

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**М. С. Харитонов**

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ  
для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02  
Электроэнергетика и электротехника

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2022

УДК 631.371

Рецензенты

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

А. Ю. Никишин

кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин  
и деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический  
университет» Н. А. Середа

Харитонов, М. С.

Электрические аппараты: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / М. С. Харитонов. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 33 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ представлены схемы изучаемых объектов для сборки на экспериментальном стенде и указания по проведению экспериментальных исследований. Лабораторные работы предназначены для практического закрепления теоретического материала по дисциплине «Электрические аппараты».

Рис. 11, табл. 9, список литературы – 4 наименования

Учебно-методическое пособие «Электрические аппараты» по выполнению лабораторных работ рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 30 июня 2022 г., протокол № 6

УДК 631.371

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2022 г.  
© М. С. Харитонов, 2022 г.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Общие указания по освоению лабораторного практикума.....	5
Лабораторная работа № 1 «Определение коэффициента возврата электромагнитных аппаратов».....	8
Лабораторная работа № 2 «Снятие времятоковой характеристики электротеплового реле» .....	16
Лабораторная работа № 3 «Программирование и работа микропроцессорного блока управления и защиты асинхронного двигателя» ...	19
Лабораторная работа № 4 «Снятие вольтамперной характеристики ограничителя перенапряжений» .....	25
Лабораторная работа № 5 «Определение индуктивных сопротивлений сдвоенного реактора».....	28
Контрольные вопросы.....	31
Рекомендуемая литература .....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Electrical Apparatus / Электрические аппараты» формирует у обучающихся способность и готовность определять параметры и режимы серийного и инновационного оборудования объектов профессиональной деятельности.

Целью освоения дисциплины является ознакомление обучающихся с основными типами электрических аппаратов, применяемых в области электроэнергетики и электротехники, особенностями их конструкции, эксплуатации и режимами их работы

Задачи дисциплины:

- изучение классификации, назначения и особенностей применения современных электрических аппаратов;
- изучение конструкции и принципа действия электрических аппаратов;
- освоение методов расчета основных параметров электрических аппаратов и режимов их работы;
- приобретение навыков эксплуатации и обслуживания электрических аппаратов;
- изучение принципов контроля и управления аппаратами в целях обеспечения заданных параметров технологического процесса;
- формирование умения обосновывать выбор и применять аппараты для защиты и контроля параметров электрических цепей на объектах профессиональной деятельности.

По завершении изучения дисциплины «Electrical Apparatus / Электрические аппараты» у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**знать:** номенклатуру, основные типы и конструктивные особенности современных электрических аппаратов;

**уметь:** определять параметры и режимы работы электрических аппаратов;

**владеть:** навыками эксплуатации и управления режимами работы электрических аппаратов.

Выполнение лабораторных работ проводится с целью развития знаний, умений и навыков в области особенностей конструкции и принципа действия электрических аппаратов, методов управления аппаратами и сбора данных о их функционировании.

Задачами освоения лабораторного практикума являются:

- изучение конструкции и принципа действия электрических аппаратов;
- приобретения навыков эксплуатации и обслуживания электрических аппаратов;

- изучение принципов контроля и управления аппаратами в целях обеспечения заданных параметров технологического процесса;
- формирование умения проводить испытания электрических аппаратов и исследовать параметры их режимов работы.

### **Общие указания по освоению лабораторного практикума**

Лабораторные работы проводятся с использованием специализированного учебного оборудования и (или) компьютерных программ. Основная информация по устройству и принципу действия лабораторной установки и (или) работе специализированного программного обеспечения приведена в учебно-методическом пособии. В случае необходимости перед проведением лабораторной работой непосредственно на месте проведения преподаватель или инженер проводит инструктаж по основным особенностям выполнения лабораторной работы.

Для контроля готовности студентов к выполнению лабораторной работы непосредственно на месте проведения преподавателем проводится опрос в устной форме по ключевым особенностям работы с лабораторной установкой (программой): техника безопасности, цель и задачи исследования, принцип взаимодействия с установкой (программой), порядок проведения исследования, ожидаемые результаты. Студенты, прошедшие контроль, допускаются к выполнению лабораторной работы. Студенты, не справившиеся с контролем, допускаются к работе после устранения замечаний.

После выполнения лабораторной работы студенты на основе материалов учебно-методического пособия и указаний преподавателя самостоятельно (в часы самостоятельной работы) выполняют обработку и интерпретацию полученных данных и готовят отчеты по лабораторной работе. Отчет должен не только содержать результаты проведенного исследования, но и отражать осмысление сущности изучаемых явлений, взаимосвязи экспериментальных данных и теоретических положений. Наличие отчета по лабораторной работе является условием для допуска к ее защите.

Защита лабораторной работы проводится в форме ответа на контрольные вопросы, а также ответа на вопросы по существу изучаемого явления, примененной методологии экспериментального и аналитического исследования, взаимосвязи экспериментальных данных и теоретических положений.

На выполнение одной лабораторной работы отводится одно лабораторное занятие (2 акад. часа). На защиту одной лабораторной работы отводится не менее 0,5 акад. часа. Для реализации текущего контроля освоения дисциплины занятия для проведения и защиты работ чередуются: первая защита проводится после выполнения работ № 1 и 2, вторая защита – после выполнения работ № 3,

4 и 5. Защита также может проводиться на занятиях, предусмотренных для выполнения лабораторных работ, в оставшееся после выполнения работ время при условии, что это не снижает качества освоения лабораторного практикума.

## **Правила техники безопасности**

### **1. Общие требования охраны труда**

Безопасность жизнедеятельности при проведении лабораторных работ в лабораториях кафедры энергетики обязательна для профессорско-преподавательского состава, учебно-вспомогательного персонала и студентов.

К проведению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж с росписью в журнале. Инженер, обслуживающий лабораторию, должен иметь группу допуска с ежегодной проверкой. В лаборатории должна быть медицинская аптечка с набором медикаментов первой медицинской помощи, а также комплект средств пожаротушения. На видном месте должна висеть инструкция по технике противопожарной безопасности.

Во время проведения занятий запрещено находиться в лаборатории в верхней одежде либо размещать ее в помещении. Перед проведением лабораторных занятий студенты обязаны изучить лабораторную работу. Перед началом работы инженер или преподаватель проверяет исправность стенов. Без разрешения преподавателя проведение лабораторных работ запрещается. Запрещается изменять схему лабораторной работы. При проведении лабораторных работ на столах не должно быть посторонних предметов. Всякие работы по устранению неисправностей под напряжением категорически запрещаются. При сборке схемы применяют только стандартные провода с наконечниками. При возникновении неисправностей стенд должен быть немедленно отключен от сети.

Запрещается оставлять без присмотра работающие стенды. При появлении запаха гари немедленно отключить стенд. В случае поражения электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Ответственный за проведение лабораторных работ уходит последним из лаборатории, убедившись, что рабочее место убрано, а стенды отключены.

При эксплуатации действующих электроустановок запрещается использовать оборудование в условиях, не соответствующих требованиям инструкции организации-изготовителей, или оборудование, имеющее неисправности, которые в соответствии с инструкцией по эксплуатации могут привести к пожару, а также эксплуатировать провода и кабели с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

## **2. Требования охраны труда перед началом работы**

- Осмотреть состояние помещения: достаточно ли освещенность, работает ли вентиляция проветривания помещения, позволяет ли температура в помещении комфортно проводить работы без верхней одежды, не загромождено ли место проведения занятий посторонними предметами.
- Осмотреть состояние электрических соединений, рубильников, автоматов и прочих переключающих средств.
- Проверить наличие средств защиты.
- Убрать все посторонние предметы, которые могли бы создавать неудобство в сборке схемы лабораторной работы.
- Если необходимо, вывесить предупреждающие плакаты.
- Лабораторная работа проводится только с исправными приборами.
- Руководитель перед началом работы проводит инструктаж по технике безопасности и контролирует весь процесс работы.
- К моменту проведения работ все стенды должны быть проверены и готовы.
- Все студенты должны расписаться в контрольном листе.
- Студенты должны внимательно изучить описание работы, при необходимости выяснить неясные моменты.

## **3. Требования охраны труда во время работы**

- Лабораторная работа проводится только в присутствии преподавателя.
- На проведение лабораторной работы разрешение дает лично руководитель занятий после проверки правильно собранной схемы.
- Руководитель должен следить, чтобы в схеме не было открытых оголенных проводов. При обнаружении недостатков такая работа должна быть немедленно приостановлена.
- Во время проведения лабораторной работы все проходы должны быть освобождены, доступ к стендам – свободным.
- Во время проведения лабораторной работы запрещается оставлять включенный стенд без присмотра.
- При выявлении запаха гари следует немедленно обесточить стенд и доложить руководителю.

#### **4. Требования охраны труда по окончании работы**

- По окончании лабораторной работы стенд обесточивается, все приборы и соединительные провода отсоединяются и убираются.
- О выявленных неисправностях доложить руководителю занятий.
- Выключить освещение лаборатории, закрыть помещение на замок.

#### **5. Требования охраны труда в аварийных ситуациях**

1) При возникновении неисправностей во время проведения лабораторной работы необходимо немедленно обесточить стенд.

2) При обнаружении пожара необходимо:

- прекратить работу, оповестить окружающих о пожаре;
- сообщить о пожаре на вахту, сообщить о возгорании в пожарную охрану по тел. **01** или по тел. **101 (112)** мобильной связи, указав при этом точное место пожара, что горит, свою фамилию;

– принять меры по эвакуации людей и спасению оборудования.

– отключить от сети электрооборудование;

– приступить к тушению пожара своими силами с помощью имеющихся подручных средств пожаротушения;

– если погасить очаг горения не представляется возможным, необходимо плотно закрыть окно, дверь, не запирая замок, и покинуть опасную зону.

3) При поражении электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему. При необходимости вызвать скорую помощь по тел. **03.** или по тел. **103 (112)** мобильной связи.

### **Лабораторная работа № 1 «Определение коэффициента возврата электромагнитных аппаратов»**

Цель работы: Изучить принцип действия, конструкцию и области применения электромагнитных аппаратов. Сформировать навыки определения коэффициентов возврата для электромагнитного контактора, электромагнитного реле переменного тока, электромагнитного промежуточного реле переменного напряжения.

#### **План проведения занятия:**

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Изучение структуры электрической схемы, ее вида и назначения;
4. Сбор схемы на лабораторном столе;

5. Выполнение заданий согласно лабораторной работе;
6. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
7. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

## Часть 1 – Исследование электромагнитного контактора

### Используемое оборудование и материалы

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении первой части лабораторной работы, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.2	~ 0...240 В / 2 А
A2	Контактор	364	~ 380 В / 10 А
A3	Выпрямитель	322	400 В / 2 А
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра $\approx 0...1000$ В / $\approx 0...10$ А / $0...20$ МОм

### Указания по проведению лабораторной работы

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

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

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рисунок 1.1) (питание обмотки контактора синусоидальным током промышленной частоты) (или рисунок 1.2) (питание обмотки контактора выпрямленным током).

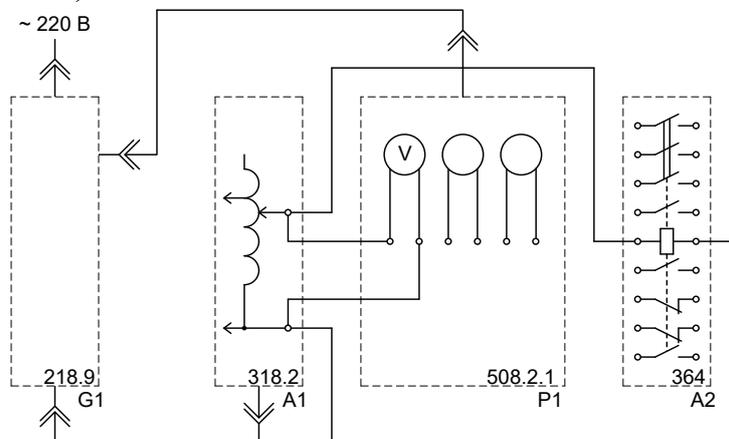


Рисунок 1.1 – Схема электрическая соединений для исследования электромагнитного контактора № 1

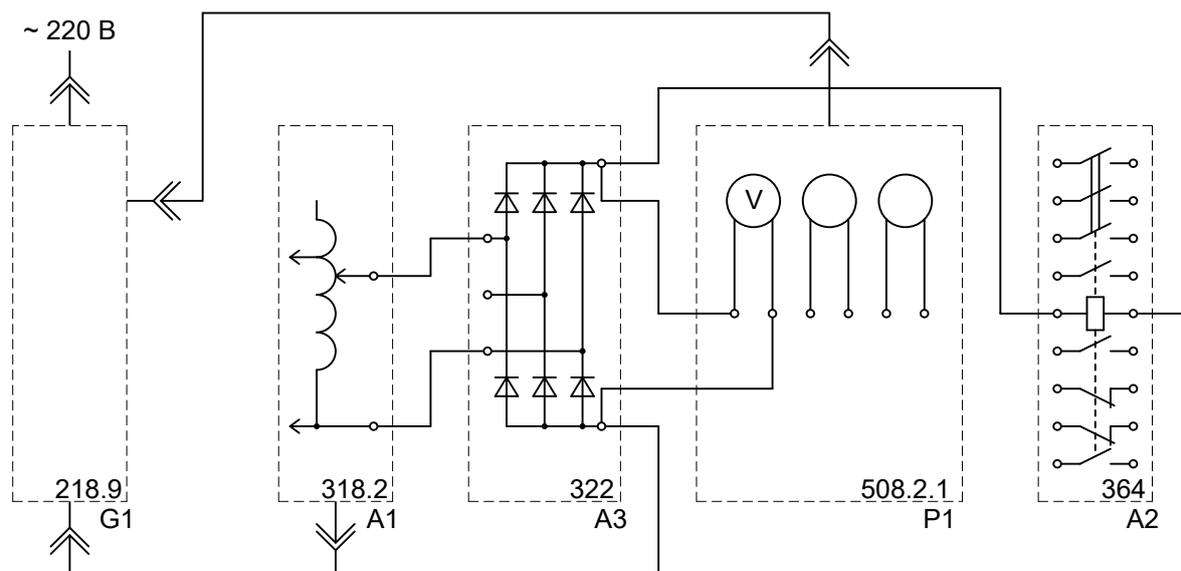


Рисунок 1.2 – Схема электрическая соединений для исследования электромагнитного контактора № 2

4. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 в крайнее против часовой стрелки положение.

5. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

6. Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора A1.

7. Активизируйте используемый мультиметр в блоке P1.

8. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 по часовой стрелке, увеличивайте напряжение, прикладываемое к обмотке контактора A2.

9. В момент включения контактора зафиксируйте с помощью мультиметра, включенного в режим вольтметра, напряжение  $U_1$ .

10. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 против часовой стрелки, уменьшайте напряжение, прикладываемое к обмотке контактора A2.

11. В момент отключения контактора зафиксируйте с помощью мультиметра, включенного в режим вольтметра, напряжение  $U_2$ .

12. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

13. Отключите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора A1.

14. Вычислите коэффициент возврата электромагнитного контактора по формуле  $k = U_2 / U_1$ .

## Часть 2 – Исследование электромагнитного реле переменного тока

### Используемое оборудование и материалы:

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении второй части лабораторной работы, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.2	~ 0...240 В / 2 А
A4	Однофазный трансформатор	372	120 ВА / 220/24 В
A6	Сдвоенный реактор	373	~ 220 В / 2×5 А / 0,005 Гн
A7	Реле максимального тока	366	Номинальный ток ~ 6,3 А / Уставка реле ~ 1,0...2,0 А / Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+1р.
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра = 0...1000 В / = 0...10 А / 0...20 МОм

### Указания по проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рисунок 1.3).
4. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.
5. Установите желаемую уставку реле тока А7, например, 1,5 А.
6. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора А1.

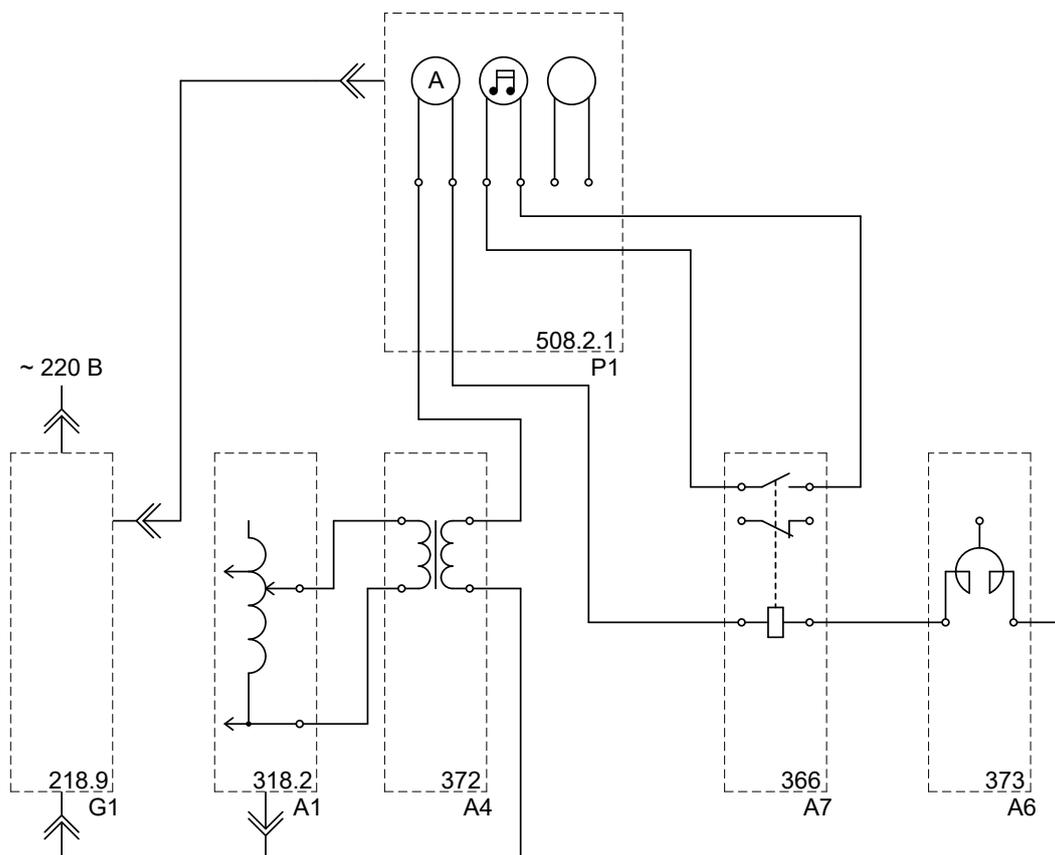


Рисунок 1.3 – Схема электрическая соединений для исследования электромагнитного реле переменного тока

8. Активизируйте используемые мультиметры в блоке P1.

9. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 по часовой стрелке, увеличивайте ток, протекающий по обмотке реле A7.

10. В момент срабатывания реле A7 (определяется по появлению звукового сигнала, издаваемого включенным в режиме «прозвонки» мультиметром) зафиксируйте с помощью мультиметра, включенного в режим амперметра, ток  $I_1$ .

11. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора A1 против часовой стрелки, уменьшайте ток, протекающий по обмотке реле A7.

12. В момент возврата реле A7 (определяется по исчезновению звукового сигнала, издаваемого включенным в режиме «прозвонки» мультиметром) зафиксируйте с помощью мультиметра, включенного в режим амперметра, ток  $I_2$ .

13. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

14. Отключите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора A1.

15. Вычислите коэффициент возврата электромагнитного реле переменного тока по формуле  $k = I_2 / I_1$ .

### Часть 3 – Исследование электромагнитного промежуточного реле переменного напряжения

#### Используемое оборудование и материалы:

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении третьей части лабораторной работы, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.2	~ 0...240 В / 2 А
A8	Промежуточное реле	370	Номинальное напряжение ~220 В / Ток контактов реле 5 А / Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+4р
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра = 0...1000 В / = 0...10 А / 0...20 МОм

#### Указания по проведению лабораторной работы

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

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

3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рисунок 1.4).

4. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.

5. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

6. Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора А1.

7. Активизируйте используемый мультиметр в блоке P1.

8. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 по часовой стрелке, увеличивайте напряжение, прикладываемое к обмотке реле А8.

9. В момент срабатывания реле А8 зафиксируйте с помощью мультиметра, включенного в режим вольтметра, напряжение  $U_1$ .

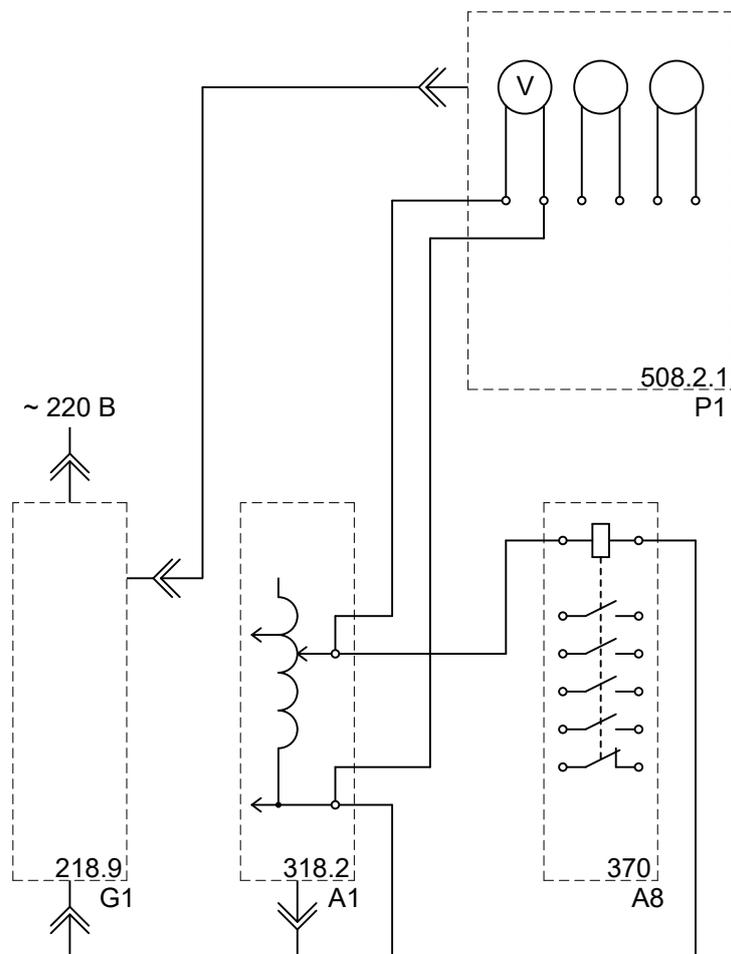


Рисунок 1.4 – Схема электрическая соединений для исследования промежуточного электромагнитного реле переменного напряжения

10. Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 против часовой стрелки, уменьшайте напряжение, прикладываемое к обмотке реле А8.

11. В момент возврата реле А8 зафиксируйте с помощью мультиметра, включенного в режим вольтметра, напряжение  $U_2$ .

12. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

13. Отключите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора А1.

14. Вычислите коэффициент возврата электромагнитного промежуточного реле переменного напряжения по формуле  $k = U_2 / U_1$ .

## Требования к отчету по лабораторной работе

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; краткие теоретические сведения; описание лабораторной установки; результаты лабораторной работы; заключение.

### Контрольные вопросы

1. Назовите элементы конструкции электромагнитных контакторов постоянного тока и переменного тока.
2. Поясните работу электромагнита контактора. В чём отличие электромагнита контактора постоянного тока от электромагнита контактора переменного тока?
3. Почему контактор постоянного тока, в отличие от контактора переменного тока, не защищён от понижения напряжения в сети?
4. Почему ток катушки контактора переменного тока при притянutom положении якоря меньше, чем при отпущенном положении?
5. Поясните работу короткозамкнутого винта, установленного в электромагните контактора переменного тока.
6. Что такое провал контакторов? Каким образом он влияет на коммутационную износостойкость?
7. Поясните конструкцию дугогасительной камеры и принцип магнитного дутья в контакторах постоянного и переменного тока.
8. Перечислите основные характеристики контакторов.
9. Что такое категории применения контакторов постоянного и переменного тока?
10. Назовите марки контакторов, выпускаемых промышленностью.
11. Каким образом должны согласовываться тяговая и противодействующая характеристики электромагнитов контакторов?
12. Поясните результаты экспериментов.
13. Что такое реле? Их назначение в схемах релейной защиты и автоматики.
14. Что называется током срабатывания, током возврата и коэффициентом возврата реле максимального тока?
15. Причины, вызывающие вибрацию контактов электромагнитных реле переменного тока. Какие способы применяют для уменьшения вибрации в реле типа РТ-40 и типа РН-50?
16. Что такое максимальное реле и минимальное реле? Имеются ли конструктивные отличия между ними? Можно ли использовать максимальное реле тока типа РТ-40 в качестве минимального реле тока?
17. Почему у реле тока типа РТ-40 при параллельном соединении секций (катушек) обмотки ток срабатывания увеличивается в 2 раза?
18. Что такое уставка тока? Как регулируется уставка у реле типа РТ-40?

19. Можно ли применять реле типа РТ-40 для контроля цепей постоянного тока? Сохраняется ли при этом уставка реле, отрегулированная для цепи переменного тока?

20. Опишите конструкцию промежуточного реле, принцип действия.

21. Что такое напряжение срабатывания и напряжение возврата реле минимального напряжения?

22. Что такое уставка напряжения? Как регулируется уставка напряжения у реле типа РН-60?

23. Можно ли применять реле типа РН-60 для контроля цепей постоянного тока?

24. Объясните вид характеристики управления электромагнитного реле.

### **Лабораторная работа № 2 «Снятие времятоковой характеристики электротеплового реле»**

Цель работы: Ознакомиться с принципом работы, характеристиками тепловых реле. Снять времятоковые характеристики электротеплового реле.

#### **План проведения занятия:**

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Изучение структуры электрической схемы, ее вида и назначения;
4. Сбор схемы на лабораторном столе;
5. Выполнение заданий согласно лабораторной работе;
6. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
7. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

#### **Используемое оборудование и материалы:**

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении лабораторной работы, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.2	~ 0...240 В / 2 А
A4	Однофазный трансформатор	372	120 ВА / 220/24 В

1	2	3	4
A5	Электротепловое реле	356	Главная цепь: ~ 3×220 В / 10 А. Уставка реле: 0,42...0,58 А.
A6	Сдвоенный реактор	373	~ 220 В / 2×5 А / 0,005 Гн
A11	Автоматический однополюсный выключатель	359	~ 230 В / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра ≈0...1000 В / ≈0...10 А / 0...20 МОм
P2	Измеритель тока и времени	524	0...5 А / 0,01...999 с

### Указания по проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
4. Отключите выключатель А11.
5. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.
6. Вращая регулировочный винт, установите желаемую уставку электротеплового реле А5.
7. Если выступает шток электротеплового реле А5, то нажмите его.
8. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
9. Включите выключатели «СЕТЬ» автотрансформатора А1, блока мультиметров Р1, измерителя тока и времени Р2.
10. Активизируйте используемый мультиметр в блоке Р1.
11. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, установите по мультиметру, включенному в режим вольтметра, напряжение на выходе автотрансформатора А1 равное, например, 200 В.
12. Включите выключатель А11.
13. После срабатывания электротеплового реле А5 считайте показания тока  $I$  и времени  $t$ , высвечивающиеся на индикаторах измерителя тока и времени Р2, и занесите их в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Результаты эксперимента

I, А									
t, с									

14. Отключите выключатель А11.
15. Нажмите выступающий шток электротеплового реле А5.
16. Уменьшите напряжение на выходе автотрансформатора А1, например, на 20 В.
17. Спустя, например, 5 минут повторите операции начиная с включения выключателя А11 и заканчивая уменьшением напряжения на выходе автотрансформатора А1.
18. Операции повторяйте до тех пор, пока после включения выключателя А11 электротепловое реле А5 не перестанет отключаться.
19. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
20. Отключите выключатели «СЕТЬ» автотрансформатора А1, блока мультиметров P1, измерителя тока и времени P2.
21. Используя данные таблицы 2.2, постройте искомую времятоковую характеристику  $t=f(I)$  электротеплового реле.

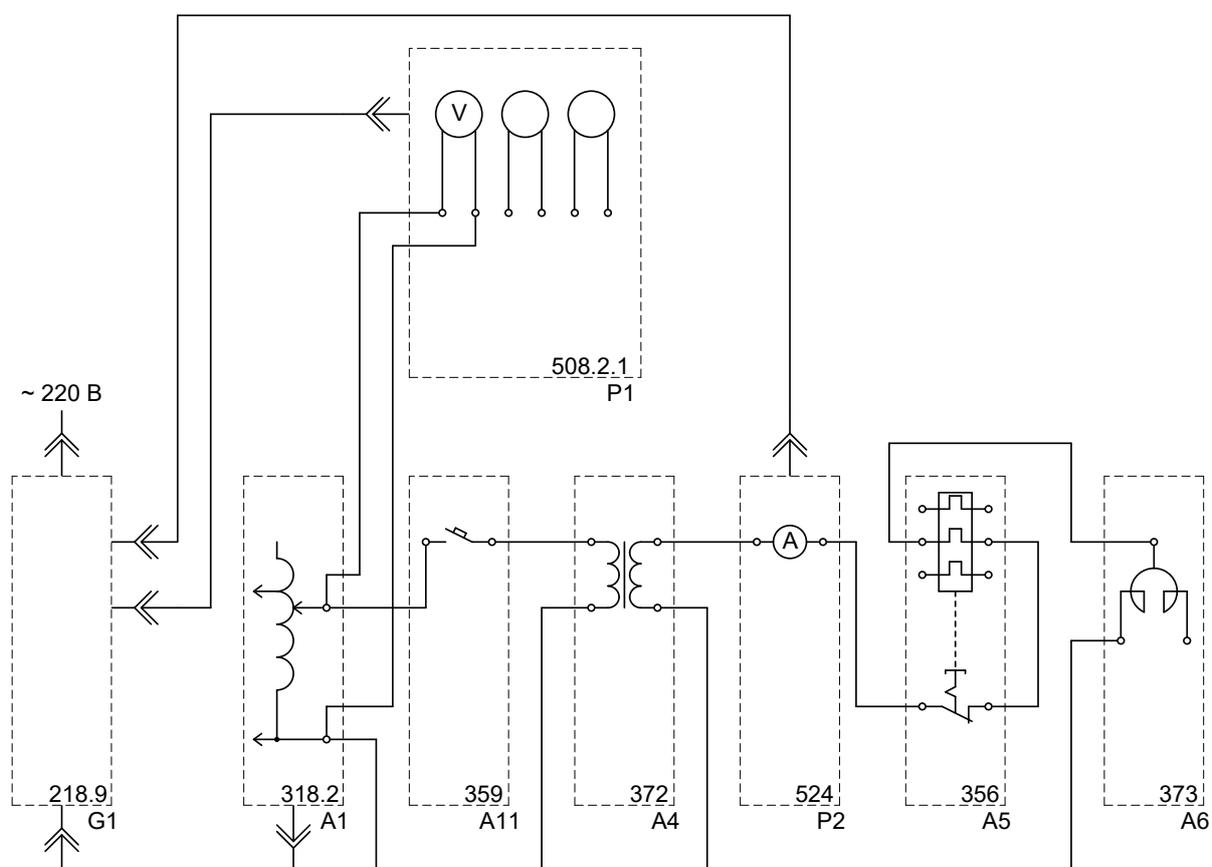


Рисунок 2.1 – Схема электрическая соединений для выполнения лабораторной работы № 2

## **Требования к отчету по лабораторной работе**

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; краткие теоретические сведения; описание лабораторной установки; результаты лабораторной работы; заключение.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое электротепловое реле, где оно применяется?
2. Каковы принципы работы и конструкции тепловых реле?
3. Какие материалы используются для изготовления биметаллической пластины?
4. Назовите способы нагрева биметаллической пластины.
5. Перечислите основные недостатки тепловых реле и способы их устранения.
6. Какие конструктивные решения дают возможность мгновенного выключения реле и размыкания контактов?
7. Каким образом размеры биметаллической пластины влияют на силу нажатия контактов и перемещение?
8. Назовите известные вам марки тепловых реле.
9. Поясните времятоковую характеристику, полученную экспериментально.
10. Что такое позисторная защита?
11. Каковы принципы работы и характеристики позисторов?

### **Лабораторная работа № 3 «Программирование и работа микропроцессорного блока управления и защиты асинхронного двигателя»**

Цель работы: Изучить по имеющейся литературе программирование и работу микропроцессорного блока управления и защиты асинхронного двигателя. Исследовать работу микропроцессорного блока управления и защиты асинхронного двигателя в режимах программирования, пуска, отключения, перегрузки и обрыва фазы.

#### **План проведения занятия:**

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Изучение структуры электрической схемы, ее вида и назначения;
4. Сбор схемы на лабораторном столе;
5. Выполнение заданий согласно лабораторной работе;
6. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
7. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

## Используемое оборудование и материалы

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении лабораторной работы, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218	~ 220 В / 16 А
G2	Трёхфазный источник питания	201.2	~ 400 В / 16 А
M1	Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	106	120 Вт / ~ 380 В / 1500 мин <sup>-1</sup>
A2, A15	Контактор	364	~ 380 В / 10 А
A10	Автоматический трехполюсный выключатель	360	~ 440 В / 10 А
A11	Автоматический однополюсный выключатель	359	~ 230 В / 0,5 А
A17	Блок управления и защиты асинхронного двигателя	368	Номинальные напряжение / ток двигателя: ~ 380 В / 0,1...1А; коммутируемое напряжение / ток: ~ 220 В / 8 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра = 0...1000 В / = 0...10 А / 0...20 МОм

### Указания по проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G2.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рисунок 3.1).
4. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
5. Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
6. Активизируйте используемый мультиметр P1.1.
7. Включите источник G2. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
8. Включите выключатель A10.

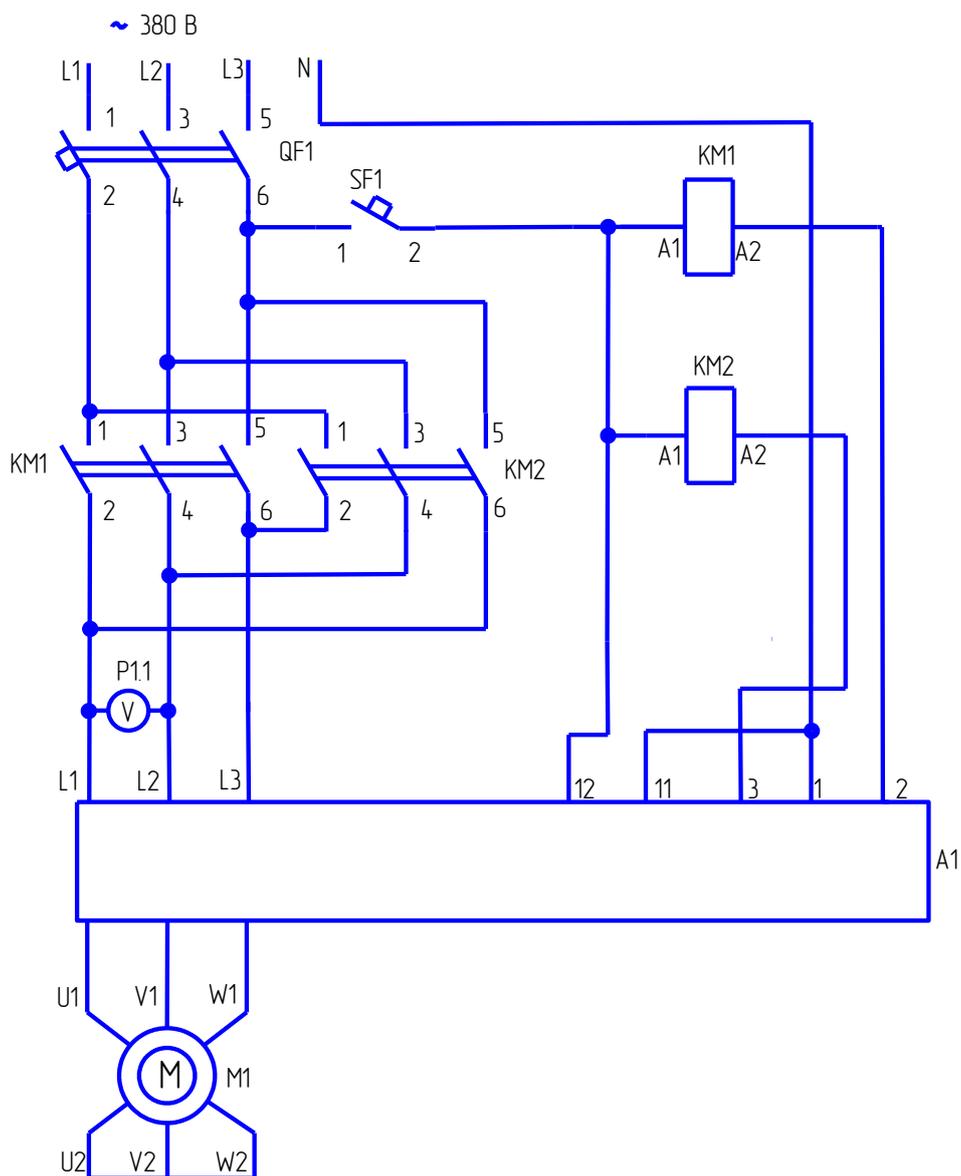


Рисунок 3.1 – Схема электрическая принципиальная: QF1, SF1 – автоматические выключатели; KM1, KM2 – контакторы; A1 – блок управления и защиты асинхронного двигателя; M1 – трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; P1.1 – мультиметр

9. Включите выключатель A11. На мониторе блока A33 высветится надпись «**A.000**», означающая увеличенное в **100** раз текущее (равное нулю) значение тока в фазе «A» двигателя M1, а также загорится светодиод около надписи «**СТОП**».

10. Выполните программирование блока управления и токовой защиты асинхронного двигателя. Для чего:

а) Проверьте заданные (по умолчанию) номинальные фазные токи двигателя. Для этого нажмите и удерживайте более 2 сек кнопку « $\odot$ ». На мониторе должна появиться надпись «**A.042**», означающая, что для фазы «A» двигателя задан номинальный ток  $I_1=0,42$  А. Нажмите и отпустите кнопку « $\oplus$ ». На мониторе должна появиться надпись «**B.042**», означающая, что для

фазы «В» двигателя задан номинальный ток  $I_1=0,42$  А. Еще раз нажмите и отпустите кнопку « $\text{P}$ ». На мониторе должна появиться надпись «**C.042**», означающая, что для фазы «С» двигателя задан номинальный ток  $I_1=0,42$  А.

б) При необходимости изменения номинального тока конкретной фазы, прежде всего, кнопкой « $\text{P}$ » выберите эту фазу. Затем кнопкой « $\text{Q}$ » вызовите мигание нужного разряда на мониторе и кнопкой « $\text{A}$ » установите в этом разряде требуемую цифру (от 0 до 9). Устанавливаемое трехразрядное число (от 1 до 250) должно быть равно увеличенному в 100 раз значению номинального тока фазы. Например, для установки номинального тока  $I_1=1,25$  А следует установить число 125. После установки числа запишите его в память монитора. Для этого нажмите и отпустите кнопку « $\text{P}$ ».

в) Вернитесь в **основное меню**. Для этого нажмите кнопку « $\text{M}$ ». На мониторе должна отобразиться надпись «**A.000**».

11. Введите параметры защиты двигателя.

11.1. Нажмите и удерживайте более 2 сек кнопку « $\text{P}$ ». На мониторе отобразится надпись «**I250**», означающая, что задан ток перегрузки  $I_2=50$  %. При превышении на 30 % тока двигателя его заданного номинального тока  $I_1$  должно происходить аварийное отключение двигателя с появлением на мониторе сообщения «**OL2**». Например, при заданном номинальном токе  $I_1=0,42$  А аварийное отключение двигателя должно происходить при превышении током двигателя уровня  $I_{OL2}=0,42+(0,42\cdot 50)/100=0,63$  А. При необходимости изменения тока  $I_2$  кнопкой « $\text{Q}$ » вызовите мигание нужного разряда на мониторе и кнопкой « $\text{A}$ » установите требуемую цифру (от 0 до 9). Установленное число (от 0 до 99) запишите в память монитора и перейдите к заданию следующего параметра. Для этого нажмите кнопку « $\text{P}$ ».

11.2. На мониторе отобразится надпись «**I370**», означающая, что задан ток недогрузки  $I_3=70$  %. При уменьшении тока, например, в фазе «А» двигателя в результате ее обрыва, до уровня 70 % от заданного номинального тока  $I_1$  должно происходить его аварийное отключение с появлением на мониторе сообщения «**A.OL3**». Например, при заданном номинальном токе  $I_1=0,42$  А и обрыве фазы «А» двигателя его аварийное отключение должно происходить при уменьшении тока двигателя ниже уровня  $I_{OL3}=(0,42\cdot 70)/100=0,29$  А. При необходимости изменения тока  $I_3$  кнопкой « $\text{Q}$ » вызовите мигание нужного разряда на мониторе и кнопкой « $\text{A}$ » установите требуемую цифру (от 0 до 9). Установленное число (от 0 до 99) запишите в память монитора и перейдите к заданию следующего параметра. Для этого нажмите кнопку « $\text{P}$ ».

На мониторе отобразится надпись «**t010**», означающая, что задано время  $t_0=10$  с, необходимое для останова (выбега) двигателя после подачи команды на его реверсирование. При подаче команды на реверс двигателя она должна начать выполняться спустя заданное время  $t_0$ . При необходимости изменения времени  $t_0$  кнопкой « $\text{Q}$ » вызовите мигание нужного разряда на мониторе и

кнопкой «» установите требуемую цифру (от 0 до 9). Установленное число (от 0 до 99) запишите в память монитора и перейдите к заданию следующего параметра. Для этого нажмите кнопку «».

На мониторе отобразится надпись «**t103**», означающая, что задано время  $t_1=3$  с. При превышении тока двигателя его четырехкратного заданного номинального тока  $I_1$  продолжительностью более 3 сек должно происходить аварийное отключение двигателя с появлением на мониторе сообщения «**OL1**». Например, при заданном номинальном токе двигателя  $I_1=0,42$  А и реальном токе двигателя, превышающем значение  $I_{OL1}=4 \cdot 0,42=1,64$  А, через 3 сек должно происходить аварийное отключение двигателя. При необходимости изменения времени  $t_1$  кнопкой «» вызовите мигание нужного разряда на мониторе и кнопкой «» установите требуемую цифру (от 0 до 9). Установленное число (от 0 до 99) запишите в память монитора и перейдите к заданию следующего параметра. Для этого нажмите кнопку «».

На мониторе отобразится надпись «**t205**», означающая, что задано время  $t_2=05$  с. При перегрузке двигателя типа «**OL2**» его аварийное отключение должно происходить спустя время  $t_2=5$  с. При необходимости изменения времени  $t_2$  кнопкой «» вызовите мигание нужного разряда на мониторе и кнопкой «» установите требуемую цифру (от 0 до 9). Установленное число (от 0 до 99) запишите в память монитора и перейдите к заданию следующего параметра. Для этого нажмите кнопку «».

На мониторе отобразится надпись «**t305**», означающая, что задано время  $t_3=5$  с. При недогрузке (обрыве фазы) двигателя типа «**OL3**» его аварийное отключение должно происходить спустя время  $t_3=5$  с. При необходимости изменения времени  $t_3$  кнопкой «» вызовите мигание нужного разряда на мониторе и кнопкой «» установите требуемую цифру (от 0 до 9). Установленное число (от 0 до 99) запишите в память монитора и перейдите к заданию следующего параметра. Для этого нажмите кнопку «».

12. Вернитесь в **основное меню**. Для этого нажмите кнопку «». На мониторе блока должна отобразиться надпись «**A.000**».

– Нажмите и отпустите кнопку «» на мониторе блока А17. Загорится светодиод около надписи «**ВПЕРЕД**».

– Нажмите и отпустите кнопку «» на мониторе блока А17. Произойдет прямой пуск двигателя М1. Вольтметр Р1.1 покажет напряжение на двигателе М1. На мониторе блока А17 высветится увеличенное в **100** раз текущее значение тока двигателя М1 в выбранной фазе. Для наблюдения значения тока в другой фазе нажмите и отпустите кнопку «».

– Нажмите на кнопку «» монитора блока А17.

– Вновь осуществите прямой пуск двигателя М1.

– Нажимая кнопку «» на мониторе блока А33, добейтесь загорания светодиода около надписи «**НАЗАД**».

- Нажмите и отпустите кнопку «P» на мониторе блока A17. Двигатель M1 должен отключиться от сети и через время  $t_0 = 10$  сек должен произойти его прямой пуск в обратном направлении.
- Нажимая кнопку «Q» добейтесь загорания светодиода около надписи «СТОП».
- Осуществите останов двигателя M1 нажатием на кнопку «P» монитора блока A17.
- По завершении эксперимента отключите нажатием на кнопку «красный гриб» трехфазный источник питания G2 и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

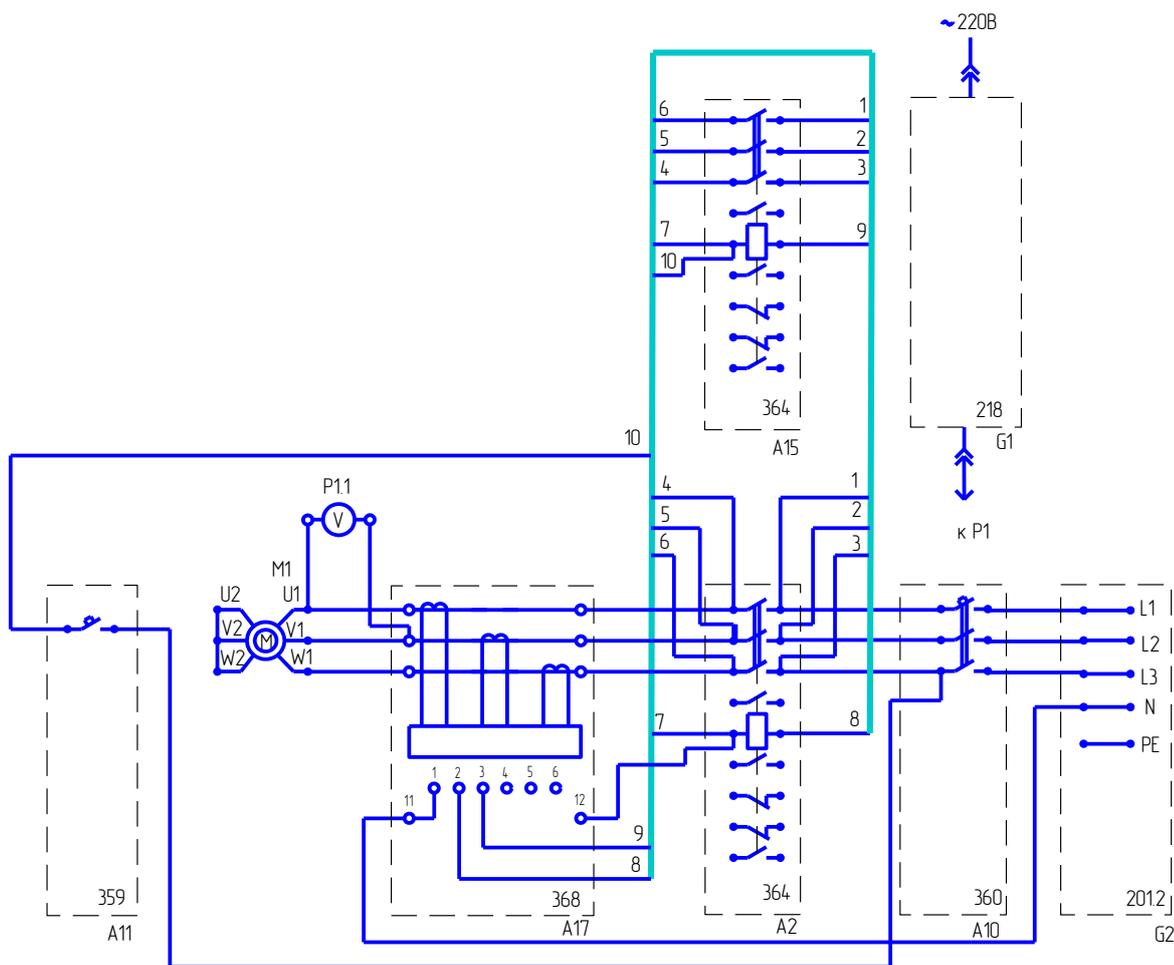


Рисунок 3.2 – Схема электрическая для выполнения лабораторной работы № 3

### Требования к отчету по лабораторной работе

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; краткие теоретические сведения; описание лабораторной установки; результаты лабораторной работы; заключение.

## Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет микропроцессорный блок управления и защиты?
2. Приведите структурную схему микропроцессорного устройства и поясните назначение его составляющих.
3. Каким образом параметры электродвигателя или другого устройства (ток, напряжение, частота и направление вращения, температура и т. п.) преобразуются в цифровой код? Приведите примеры.
4. Какие элементы осуществляют связь между микропроцессором и выходными устройствами? Приведите примеры.
5. Каковы особенности применения микропроцессорной техники в электрических аппаратах. Поясните возможность применения микропроцессорных устройств, для защиты электродвигателя с помощью тепловых реле.
6. Каким образом по величине тока фазы определяется температура нагрева двигателя и информация о ней передается в микропроцессор?
7. Как работают периферийные устройства в случае перегрева двигателя?
8. Каким образом реализуются функции защиты двигателя от несимметрии фазных токов, в частности, при обрыве одной из фаз?
9. Каким образом осуществляется возврат реле в рабочий режим после аварийного отключения?
10. Каким образом вызывается тест-программа, проверяющая работоспособность реле?
11. Каким образом производится настройка реле на заданный допустимый ток двигателя?
12. Поясните результаты экспериментальной работы.

### Лабораторная работа № 4 «Снятие вольтамперной характеристики ограничителя перенапряжений»

Цель работы: Изучить принцип работы, характеристики, область применения ограничителей перенапряжений. Снять вольтамперную характеристику ограничителя перенапряжений.

#### План проведения занятия:

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Изучение структуры электрической схемы, ее вида и назначения;
4. Сбор схемы на лабораторном столе;

5. Выполнение заданий согласно лабораторной работе;
6. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
7. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

### **Используемое оборудование и материалы:**

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении лабораторной работы, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.9	~ 220 В / 16 А
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.2	~ 0...240 В / 2 А
A18	Блок предохранителей и ограничителей перенапряжений	374	3 предохранителя 1А (длина 15, 20, 30 мм) / 3 варистора (Кл. напряжение 180, 220, 220 В; диаметр 7, 7, 14 мм)
P1	Блок мультиметров	508.2.1	3 мультиметра = 0...1000 В / = 0...10 А / 0...20 МОм

### **Указания по проведению лабораторной работы**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" автотрансформатора А1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой (рисунок 4.1).
4. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.
5. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
6. Включите выключатели «СЕТЬ» автотрансформатора А1 и блока мультиметров P1.
7. Активизируйте используемые мультиметры в блоке P1.

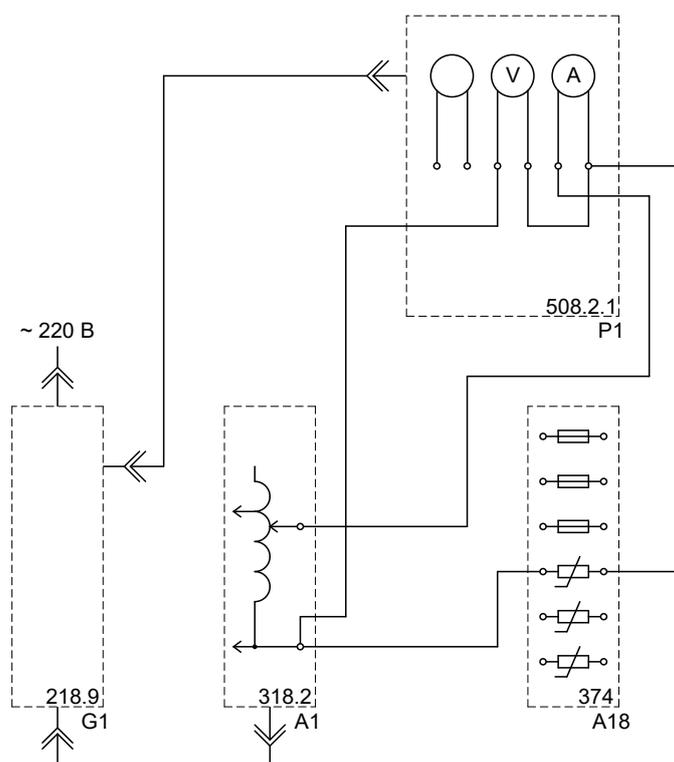


Рисунок 4.1 – Схема электрическая для выполнения лабораторной работы

8. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, увеличивайте напряжение  $U$ , приложенное к ограничителю перенапряжений в блоке А18, и заносите показания мультиметра, включенного в режиме вольтметра (напряжение  $U$  на ограничителе перенапряжений), и мультиметра, включенного в режиме амперметра (ток  $I$  ограничителя перенапряжений), в таблицу 4.2. **Ток  $I$  при этом не должен превышать 1 мА для ограничителей перенапряжений RU1, RU2 и 2 мА для – RU3!**

Таблица 4.2 – Таблица для регистрации данных

<b>U, В</b>										
<b>I, мА</b>										

9. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

10. Отключите выключатели «СЕТЬ» автотрансформатора А1 и блока мультиметров P1.

11. Используя данные таблицы 4.2, постройте искомую вольтамперную характеристику  $U=f(I)$  ограничителя перенапряжений.

### Требования к отчету по лабораторной работе

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; краткие теоретические сведения; описание лабораторной установки; результаты лабораторной работы; заключение.

## **Контрольные вопросы**

1. Каким образом возникают перенапряжения в электрической цепи и в чем их опасность?
2. Какие электрические аппараты используются для устранения перенапряжений в электрических цепях высокого и низкого напряжения?
3. Каков принцип работы вентильного разрядника?
4. Поясните конструкцию и принцип работы магнитно-вентильного разрядника?
5. Какие материалы и их свойства используются для построения ограничителей перенапряжений?
6. Какие недостатки имеют вентильные разрядники?
7. Что такое варисторы и где их применяют? Приведите в качестве примера электрические схемы с варисторами.
8. Какова взаимосвязь между коэффициентом нелинейности сопротивления и коэффициентом ограничения перенапряжений?
9. Почему коэффициент ограничений перенапряжений в вентильных разрядниках выше, чем в нелинейных ограничителях перенапряжений?
10. Каким образом согласуются характеристики разрядника и защищаемого оборудования?
11. Что представляют собой исследуемые ограничители перенапряжений (область применения, принцип работы, конструкции, материал, характеристики)?
12. Поясните вольтамперные характеристики, полученные в результате эксперимента.

### **Лабораторная работа № 5 «Определение индуктивных сопротивлений сдвоенного реактора»**

Цель работы: Изучить принцип работы, характеристики, область применения сдвоенных реакторов. Определить индуктивные сопротивления сдвоенного реактора.

#### **План проведения занятия:**

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Изучение структуры электрической схемы, ее вида и назначения;
4. Сбор схемы на лабораторном столе;
5. Выполнение заданий согласно лабораторной работе;
6. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
7. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

### Используемое оборудование и материалы:

Оборудование и материалы, применяемые при выполнении лабораторной работы, приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень используемого оборудования

Обозначение	Наименование	№ на стенде	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218	~ 220 В / 16 А
A1	Регулируемый автотрансформатор	318.1	~ 0...240 В / 2 А
A4	Однофазный трансформатор	372	120 ВА / 220/24 В
A6	Сдвоенный реактор	373	~ 220 В / 2×5 А / 0,005 Гн
A20	Реостат	323.3	20 Ом / 1,0 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра = 0...1000 В / = 0...10 А / 0...20 МОм

### Указания по проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» автотрансформатора А1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рисунок 5.1 для определения индуктивного сопротивления реактора А6 без учета взаимной индуктивности, или рисунок 5.2 для определения индуктивного сопротивления реактора А6 с учетом взаимной индуктивности, или рисунок 5.3 для определения сквозного индуктивного сопротивления реактора А6).
4. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.
5. Установите сопротивление реостата А20 равным 20 Ом.
6. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и автотрансформатора А1.
8. Активизируйте используемые мультиметры P1.1 и P1.2.

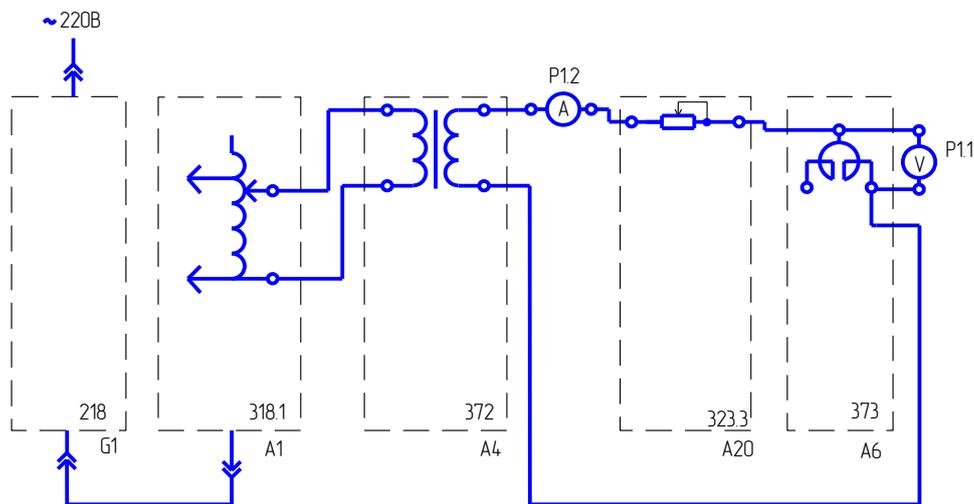


Рисунок 5.1 – Схема электрическая № 1 для выполнения лабораторной работы

9. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 по часовой стрелке, установите и зафиксируйте (с помощью амперметра Р1.2) ток  $I$  реактора, равным, например, 0,5 А (но не более 1 А).

10. Зафиксируйте с помощью вольтметра Р1.1 напряжение  $U$ .

11. Отключите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1.

12. С помощью третьего мультиметра блока Р1 измерьте омическое сопротивление  $R$  реактора А6.

13. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

14. Отключите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров Р1.

15. Вычислите полное сопротивление реактора по формуле  $Z = U / I$ .

16. Вычислите индуктивное сопротивление реактора по формуле  $X = (Z^2 - R^2)^{1/2}$ .

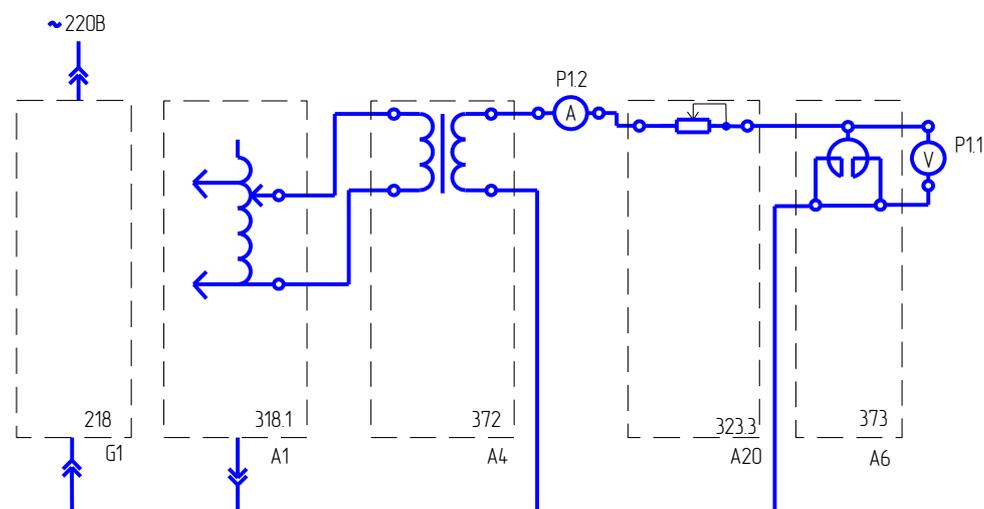


Рисунок 5.2 – Схема электрическая № 2 для выполнения лабораторной работы

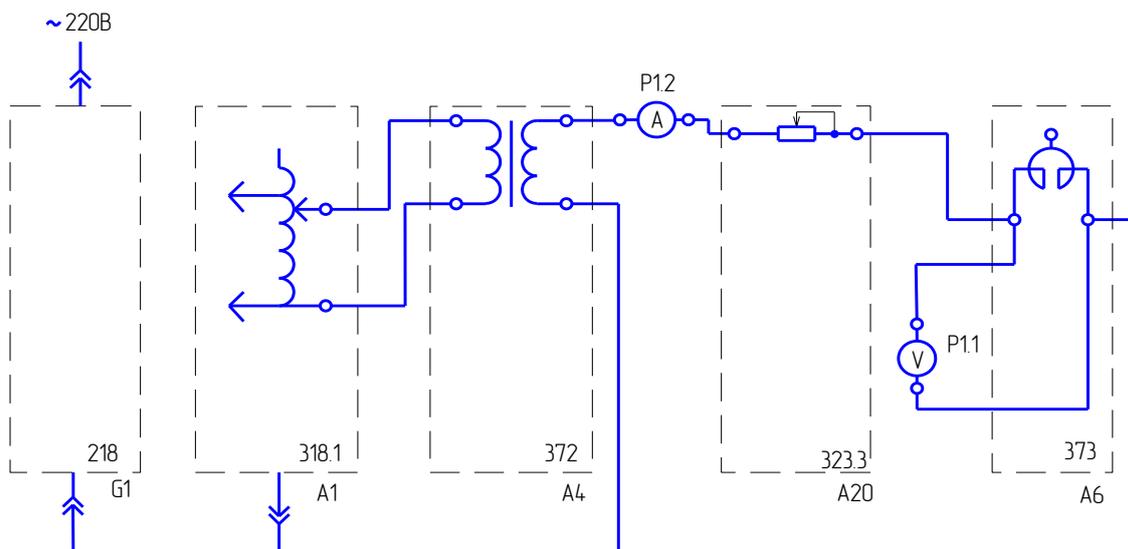


Рисунок 5.3 – Схема электрическая № 3 для выполнения лабораторной работы

### Требования к отчету по лабораторной работе

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; краткие теоретические сведения; описание лабораторной установки; результаты лабораторной работы; заключение.

### Контрольные вопросы

1. Что такое реактор и где он применяется?
2. Изменится ли индуктивность при резком увеличении тока?
3. Каким образом можно увеличить индуктивность, не используя магнитопровод?
4. Влияет ли величина тока на индуктивность в реакторах с магнитопроводом?
5. Чем отличается сдвоенный реактор от одинарного?
6. Изменится ли индуктивность сдвоенного реактора, если будет изменяться разность тока в ветвях?
7. Есть ли достоинства сдвоенного реактора по сравнению с одинарным?

### Рекомендуемая литература

1. Акимов, Г. Е. Основы теории электрических аппаратов: учеб. / Е. Г. Акимов, Г. С. Белкин, А. Г. Годжелло [и др.] – 5-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 592 с.
2. Коломиец, Н. В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций: учеб. пособие / Н. В. Коломиец, Н. Р. Пономарчук, Г. А. Елгина. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 72 с.

3. Балаков Ю. Н., Мисриханов М. Ш., Шунтов А. В. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. А. Шунтов. – 3-е изд., стер. – Москва: Изд. дом МЭИ, 2009. – 288 с.

4. Аполлонский, С. М. Электрические аппараты управления и автоматики: учеб. пособие / С. М. Аполлонский, Ю. В. Куклев, В. Я. Фролов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 256 с.

Локальный электронный методический материал

Максим Сергеевич Харитонов

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Редактор Э. С. Круглова

Уч.-изд. л. 2,2. Печ. л. 2,1

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1