вращения двигателя при изменении напряжения на зажимах якоря и постоянной величине полезного момента на валу двигателя.

Вторая характеристика показывает, как изменится частота вращения двигателя при изменении тока возбуждения или изменения магнитного потока двига

2. Схемы электрические соединений

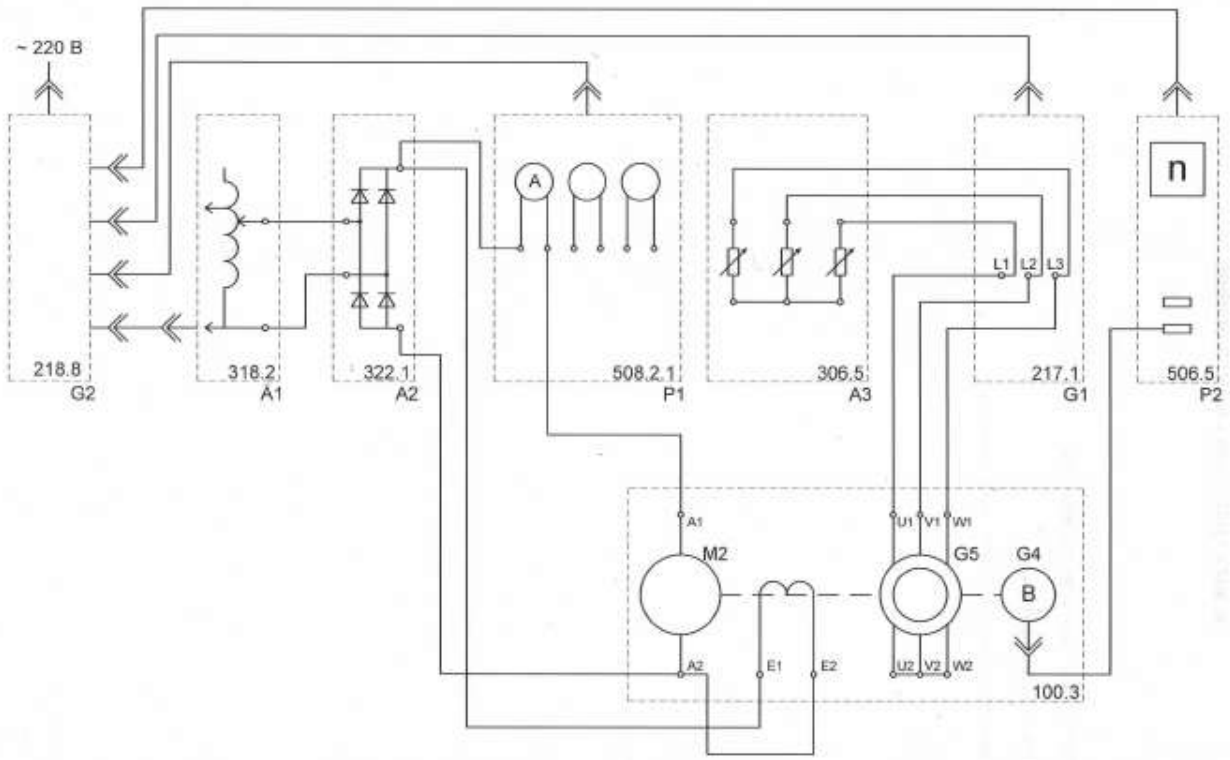


Рис. 2.1. Схема для снятия электромеханической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

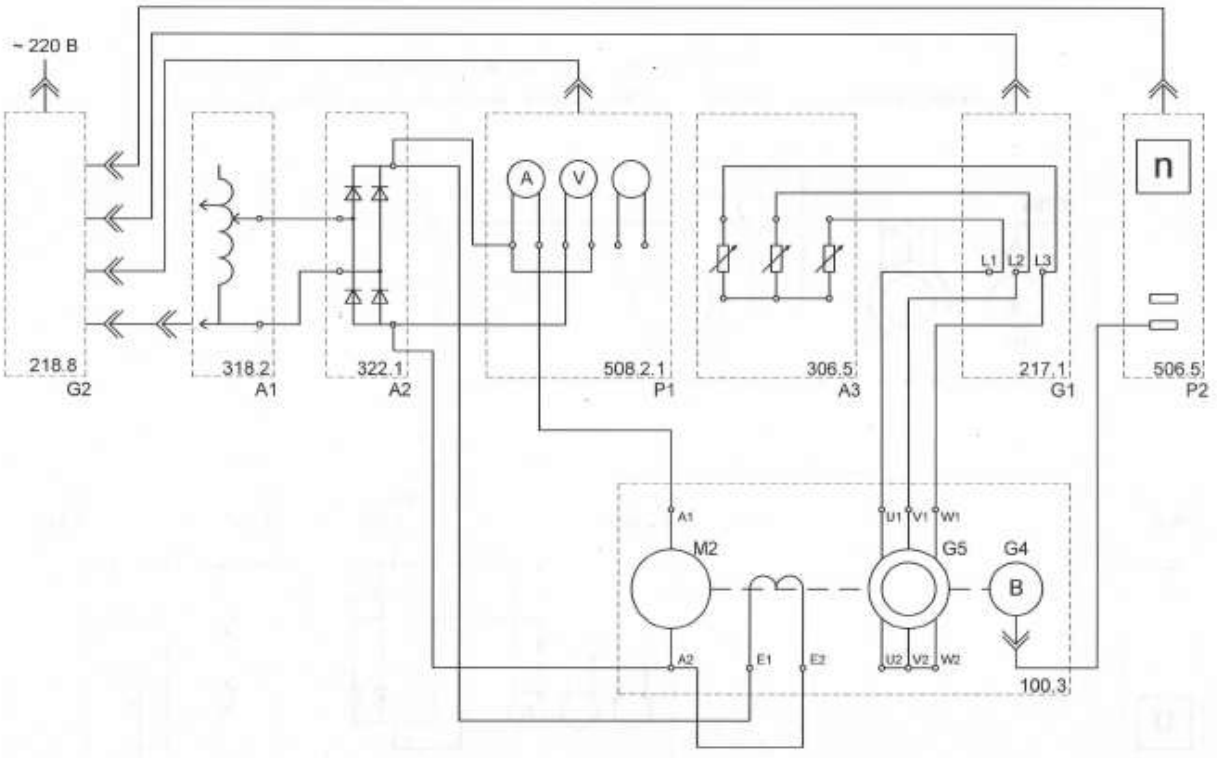


Рис. 2.2. Схема для определения механической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

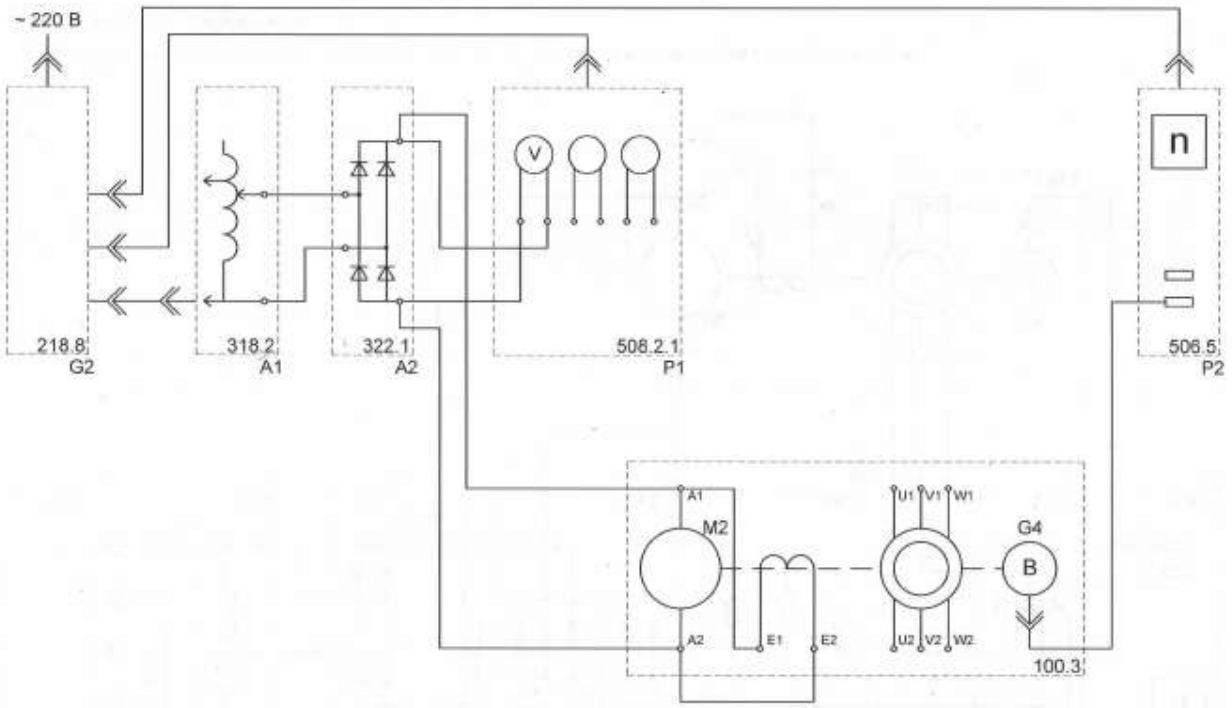


Рис. 2.3. Схема для регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением напряжения якоря.

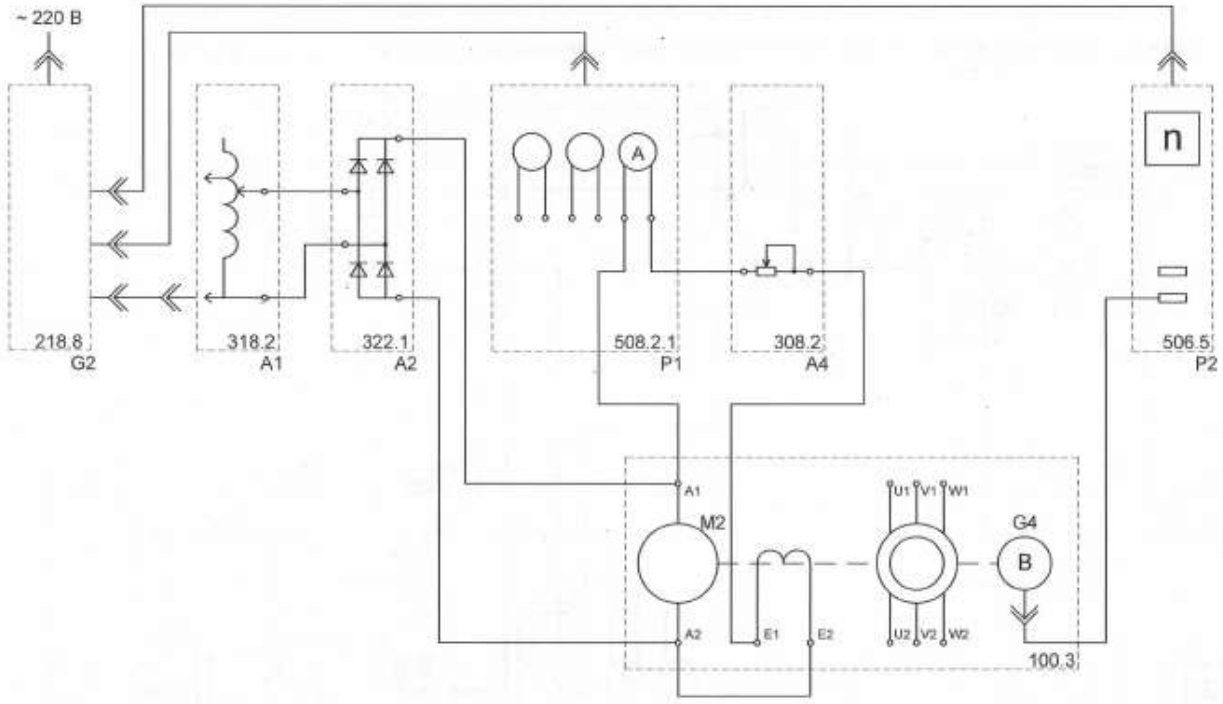


Рис. 2.4. Схема для регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением возбуждения

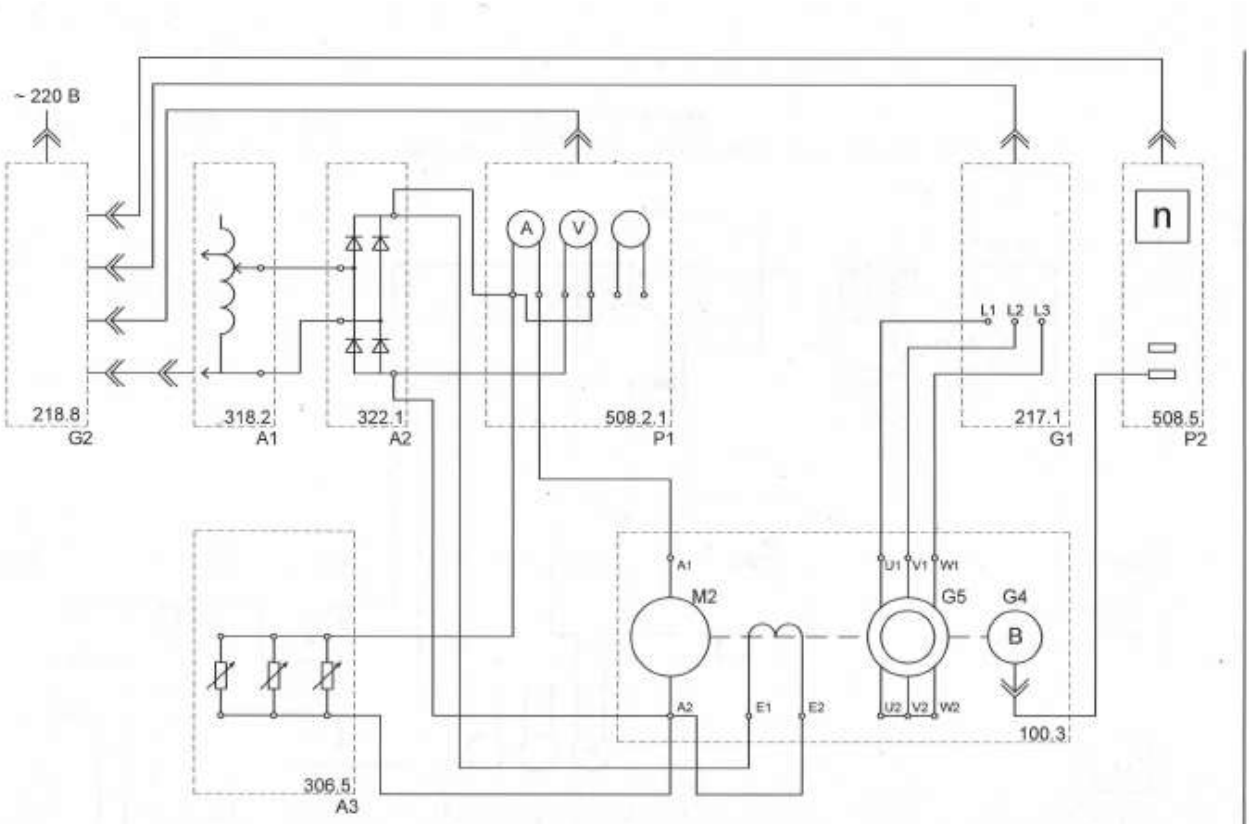


Рис. 2.5. Схема для определения координат электропривода с двигателем постоянного тока параллельного возбуждения в генераторном, двигательном и тормозном режимах.

5. Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Преобразователь частоты	217.1	0...100 Гц 3х220 В; 3 А
G2	Однофазный источник пи-	218.8	~220 В / 6 А
G3	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; 220 В 2,4 А (якорь) 220 В (возбуждение)
G4	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
Ml	Асинхронный двигатель	106	120 Вт; 220/380 В; 1350 мин"[1]
A1	Регулируемый автотранс-	318.2	-0...240В /2 А
A2	Выпрямитель	322.1	-400 В /2 А
A3	Активная нагрузка	306.5	220/380 В; 50Гц; 3х0. ..30 Вт
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра 0...1000 В 0...10 А=; 0...20 МОм
P2	Указатель частоты враще- ния	506.5	2000...0...2000 мин"[1]

5. Порядок выполнения экспериментальной части

2.1. Снятие электромеханической характеристики n=f(I) двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

• Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

• Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" автотрансформатора A1.

• Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.

• Регулировочные рукоятки активной нагрузки A3 поверните в крайнее по часовой стрелке положение.

• Регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 поверните против часовой стрелки до упора.

• Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2.

• Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

• Включите выключатель "СЕТЬ" автотрансформатора A1.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1, разгоните двигатель M2 до частоты вращения n, например, равной 1300 об/мин.

• Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».

• Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите, например, следующие значения параметров: U номинальное - 220 В, тип характеристики - линейная, выход 1 - скорость, выход 2 - скорость, управление - ручное.

• Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».

• Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml 136 рад/с (соответствует 1300 об/мин) и нажмите кнопку «ВПЕРЕД».

• Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1 по и против часовой стрелки, изменяйте ток якоря I двигателя M2 (ток I не должен превышать значения 0,6 А) и заносите показания амперметра (ток I) и указателя P2 (частота вращения n) в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

I,A										
n, мин$^{-1}$										

По завершении эксперимента нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1, у автотрансформатора A1 поверните регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора и отключите выключатели "СЕТЬ".

Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Используя данные таблицы 2.1.1 постройте искомую электромеханическую характеристику **n=f(I)** двигателя постоянного тока.

Определение механической характеристики n=f(M) двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

• Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

• Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" автотрансформатора A1.

• Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.2.

- Регулировочные рукоятки активной нагрузки А3 поверните в крайнее по часовой стрелке положение.
- Регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2.
- Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.
- Включите выключатель "СЕТЬ" автотрансформатора А1.
- Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, разгоните двигатель М2 до частоты вращения **и,** например, равной 1300 об/мин.
- Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите, например, следующие значения параметров: U номинальное - 220 В, тип характеристики - линейная, выход 1 — скорость, выход 2 - скорость, управление - ручное.
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml 136 рад/с (соответствует 1300 об/мин) и нажмите кнопку «ВПЕРЕД».
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1 по и против часовой стрелки, изменяйте ток якоря **I** двигателя М2 **(ток I не должен превышать значения 0,6** А) и заносите показания амперметра (ток **I),** вольтметра (напряжение U якоря двигателя М2) и указателя Р2 (частота вращения п) в таблицу 2.2.1.

Таблица 2.2.1

I,A										
U, B										
n, мин$^{-1}$										

- По завершении эксперимента нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1, у автотрансформатора А1 поверните регулировочные рукоятки против часовой стрелки до упора и отключите выключатели "СЕТЬ". Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.
- Используя данные таблицы 2.2.1, для каждого значения частоты вращения **п** вычислите

по формуле $M = \frac{60}{2\pi n}(U - 65 \cdot I)I$ [Н·м],

и занесите в табл. 2.2.2 значения электромагнитного момента двигателя М2.

Таблица 2.2.2

n, мин ^{1}										
М, Н и										

- Используя данные таблицы 2.2.2 постройте искомую механическую характеристику **n=f(M)** двигателя постоянного тока.

Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением напряжения якоря

- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.

• Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1.

• Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений, приведенную на рис. 2.3.

• Регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 поверните против часовой стрелки до упора.

• Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2.

• Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.

• Включите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, разгоните двигатель М2 до частоты вращения, например, 1500 мин$^{-1}$.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, уменьшайте напряжение якоря U двигателя М2 и заносите показания вольтметра блока Р1 (напряжение U) и указателя Р2 (частота вращения п) в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

U, В									
n, мин$^{-1}$									

• По завершении эксперимента у автотрансформатора А1, поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Используя данные табл. 2.3, постройте в виде графика зависимость **n=f(U).**

Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением возбуждения

• Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.

• Соедините гнезда защитного заземления "®" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1.

• Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений, приведенную на рис. 2.4.

• Регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 поверните против часовой стрелки до упора.

• Регулировочную рукоятку реостата возбуждения А4 поверните против часовой стрелки до упора.

• Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

• Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2.

• Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.

• Включите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1.

• Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, разгоните двигатель М2 до частоты вращения, например, 1000 мин"^{1}.

• Вращая регулировочную рукоятку реостата возбуждения А4 по часовой стрелке, уменьшайте ток возбуждения If двигателя М2 и заносите показания амперметра блока Р1 (ток возбуждения If) и указателя Р2 (частота вращения и) в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

If, **А**									
п, мин$^{-1}$									

- По завершении эксперимента у автотрансформатора А1, поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.
- Используя данные табл. 2.4, постройте в виде графика зависимость n=f(If).

Определение координат электропривода с двигателем постоянного тока параллельного возбуждения в генераторном, двигательном и тормозном режимах

- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.5.
- Регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 поверните против часовой стрелки до упора.
- . Регулировочные рукоятки активной нагрузки А3 установите, например, в положение «20%».
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания G2.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р2.
- Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.
- Включите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1.
- Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, установите напряжение на якоре двигателя М2 равным, например, 35В. Двигатель при этом должен вращаться со скоростью около 800 об/мин.
- Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите, например, следующие значения параметров: U номинальное - 220 В, тип характеристики - линейная, выход 1 - скорость, выход 2 - скорость, управление - ручное.
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».
- Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты G1, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml, например, 84 рад/с (соответствует 800 об/мин) и нажмите кнопку «ВПЕРЕД».
- Для перевода электропривода с двигателем М2 постоянного тока в двигательный режим вращением регулировочной рукоятки прербразователя частоты G1, устанавливайте задание скорости вращения магнитного поля двигателя Ml менее 84 рад/с, а для перевода в генераторный режим - более 84 рад/с.
- Для перевода электропривода с двигателем М2 постоянного тока в тормозной режим вращением регулировочной рукоятки преобразователя частоты G1 добейтесь снижения скорости вращения двигателя М2 до нуля, нажмите кнопку «НАЗАД» и добейтесь его вращения с отрицательной скоростью.
- С помощью блока мультиметров Р1 измеряйте координаты электропривода: напряжение U и ток I якоря двигателя М2 постоянного тока, с помощью указателя Р2 частоту вращения п двигателя М2 постоянного тока.
- По завершении эксперимента нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G1, у автотрансформатора А1 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора и отключите выключатель "СЕТЬ".

Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P2. Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G2.

- По формуле 2.1 определяйте электромагнитный момент M двигателя M2 постоянного тока.

Содержание отчета

По результатам опытов и расчетов необходимо составить отчет установленной формы, в котором:

1. Привести паспортные данные испытуемого двигателя и приборов, использованных в опытах.
2. Представить электрическую схему стенда. Произвести необходимые расчеты, применив указанные выше расчетные формулы:
3. По данным табл.1 в одних осях координат построить рабочие характеристики:

I, n, M2, h = f(P2) при U=const

4. По данным табл.1, 2 построить в одних осях координат механические, токовые и характеристики КПД:

а) естественные:

n, I, h = f(M2) при U=const и Rд =0

б) искусственные:

n, I, h = f(M2) при U=const и (Ra + Rд) =const.

5. По данным табл. 3 построить зависимость: n = f(U) при M2 =const
6. По данным табл. 4 построить зависимость: б) n = f(Iв) при U =const и M2 =const
7. Дать заключение по результатам выполненной работы.

Контрольные вопросы

1. Содержание работы.
2. Почему по мере разгона двигателя уменьшается величина вращающего момента?
3. Почему с ростом момента нагрузки уменьшается частота вращения двигателя?
4. Как влияет реакция якоря на механические характеристики двигателя?
5. Как влияет напряжение сети на частоту вращения двигателя?
6. Способы регулирования частоты вращения двигателя. Какие из них используются в данной работе?
7. Почему для двигателя последовательного возбуждения недопустима работа на холостом ходу?
8. Почему естественная механическая характеристика у двигателя последовательного возбуждения называется «мягкой»?
9. Почему при небольших токах нагрузки момент двигателя последовательного возбуждения пропорционален квадрату тока?
10. Какими достоинствами располагает двигатель с последовательной обмоткой возбуждения? Как в данной работе производится регулирование и изменение нагрузки двигателя?
11. Какие характеристики двигателя называются механическими (естественными и искусственными) и в каком порядке они определяются в данной работе?
12. По паспортным данным определить номинальный момент двигателя.
13. Какие характеристики называются рабочими: порядок их определения и построения?
14. Как влияет на величину КПД введение добавочного сопротивления в цепь якоря?

Перечень используемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники (печатные издания):

1. Электротехника и электрооборудование В 3 Ч. 2-е изд., испр. И доп. Учебное пособие для СПО Алиев И.И. Научная школа: Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия (г.Черкесск) Год: 2017

2. Электроника и схемотехника 2-е изд., пер. и доп. Учебник и практикум для СПО Миленина С.А., Миленин Н.К. – под ред. М.: Издательство Юрайт, 2017.

Дополнительные источники (печатные издания)

1. Синдеев Ю.Г.«Электротехника с основами электроники»: М, «Феникс»,2010, Серия: Начальное профессиональное образование.
2. Катаенко Ю.К. «Электротехника»: М, «Академ-центр»,2010.
3. Гальперин М.Ф. «Электротехника и электроника», М, Форум,2007.
4. Ярочкина Г.В.,Володарская А.А. «Рабочая тетрадь по электротехнике для НПО», М, ИРПО, «Академия»,2008.
5. Прошин В.М. «Рабочая тетрадь для лабораторных и практических работ по электротехнике», М, ИРПО, «Академия»,2006.
6. Новиков П.Н. «Задачник по электротехнике», М, «Академия»,2006, Серия: Начальное профессиональное образование.

(электронные издания)

– http://ktf.krk.ru/courses/foet/
(Сайт содержит информацию по разделу «Электроника»)
– http://www.college.ru/enportal/physics/content/chapter4/section/paragraph8/theory.html
(Сайт содержит информацию по теме «Электрические цепи постоянного тока»)
– http://elib.ispu.ru/library/electro1/index.htm
(Сайт содержит электронный учебник по курсу «Общая Электротехника»)
– http://ftemk.mpei.ac.ru/elpro/
(Сайт содержит электронный справочник по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии").
– http://www.toe.stf.mrsu.ru/demoversia/book/index.htm
(Сайт содержит электронный учебник по курсу «Электроника и схемотехника»).
– http://www.eltray.com. (Мультимедийный курс «В мир электричества как в первый раз»).
– http://www.edu.ru.
– http://www.experiment.edu.ru.