

Министерство образования и науки Российской Федерации
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»**

**В.В. АФОНИН, К.А. НАБАТОВ,
И.Н. АКУЛИНИН, Л.И. РОЖНОВА**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Утверждено Учёным советом университета
в качестве лабораторного практикума
для студентов специальности 140211 «Электроснабжение
промышленных предприятий» при изучении дисциплин
«Электрические аппараты», «Силовые коммутационные аппараты»



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2012

УДК 65:621.313(076.5)
ББК з264я73-5
Э454

Рецензенты:

Доктор технических наук
заведующий отделом альтернативных источников энергии ВИИТиН
А.М. Шувалов

Доктор технических наук
профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
В.Н. Чернышов

Э454 Электрические аппараты : лабораторный практикум /
В.В. Афонин, К.А. Набатов, И.Н. Акулинин, Л.И. Рожнова. –
Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 156 с. – 100 экз.
ISBN 978-5-8265-1084-1.

Даны общие методические указания по выполнению лабораторных работ, последовательность их проведения, описание объектов и средств исследования, контрольные вопросы к каждой работе, список литературы.

Предназначен для студентов специальности 140211 «Электро-снабжение промышленных предприятий» при изучении дисциплин «Электрические аппараты», «Силовые коммутационные аппараты».

УДК 65:621.313(076.5)
ББК з264я73-5

ISBN 978-5-8265-1084-1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия, вырабатываемая на электрических станциях, должна быть распределена и доставлена потребителю, где она преобразуется в другие виды энергии или совершает определённую работу. Выработка, передача, распределение и потребление электроэнергии, автоматизация производственных процессов связаны с использованием богатого арсенала технических средств, среди которых особое место отводится электрическим аппаратам. Потребность в аппаратах на сегодня увеличивается во всё возрастающих темпах. Повышаются требования к их экономичности, надёжности, массогабаритным показателям, удельным трудозатратам при производстве и к эксплуатационным расходам. Поэтому при подготовке специалистов по электроснабжению промышленных предприятий необходимо уделять серьёзное внимание не только изучению теоретических курсов «Электрические аппараты» и «Силовые коммутационные аппараты», но и выполнению лабораторных работ, являющихся передовой формой познавательной деятельности студентов, где требуется их активное участие в постановке и проведению экспериментов под руководством и контролем преподавателя.

В лаборатории по электрическим аппаратам осуществляется один из важнейших моментов учебного процесса – связь теории с практикой, в результате чего студент приобретает необходимые знания, умение и навыки в проведении опытов с самостоятельной оценкой полученных результатов, а также осваивает правила монтажа и эксплуатации экспериментальных установок.

В предлагаемом лабораторном практикуме уделено внимание организации работы в лаборатории и порядку выполнения отдельных лабораторных работ, описано типовое оборудование и изложены требования техники безопасности при эксплуатации электроустановок.

В содержании каждой лабораторной работы сформулирована цель её постановки, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации к проведению опыта и обработке результатов наблюдений, а в заключении предложены контрольные вопросы для самопроверки и список рекомендованной литературы.

Принятая в практикуме система изложения способствует закреплению теоретических знаний студентов, прививает им навыки по самостоятельному исследованию электрических цепей, измерениям электрических и неэлектрических величин, испытаниям электрических аппаратов, а также обеспечивает подготовку к выполнению работ в лаборатории по электрическим аппаратам. Первые четыре работы позволяют изучить физические процессы, происходящие в электрических аппаратах. В остальных работах изучаются принципы действий электрических аппаратов и их технические характеристики и параметры.

Выполнение электрических схем в лабораторных работах должно соответствовать ГОСТ 2.726–68, ГОСТ 2.727–68, ГОСТ 2.732–68, ГОСТ 2.728–74, ГОСТ 2.710–81, ГОСТ 2.755–87, ГОСТ 2.767–89.

Описания лабораторных работ составлены на базе технических характеристик и инструкций по эксплуатации электрических аппаратов. Продолжительность каждой работы рассчитана на два–четыре учебных часа. При составлении методики определения технических параметров учитывались требования ГОСТов и технических условий на конкретный электрический аппарат.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При работе в лаборатории «Электрические аппараты» во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен строго выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. Студенты обязаны не только строго выполнять эти правила, но и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей.

3. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.

4. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил безопасности.

5. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.

6. Приступая к работе в лаборатории, студенческая группа делится на бригады, которые затем распределяются по лабораторным стендам.

7. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется в конце семестра и по особому расписанию после получения допуска.

8. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме, обеспечивая при этом надёжность электрических контактов всех разъёмных соединений.

9. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подано напряжение.

10. При сборке электрической цепи необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.

11. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю.

12. Включение электрической цепи под напряжением (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя.

13. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить её от питающей сети и доложить об этом преподавателю.

14. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключённом напряжении питания.

15. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами оголённых токоведущих частей электрической цепи, находящихся под напряжением.

16. При работе с конденсаторами следует помнить, что на их зажимах, отключённых от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током.

17. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя.

18. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь после проверки преподавателем полученных данных и привести в порядок рабочее место.

19. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и дыхания необходимо быстро освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

2. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с описанием учебных занятий в университете и в течение определённого времени. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

1. Предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ (он доводится на первом, вводном занятии).

2. Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чём состоит основная цель и задача этой работы.

3. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе.

4. До проведения лабораторной работы подготовить на отдельных листах формата А4 вступительную часть (титульный лист, название и цель лабораторной работы, приборы и оборудование); соответствующие схемы, таблицы наблюдений (они должны быть вычерчены с помощью чертёжных инструментов или с помощью компьютера); расчётные формулы; желательна миллиметровка для построения графиков.

5. Неподготовленные к работе студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если экспериментатор отчётливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельства проводимых исследований является тщательная подготовка к лабораторной работе.

3. СБОРКА И ВКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Перед началом лабораторной работы необходимо расставить приборы и аппараты по возможности так, чтобы они соответствовали электрической схеме. Сборку схемы должен вести один студент, другие члены бригады (подгруппы) контролируют его и выполняют мелкие поручения. Начинать сборку цепи нужно от одного из зажимов источника питания, соединяя последовательно один элемент за другим, и закончить цепь на другом зажиме источника. Причём положительный зажим источника постоянного тока следует соединять с положительным зажимом, который указан на приборах магнитоэлектрической и электронной систем. После сборки последовательной цепи нужно подключить и параллельные цепи, если они имеются в электрических схемах (вольтметры, контакты и др.). Целесообразно для последовательных и параллельных цепей использовать провода разного цвета. Это делает электрическую цепь наглядной и позволяет уменьшить число ошибок при её сборке.

После того как схема собрана, необходимо все рукоятки регуляторов напряжения установить на нулевую отметку, а переключатели многопредельных приборов поставить на наибольший предел измерения.

Наличие ошибок в электрической цепи может привести к порче оборудования, приборов или к несчастному случаю. Поэтому каждый раз необходимо показывать собранную схему преподавателю. После

этого к схеме подключают напряжение. Регулятором медленно увеличивают напряжение на входе до нужного значения, наблюдая при этом за показателями приборов. Если стрелка индикатора в цепи источника питания не отклоняется, то это означает, что в цепи обрыв. Если стрелка амперметра даже при малом напряжении отклоняется до конца шкалы, то это указывает на короткое замыкание в цепи. Если стрелки приборов магнитоэлектрической системы отклоняются влево от нулевой отметки, то нужно поменять полярность подключения приборов. Во всех этих случаях нужно выключить источники питания и ещё раз проверить схему или обратиться за помощью к преподавателю.

4. ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторных работ по курсам «Электрические аппараты» и «Силовые коммутационные аппараты» применяется фронтальный метод. Он предусматривает выполнение всеми студентами одной и той же лабораторной работы. Этот метод считается наиболее перспективным, так как обеспечивает наибольший эффект от лабораторных работ.

Выполнять лабораторную работу нужно, соблюдая последовательность, которая указана в описании каждой работы. Перед выполнением каждого пункта работы рекомендуется выполнить все указанные действия, но без записи результатов. Это необходимо для того, чтобы убедиться, что приборы подобраны верно, реле или аппарат срабатывает и замыкает или размыкает свои контакты, сигнальная лампочка загорается и т.п.

Обязанности в подгруппе лучше разделить. Один студент может изменять напряжение или ток, а также наблюдать за одним-двумя приборами; другой – за остальными приборами и записывать результаты в таблицу наблюдений. В последующих работах обязанности могут быть перераспределены. Показания всех приборов следует снимать внимательно и записывать измеряемую величину в соответствующих единицах измерения. Если трудно сразу определить значение измеряемой величины в соответствующих единицах измерения, то сначала можно записать количество делений, а потом пересчитать, учитывая цену деления.

При определении замыкания и размыкания контактов аппарата нужно пользоваться электрическим индикатором, включённым в их цепь. Параметры срабатывания аппаратов следует определять в его рабочем положении не менее трёх раз и записывать среднее арифметическое.

После окончания экспериментов нужно проанализировать полученные результаты, сопоставив их с теорией или техническими параметрами исследуемого аппарата. При слишком большом расхождении результатов эксперимент следует повторить. Полезно построить черновой график. Если разброс точек на графике окажется слишком великим, то нужно повторить замер.

После выполнения лабораторной работы нужно показать результаты преподавателю, а затем разобрать электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

5. ПОДБОР ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Прежде чем приступить к сборке электрической цепи, следует ознакомиться с установкой для проведения лабораторной работы или техническими данными исследуемого аппарата и схемой внутренних его соединений, подобрать измерительные приборы. При выборе измерительных приборов нужно учитывать их тип, предел измерения, род тока, класс точности.

Необходимо иметь в виду, что приборы имеют погрешность измерения, на что указывает класс точности прибора. Погрешность измерения тем меньше, чем ближе значение измеряемой величины к пределу измерения прибора. Поэтому нужно так подбирать предел измерения прибора, чтобы во время измерения стрелка находилась в последней третьей части шкалы. Приборы магнитоэлектрической системы можно использовать для измерения на постоянном токе, а приборы электромагнитной, электродинамической, электронной систем (см. прил. 1) могут работать как на постоянном, так и на переменном токе.

Прежде чем приступить к измерениям, нужно определить цену деления прибора, что можно сделать двумя способами.

Первый способ применяют, если на шкале прибора имеются числа, которые означают значения измеряемой величины. В этом случае цена деления шкалы прибора

$$C = (A_n - A_{n-1})/n,$$

где A_n – оцифрованное значение; A_{n-1} – предыдущее оцифрованное значение; n – число делений между оцифрованными значениями.

Второй способ применяют, если прибор многопредельный. Цена деления

$$C = A_{\text{ном}}/N,$$

где $A_{\text{ном}}$ – предел измерения прибора, указанный на переключателе пределов; N – число делений шкалы.

Для измерения временных параметров реле и аппаратов применяют электронный секундомер, особенности применения которого описаны в лабораторной работе 5.

При использовании любого измерительного прибора необходимо предварительно ознакомиться с заводской инструкцией и схемой его включения. Как при производственных испытаниях, так и в учебных работах, необходимо записать технические данные применяемых приборов (см. лабораторную работу 1). Это позволяет, если возникает необходимость, повторить опыт с теми же приборами и проводить правильность полученных результатов.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Каждый студент должен самостоятельно обработать результаты выполненных им опытов и составить отчёт по проделанной текущей лабораторной работе. Он должен быть составлен настолько ясно, чтобы каждый знакомящийся с ним чётко представлял себе цель поставленной работы, тип экспериментальной установки, методику измерения и расчёт отдельных величин, порядок проведения работы, окончательные результаты испытаний в виде таблиц и графиков, а также познакомился с заключением на основе экспериментальных данных. Отчёт составляют на одной стороне листа формата А4.

В начале отчёта приводится титульный лист, на котором указываются название учебного заведения, кафедры, номер и наименование проделанной лабораторной работы, а также шифр специальности, название дисциплины, номер учебной группы, фамилия и инициалы выполнившего работу студента (см. прил. 2).

Далее в отчёте по каждой лабораторной работе должно приведено следующее: наименование работы; цель работы; перечень электроизмерительных приборов и другого оборудования и их технические данные; электрические схемы; результаты измерений, сведённые в таблице с краткими пояснениями; диаграммы и графики; анализ полученных результатов и выводы по выполненной работе.

Электрические схемы необходимо выполнять с соблюдением условных графических обозначений, которые приведены в прил. 3. Каждый элемент электрической схемы должен иметь позиционное обозначение, характеризующее вид этого элемента, выполняемую им функцию, порядковый номер, а при необходимости и другие сведения. Примеры буквенных кодов для обозначения элементов электрических схем с учётом требований ГОСТа приведены в прил. 4.

Все схемы, таблицы и графики, приводимые в отчёте, должны иметь наименования. Схемы соединений и таблицы следует выпол-

нять карандашом с помощью чертёжных принадлежностей либо на компьютере.

Особое внимание необходимо уделять выполнению графиков исследуемых зависимостей. Они должны быть выполнены на миллиметровой или другой бумаге, имеющей масштабную сетку. При выборе масштаба необходимо исходить из того, чтобы графики получились нормальных размеров (не менее 100×100 мм и не более 200×200 мм). В большинстве случаев масштабы для осей x и y необходимо брать различными, однако следует предпочитать такие, чтобы в масштабной линейной единице (в 1 см, 1 мм или одной клеточке сетки) находилось целое число откладываемых на осях единиц измеряемой величины, т.е. чтобы выбранной масштабной единице соответствовали числа $1 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$ или $5 \cdot 10^n$, где n – любое целое положительное или отрицательное число либо нуль. У каждой координатной оси должны быть указаны условное обозначение откладываемой величины и единица её измерения.

После того как масштаб для координатных осей выбран, необходимо внимательно нанести имеющиеся в таблице экспериментальные или вычисленные точки. Построение необходимо начинать с нулевого или некоторого исходного значения для оси x и продолжать в порядке его возрастания.

Если в одних координатных осях строится несколько графиков, представляющих собой функциональную зависимость ряда величин от одной независимой переменной, то параллельно основной оси ординат, пересечение которой с осью абсцисс принято за начало координатных осей, проводят дополнительные оси ординат, каждую со своим масштабом и своими единицами измерения. За начало координат всех величин в этом случае принимают точку пересечения основных осей. При построении точек по результатам опытов на таком совмещённом графике эти точки, во избежание ошибок, следует отмечать различными условными значками – крестиками, кружочками и т.п. После нанесения точек какого-либо графика их соединяют плавной кривой с помощью лекала. При этом возможен «разброс» точек, т.е. некоторые из этих точек не будут лежать на кривой. Это объясняется возможными погрешностями экспериментов: неточным снятием показания измерительного прибора, случайным колебанием напряжения в сети, приближённостью вычислений и т.п. Если «разброс» точек оказался значительным, то опыт следует повторить. Для построения криволинейного графика необходимо иметь не менее пяти точек.

Следует обратить внимание на то, что когда экспериментальная зависимость не выражает определённого закона изменения исследуемых

величин, экспериментально найденные точки соединяют между собой отрезками прямой. Кроме того, на осях графика должны быть нанесены только основные единицы выбранного масштаба. Нанесение полученных при эксперименте промежуточных значений не допускается.

В отчёте следует приводить только окончательные результаты вычислений с указанием расчётных формул. В выводах по выполненной работе надо указывать характер изменения исследуемых параметров или сравнивать полученные результаты с техническими данными аппарата, которые приведены в описании лабораторной работы.

По каждой лабораторной работе студент должен получить зачёт. Для этого он должен знать теоретический материал по данной теме, принцип действия и особенности конструкции исследуемого аппарата, уметь собрать электрическую схему и объяснить принцип её работы, пояснить, как определяется тот или иной параметр, уметь делать анализ полученных результатов.

Зачёт может проходить в форме личной беседы преподавателя со студентом и может содержать программированный опрос. Согласно положению оценка за выполнение всех лабораторных работ в ведомость не выставляется, но оценка за каждую работу может быть выставлена. Такая система не только стимулирует работу студента, но и даёт преподавателю более полное представление о знаниях студента, его работоспособности, аккуратности и помогает вывести объективную оценку по дисциплине за семестр.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВАНИЯ КАТУШЕК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Цель работы:

1. Определить изменение температуры перегрева катушки в зависимости от времени методом сопротивления.
2. Определить температуру перегрева катушки в разных слоях с помощью термопар.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для исследования нагревания катушки; источник постоянного напряжения, состоящего из ЛАТРа и выпрямителя, до 220 В; омметр; часы; мультиметр в режиме термометра; вольтметр постоянного тока с пределом измерения 250 В; комплект соединительных проводов.

Основные сведения

Катушки электрических аппаратов представляют собой неоднородное тело, состоящее из проводника, изоляции, прослоек воздуха или пропитывающего материала (лак, компаунд). Катушки любого исполнения и типа обладают активным сопротивлением, что является причиной появления потерь электроэнергии при прохождении по катушкам электрического тока. Потери электроэнергии, преобразовываясь в теплоту, приводят к нагреву катушек. Теплота, выделяемая во всём объёме катушки, проходит через материалы с разной теплопроводностью, поэтому температура в разных слоях катушки различна. Внутри катушки температура больше, чем на поверхности.

Наиболее нагретый участок в катушках постоянного тока расположен ближе к той поверхности, теплопередача с которой хуже. В катушках переменного тока с магнитопроводом наибольшая температура может быть на внутренней поверхности катушки, так как магнитопровод тоже нагрет потерями в стали.

Основной теплоотдающей поверхностью является наружная, с которой охлаждение происходит, главным образом, за счёт естественной конвекции. Отдача теплоты с внутренней поверхности осуществляется за счёт теплопроводности и в значительной степени зависит от

конструкции катушек (каркасные, бескаркасные, на гильзе, на сердечнике). Торцовые поверхности катушки обычно закрыты изоляционными крепёжными деталями с низкой теплопроводностью.

Процесс нагревания катушки во времени неравномерный. В начальные моменты времени после включения катушки в сеть количество выделенной теплоты превышает количество теплоты, отдаваемой в окружающую среду, что приводит к увеличению температуры катушки. Чем больше температура катушки, тем интенсивнее она охлаждается. При определённой температуре нагрева наступает равновесие между выделяющейся теплотой и теплотой, отдаваемой в окружающую среду, т.е. наступает установившийся режим нагревания.

Закон изменения превышения температуры катушки во времени описывается уравнением экспоненты

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T}), \quad (1.1)$$

где $\tau_{уст}$ – установившееся превышение температуры, °С; t – время нагревания катушки, с; T – постоянная времени нагрева катушки, с.

Если пренебречь теплоотдачей с внутренней поверхности катушки, то установившееся превышение температуры катушки

$$\tau_{уст} = \theta_{уст} - \theta_{oc} = P / (S_n k_T), \quad (1.2)$$

где $\theta_{уст}$ – температура катушки в установившемся режиме, °С; θ_{oc} – температура окружающей среды, °С; P – мощность, выделяющаяся в катушке, Вт; S_n – наружная поверхность охлаждения катушки, м²; k_T – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

Температура катушки в установившемся режиме не должна превышать допустимую температуру, значение которой зависит от нагревостойкости изоляции катушки. Допустимая температура нагрева нормируется ГОСТ 8865–70 для изоляционных материалов и приведена ниже:

Класс нагревостойкости	Y	A	E	B	F	H	C
Допустимая температура нагрева, °С	90	105	120	130	155	180	Свыше 180

Постоянная времени нагрева характеризует скорость возрастания температуры катушки

$$T = cG / (S k_T), \quad (1.3)$$

где c – удельная теплопроводность материала проводника, Дж/(кг·К); G – масса материала проводника, кг; S – поверхность охлаждения, м².

Чем больше постоянная времени нагрева, тем медленнее нагревается катушка. Графически постоянная времени нагрева определяется как $\tau_{уст}$ абсцисса точки пересечения касательной к кривой нагревания в её начальной точке с прямой, соответствующей установившейся температуре (отрезок AB на рис. 1.1). За это время катушка может нагреться до установившейся температуры, если нет теплопередачи в окружающую среду. В действительности за время, равное постоянной времени нагрева, превышение температуры катушки составляет $0,632\tau_{уст}$. Как правило, температуру катушки можно считать установившейся через время в 3–5 раз большее, чем постоянная времени нагрева.

Температуру катушки можно измерить методом сопротивления и методом термопары. Методом сопротивления превышение температуры катушки определяется по изменению её активного сопротивления в процессе нагревания в соответствии с ГОСТ 2933–83:

$$\tau = [(R_{кн} - R_{кх})/R_{кх}] (K + \theta_{осх}) + \theta_{осх} - \theta_{осн}, \quad (1.4)$$

где $R_{кн}$, $R_{кх}$ – сопротивление нагретой и холодной катушек, Ом; K – величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления (для медной проволоки $K = 235$, для алюминиевой – $K = 245$); $\theta_{осх}$, $\theta_{осн}$ – температуры окружающей среды при измерении сопротивления холодной и нагретой катушек, °С.

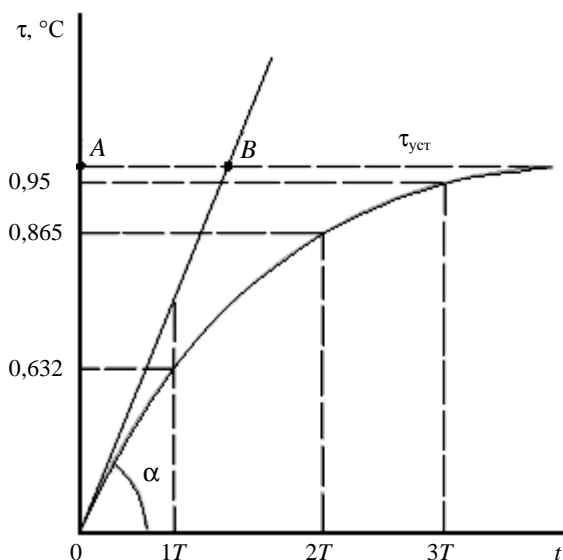


Рис. 1.1. Кривая нагревания

Если температура окружающей среды в процессе выполнения лабораторной работы не изменяется $\theta_{\text{осх}} = \theta_{\text{осн}} = \theta_{\text{ос}}$, то

$$\tau = [(R_{\text{кн}} - R_{\text{кх}})/R_{\text{кх}}] (K + \theta_{\text{ос}}). \quad (1.5)$$

Методом сопротивления определяется средняя температура перегрева катушки. Сопротивление катушки можно измерить мостом постоянного тока или определить с помощью вольтметра и амперметра, а также с помощью омметра. В качестве последнего можно использовать мультиметр.

Методом термопары можно определить температуру катушки в различных слоях. Для этого при изготовлении катушки термопары нужно заложить внутрь её. Термопара представляет собой два разнородных проводника, спаянных у рабочего конца, который нагревается. На другом конце термопары при этом наводится термо-ЭДС, которую можно измерить милливольтметром, проградуированным в градусах – единицах температуры. В качестве такого термометра можно использовать цифровой мультиметр в соответствующем режиме.

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы и обмоточными данными катушки. Заполнить таблицу технических данных применяемых электроизмерительных приборов.
2. Знать принципиальную схему установки и монтажную схему для проведения лабораторной работы.
3. Получить опытные данные для построения кривой нагревания катушки.
4. Построить кривую нагревания катушки и графически определить её постоянную нагрева.
5. Оценить время нагрева катушки до установившейся температуры $\theta_{\text{уст}}$ и значение установившейся температуры нагрева собственно $\theta_{\text{уст}}$.
6. Получить опытные данные распределения температуры во внутренних слоях катушки через заданные интервалы времени.
7. Построить кривые распределения температуры во внутренних слоях катушки.
8. Составить отчёт о проделанной работе.
9. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по темам «Электродинамическая стойкость аппаратов» и «Термическая стойкость аппаратов».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.

3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.

4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.

5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой для проведения лабораторной работы и с обмоточными данными катушки ($U_{\text{ном}}$, В; W_k – число витков; R_k , Ом – сопротивление обмотки постоянному току). Установка содержит одну катушку электрического аппарата, вовнутрь которой заложены четыре термодпары равномерно по ширине окна катушки. Обмоточные данные занести в табл. 1.1.

1.1. Обмоточные данные катушки

$U_{\text{ном}}$, В	W_k	R_k , Ом
1	2	3

2. Собрать схему согласно рис. 1.2. Выяснить назначение каждого элемента, записать технические данные электроизмерительных приборов (табл. 1.2, причём подобную таблицу необходимо заполнять к каждой последующей лабораторной работе).

1.2. Технические данные электроизмерительных приборов

Измеряемая величина	Прибор	Марка, номер прибора	Измерительная система	Род тока	Рабочее положение прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления	Максимальная абсолютная погрешность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

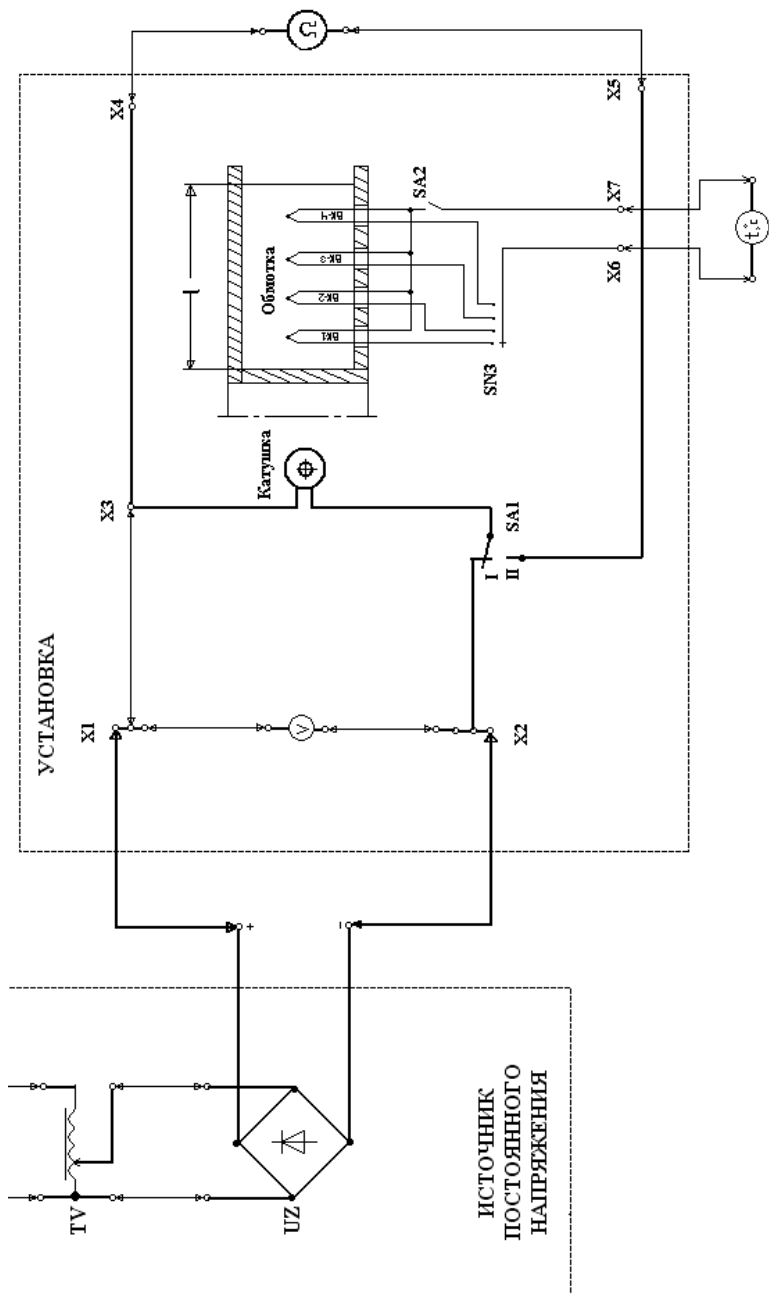


Рис. 1.2. Электрическая схема к лабораторной работе 1

3. Схема (см. рис. 1.2) состоит из двух частей: источника постоянного напряжения и установки. Первый включает в себя ЛАТР(ТВ), подключаемый к сети переменного напряжения (~220В), и выпрямитель (UZ), присоединяемый к выходу ЛАТРа. Такая схема позволяет подавать на установку требуемое входное постоянное напряжение (согласно табл. 1.1.) $U_{вх}$.

Схема установки состоит из входных клемм (X1, X2), к которым подводится напряжение от выпрямителя и подключается контрольный вольтметр (V); катушки, концы обмотки которой выведены к клемме X3 и переключателю режимов SA1; выходных клемм X4, X5 и X6, X7. К клеммам X4, X5 подключается мультиметр в режиме омметра, а к X6, X7 – мультиметр в режиме термометра. Переключатель SA1 обеспечивает два режима установки: I – нагрев катушки; II – измерение сопротивления обмотки катушки постоянному току в процессе нагрева.

Измерение температуры во внутренних слоях катушки осуществляется с помощью двух переключателей: SA2 – коммутирует цепь измерения температуры во внутренних слоях катушки (при отключённом SA2 производят измерение температуры окружающей среды); SN3 – галетный переключатель измерений, позволяющий поочерёдно подключать каждую из четырёх термопар (BK1, BK2, ..., BK4) к термометру.

4. Исследовать процесс нагревания катушки, т.е. изменения её средней температуры перегрева во времени методом сопротивления и распределения температуры нагрева во внутренних слоях катушки методом термопар. Результаты измерений свести в табл. 1.3 и 1.4.

1.3. Результаты измерений и расчётов нагревания катушки методом сопротивления

Время нагрева катушки, мин	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$U_{вх}$, В													
R_k , Ом													
$\theta_{осч}$, °С													
$\theta_{осн}$, °С													
τ , °С													

1.4. Результаты измерений методом термопар

Время нагревания катушки, мин	Температуры, измеряемые термопарами, °С			
	ВК1	ВК2	ВК3	ВК4
1	2	3	4	5
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				

5. Экспериментальная часть лабораторной работы проводится в следующей последовательности (приступить после проверки собранной схемы преподавателем):

5.1. Переключатель SA1 поставить в режим II; SA2 – отключить; SN3 перевести в первое положение, соответствующее термопаре ВК1.

5.2. Подать на установку напряжение $U_{вх}$ (не выше $U_{ном}$, см. табл. 1.1) с помощью ЛАТРа, контроль осуществлять по вольтметру V.

5.3. Измерить: сопротивление катушки R_k до нагрева (момент времени $t = 0$); температуру окружающей среды до нагрева $\theta_{окс}$.

5.4. Перевести переключатель SA1 в режим I (напряжение подано на катушку).

5.5. Через обозначенные в табл. 1.3 интервалы времени произвести измерения: R_k (быстрым переводом SA1 в режим II и обратно); $\theta_{окс}$ (при отключённом SA2); результаты измерений занести в табл. 1.3.

5.6. Через обозначение в табл. 1.4 интервалы времени включать SA2 и с помощью SN3 поочерёдно подключать термопары ВК1, ВК2, ..., ВК4 к термометру. Снимать показания для табл. 1.4 сразу же после снятия показаний для табл. 1.3. Результаты занести в табл. 1.4. После каждого измерения SA2 отключать, SN3 вернуть в первое положение.

По опытному данным табл. 1.3 с помощью формулы (1.4) или (1.5) произвести вычисления превышения температуры перегрева (τ) катушки. Результаты расчётов занести в табл. 1.3.

Построить зависимость температуры перегрева от времени $\tau(t)$; на этой же координатной плоскости построить зависимость $R_k(t)$ (ось ординат – в масштабе сопротивлений), при этом использовать данные табл. 1.3. После построения кривой перегрева графически определить

постоянную времени нагрева катушки (см. «Основные сведения», рис. 1.1) по формуле

$$T = \tau_{\text{уст}} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (1.6)$$

где $\tau_{\text{уст}}$ – установившееся превышение температуры (определяется как асимптота к кривой перегрева); α – угол между осью абсцисс и касательной, проведённой к кривой $\tau(t)$ в её начальной точке ($t = 0$).

По данным табл. 1.4 построить семейство кривых $\theta_k(L)$ для указанных моментов времени распределения температуры θ_k во внутренних слоях катушки, где L – линейный размер, характеризующий ширину окна катушки для обмотки. При этом необходимо учесть, что первая термopара ВК-1 находится практически на каркасе катушки ($l_1 = 0$), далее через равные отрезки располагаются внутренние термopары ВК2 и ВК3 ($l_2 = L/3$; $l_3 = 2(L/3)$) и, наконец, термopара ВК4 находится с внешней стороны обмотки ($l_4 = L$).

Проанализировать полученные результаты и сделать вывод по выполненной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Электрическая схема для проведения лабораторной работы.
5. Заполненные таблицы 1.1 – 1.4.
6. Графическая и расчётная части.
7. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Почему нагреваются катушки электрических аппаратов?
2. Объясните характер изменения температуры при нагревании катушек.
3. Каков физический смысл постоянной времени нагрева?
4. Чему равна температура перегрева катушки через время, в два раза больше, чем постоянная времени нагрева, если $\tau_{\text{уст}} = 60$ °С?
5. Какими способами (методами) можно определить температуру катушки?
6. Как изменяется сопротивление катушки при нагревании?
7. Почему температура катушки неодинакова в разных её слоях?
8. Как изменяется мощность, потребляемая катушкой постоянно-го напряжения, при нагревании?
9. Вывести расчётные формулы к лабораторной работе 1.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ КОНТАКТНОГО НАЖАТИЯ И МАТЕРИАЛА КОНТАКТА

Цель работы:

1. Исследовать влияние силы контактного нажатия на переходное сопротивление электрических контактов.
2. Исследовать влияние материала на переходное сопротивление электрических контактов.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для исследования переходного сопротивления; источник переменного напряжения, включающий ЛАТР и нагрузочный трансформатор 220/12 В мощностью 250 В·А; магазин сопротивлений; амперметр переменного тока с пределом измерения 20 А; вольтметр переменного тока с пределом измерения 20 В; вольтметр переменного тока с пределом измерения 2 В; набор электрических контактов из различных материалов (меди, алюминия, латуни, стали); комплект соединительных проводов.

Основные сведения

В зоне перехода тока из одной токоведущей детали в другую появляется добавочное сопротивление, называемое переходным сопротивлением контакта.

Контактные поверхности, как бы тщательно они не были отшлифованы, представляют собой неровную поверхность с выступами и впадинами. Соприкосновение контактных поверхностей происходит не по всей поверхности, а лишь в отдельных точках (см. рис. 2.1). При этом используется не всё поперечное сечение контакта, а лишь его часть и сопротивление прохождению тока возрастает; происходит стягивание линий тока к точкам соприкосновения и повышение вблизи них плотности тока. Такое стягивание линий тока является одной из причин возникновения переходного контактного сопротивления. Другой причиной является наличие на контактных поверхностях различных плёнок, которые образуются под воздействием кислорода воздуха, азота, озона и других химических реагентов и имеют высокое удельное электрическое сопротивление.

При замыкании контактов по мере увеличения силы нажатия плёнки в местах соприкосновения и на выступах начинают разрушаться, образуя зоны чисто металлического касания. При этом происходит деформация материала выступов, в результате чего увеличивается как количество точек соприкосновения, так и их суммарная площадь.

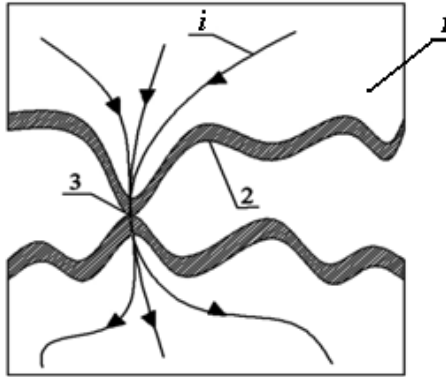


Рис. 2.1. Микроструктура электрического контакта:
 1 – контакт-деталь; 2 – плёнка; 3 – место касания контактов

На основании опытных данных значение переходного сопротивления определяется выражением

$$R = \varepsilon / P^n, \quad (2.1)$$

где ε – величина, зависящая от свойств материала и от состояния поверхности контактов, $\text{Ом} \cdot \text{Н}^n$, для меди $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-3}$, для алюминия $\varepsilon = 1,6 \cdot 10^{-3}$, для латуни $\varepsilon = 6,7 \cdot 10^{-3}$; P – сила, сжимающая контакты, Н; n – коэффициент, зависящий от числа точек соприкосновения. Для точечного контакта $n = 0,5$; для линейного $n = 0,7 \dots 0,8$; для поверхностного $n = 1$.

При увеличении силы контактного нажатия переходное сопротивление его уменьшается, причём эта зависимость имеет гиперболический характер. При одном и том же нажатии переходное сопротивление контакта при каждом замыкании может отличаться в больших пределах. Это объясняется тем, что число и размер площадок контактирования при каждом замыкании могут быть разными. Зависимости переходного сопротивления от контактного нажатия при его увеличении и уменьшении, как правило, не совпадают. Это объясняется наличием остаточных деформаций бугорков, по которым происходит соприкосновение. Переходное сопротивление контактов можно определить методом вольтметра и амперметра.

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.

2. Знать методику выполнения лабораторной работы.
3. Знать электрическую схему для проведения лабораторной работы, особенности её работы.
4. Получить опытные данные для построения переходного сопротивления от силы контактного нажатия (при увеличении и уменьшении силы контактного нажатия) для различных сочетаний контактирующих материалов.
5. Построить зависимости изменения переходного сопротивления от силы контактного нажатия $R_k(P)$ отдельно: на одной координатной плоскости для однородных контактных материалов, на другой – для разнородных с сохранением масштаба по оси ординат.
6. Построить сравнительную диаграмму значения R_k от максимальной силы контактного нажатия для различных сочетаний контактных материалов.
7. Составить отчёт о проделанной работе.
8. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Электрические контакты».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.
4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.
5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой для проведения лабораторной работы, кинематическая схема которой представлена рис. 2.2.

Установка 8 представляет собой сварную стальную конструкцию, на основании 10 которой размещена подставка 3 под неподвижный плоский электрический контакт 2 с изолирующей шайбой 11 и втулкой 12. В верхней части конструкции находится направляющая втулка 13, обеспечивающая заданный вертикальный ход стержня 4. К нижней части стержня крепится винтом 5 полусферический контакт 1 (подвижный контакт). С помощью проводов 6, 7 контакты включаются в электрическую цепь. В верхней части стержня предусмотрены площадка 14 с направляющим стержнем 15 для укладки необходимых

грузов 9, массы которых соответственно равны 0,8; 1,0; 1,4; 2,4; 5,6 кг (массой стержня по сравнению с грузами можно пренебречь). Таким образом, изменением количества грузов на площадке производится увеличение или уменьшение силы контактного нажатия между электрическими контактами 1 и 2.

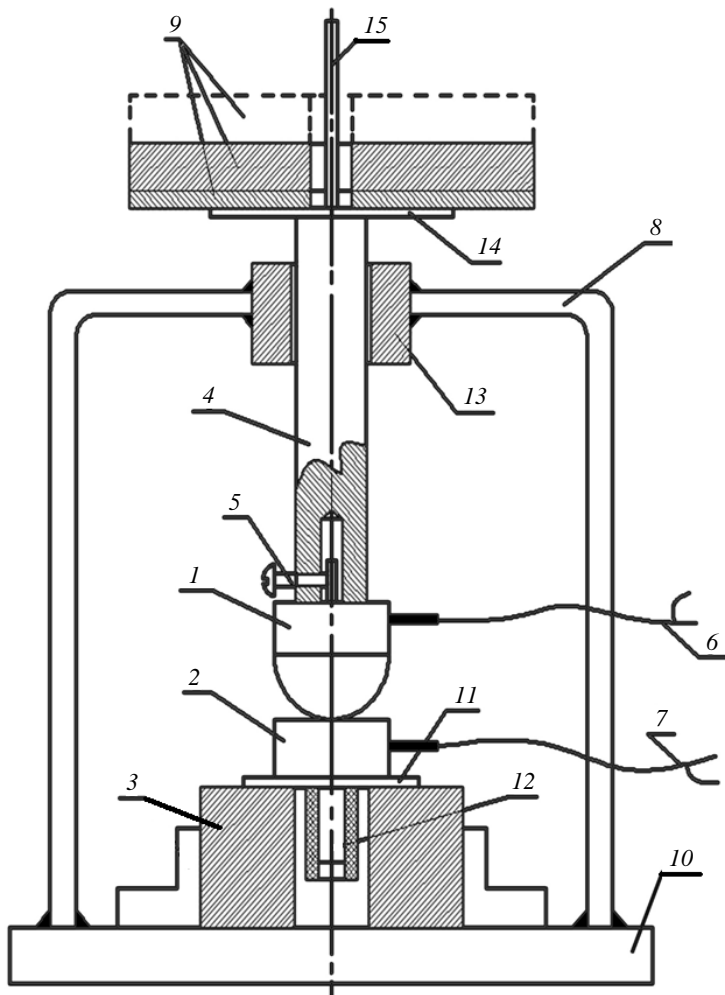


Рис. 2.2. Кинематическая схема установки:

- 1, 2 – подвижный и неподвижный электрические контакты; 3 – подставка;
 4 – стержень; 5 – винт; 6, 7 – провода контактов; 8 – установка; 9 – грузы;
 10 – основание; 11 – шайба; 12 – втулка; 13 – направляющая втулка;
 14 – площадка; 15 – направляющий стержень

Отметим некоторые конструкционные особенности при работе установки. Изоляторы *11* и *12* исключают шунтирование контактов конструкцией установки. Нижний контакт *2* помещается в подставку свободно, без крепления. Следовательно, чтобы произвести замену обоих контактов, необходимо разгрузить установку, слегка приподнять стержень, ослабить отверткой винт и вытянуть контакт, а на его место вставить другой, закрепив его винтом (с помощью отвертки). Нижний же контакт *2* необходимо просто снять с подставки, а на его место поставить другой плоский контакт.

2. Собрать цепь, электрическая схема которой представлена на рис. 2.3. Выяснить назначение каждого элемента.

Данная цепь подключается к источнику переменного напряжения, который состоит из ЛАТРа (ТВ) и нагрузочного трансформатора (ТА). Входная цепь ЛАТРа подключается к сети (~ 220 В), а к выходной – обмотка высшего напряжения трансформатора ТА (~ 220 В). Выходное напряжение с ТА контролируется вольтметром *V1* (тестер стрелочный).

В состав цепи для проведения лабораторной работы входят: амперметр с пределом измерения до 20 А по переменному току (мультиметр), магазин сопротивлений *МС* и электрические контакты *1* и *2*, параллельно которым подключается вольтметр *V2* с пределом измерения 2 В (переменное напряжение, мультиметр). Он измеряет падение напряжения на контактах.

Ток через контакты задаётся с помощью *МС* (грубо, дискретно) и ЛАТРа (плавно) и выставляется равным 10 А. Переходное сопротивление считается чисто активным.

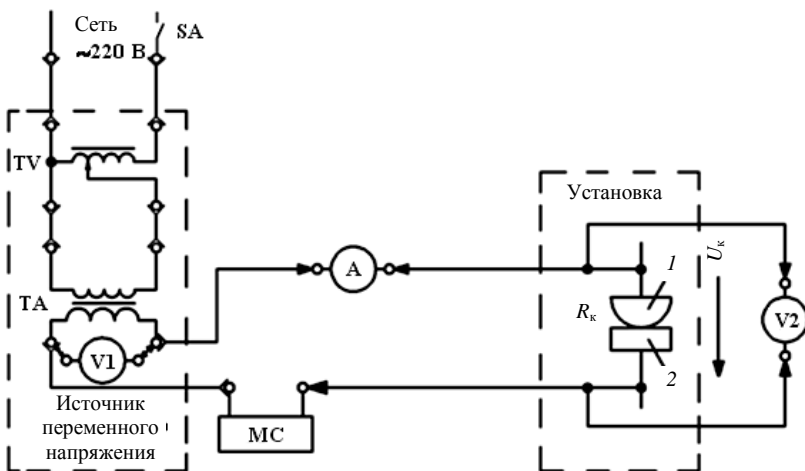


Рис. 2.3. Схема для исследования переходного сопротивления контактов

3. Особенность исследования переходного сопротивления R_k как функции от силы контактного нажатия и материала контактов в лабораторной работе состоит в следующем. Изменяя нагрузку на контакты и варьируя материал, при заданном токе измеряют при помощи вольтметра V_2 падение напряжения на контактах U_k . Далее производят вычисление R_k , Ом, по закону Ома:

$$R_k = U_k / I. \quad (2.2)$$

Опытные данные сводят в табл. 2.1, а результаты расчётов – в табл. 2.2.

4. Методика проведения экспериментальной части такова (производится после проверки схемы преподавателем):

4.1. Перед проведением эксперимента зачищаются контакты мелкой шкуркой, чтобы снять окисную и другие плёнки с поверхности контактирования.

4.2. В установку помещается пара контактов из материалов, обозначенных в табл. 2.1.

4.3. На площадку установки ставится сначала груз массой 0,8 кг (эту операцию производить двумя руками, аккуратно, без ударов).

4.4. С помощью магазина сопротивлений МС предварительно устанавливается дискретно тумблерами согласно нанесённой на нём шкале ток, равный примерно 11...13 А.

4.5. Подключается источник переменного напряжения к сети (~220 В) и ЛАТРоМ (в исходном положении его регулятор находится против часовой стрелки до упора) выставляется рабочий ток в цепи, равный 10 А.

4.6. Снимаются точные показания напряжения $U_k(V_2)$ и тока $I(A)$ для установленного первоначального груза (0,8 кг), спустя примерно 1...2 мин.

4.7. Отключить схему от сети, увеличить силу контактного нажатия добавлением груза массой 1,0 кг (далее пойдут грузы массой 1,4; 2,4; 5,6 кг) и произвести аналогичные измерения.

4.8. После достижения максимального контактного нажатия, соответствующего суммарной массе грузов 11,2 кг, необходимо произвести разгрузку контактов в обратной последовательности с измерением тех же параметров (U_k, I).

4.9. После окончания эксперимента необходимо показать данные преподавателю. Если замечаний нет, то далее разобрать схему и сдать оборудование и приборы.

5. Произвести расчёт переходного сопротивления по формуле (2.2), результаты занести в табл. 2.2.

2.1. Результаты измерений

№ п/п	Сочетания материалов контактов	Вид нагружения	Масса грузов, кг											
			0,8		1,8		3,2		5,6		11,2			
			I, A	U _{кв} , В	I, A	U _{кв} , В	I, A	U _{кв} , В	I, A	U _{кв} , В	I, A	U _{кв} , В		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Медь–медь	↑												
		↓												
2	Алюминий–алюминий	↑												
		↓												
3	Латунь–латунь	↑												
		↓												
4	Сталь–сталь	↑												
		↓												
5	Медь–алюминий	↑												
		↓												
6	Медь–латунь	↑												
		↓												
7	Медь–сталь	↑												
		↓												
8	Алюминий–латунь	↑												
		↓												
9	Алюминий–сталь	↑												
		↓												
10	Латунь–сталь	↑												
		↓												

2.2. Результаты расчётов

№ п/п	Сочетания материалов контактов	Вид нагружения	Сила контактного нажатия Р, Н												
			7,84	17,64	31,36	54,88	109,76								
			$R_{к, Ом}$	$R_{к, Ом}$	$R_{к, Ом}$	$R_{к, Ом}$	$R_{к, Ом}$	8	9	10	11	12	13	$R_{к, Ом}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	Медь-медь	↑													
		↓													
2	Алюминий-алюминий	↑													
		↓													
3	Латунь-латунь	↑													
		↓													
4	Сталь-сталь	↑													
		↓													
5	Медь-алюминий	↑													
		↓													
6	Медь-латунь	↑													
		↓													
7	Медь-сталь	↑													
		↓													
8	Алюминий-латунь	↑													
		↓													
9	Алюминий-сталь	↑													
		↓													
10	Латунь-сталь	↑													
		↓													

6. Построить графики зависимости $R_k(P)$ отдельно для однородных и для разнородных материалов контактов с сохранением масштаба по оси ординат, используя табл. 2.2. Разгрузочную ветвь изобразить пунктирной линией. Сила контактного нажатия определяется известным соотношением $P = m_r g$, где m_r – суммарная масса грузов; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

7. Построить сравнительную диаграмму переходных сопротивлений при максимальной силе контактного нажатия для всех возможных сочетаний материалов контактов (см. табл. 2.2).

8. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по проделанной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Кинематическая схема установки.
5. Электрическая схема для проведения лабораторной работы.
6. Заполненные табл. 2.1 и 2.2.
7. Расчётная и графическая части.
8. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что называют переходным сопротивлением контакта?
2. Влияет ли форма и материал контактов на переходное сопротивление?
3. Как влияет сила контактного нажатия на переходное сопротивление?
4. Зависит ли переходное сопротивление от температуры контакта?
5. Влияет ли состояние контактной поверхности на переходное сопротивление?
6. Как определить мощность, выделяющуюся на переходном сопротивлении контакта?
7. Определите мощность, которая выделяется на переходном сопротивлении контакта значением 50 мОм , если через него проходит ток 100 А .
8. Контакт включён последовательно с сопротивлением нагрузки 500 Ом к источнику постоянного напряжения 100 В . Чему равно напряжение на контакте, если он разомкнут?

СНЯТИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АППАРАТА

Цель работы:

1. Построить суммарную механическую характеристику контактора переменного тока.
2. Построить механическую характеристику главных контактов контактора.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для снятия механической характеристики контактора переменного тока; набор разновесов; динамометр; блок питания на 12 В постоянного напряжения.

Основные сведения

Условием срабатывания любого электромагнитного аппарата является равенство электромагнитной и механической (противодействующей) сил. Электромагнитные силы создаются электромагнитами различной конструкции. Механические силы создаются возвратными и контактными пружинами, трением подвижных частей в опорах и о среду, в которой происходит движение, массой этих частей.

Возвратные (отключающие) пружины предназначены для возвращения подвижных частей аппарата исходное состояние при разрыве цепи катушки электромагнита. Контактные пружины создают требуемые контактные нажатия, что необходимо для нормальной работы контактов.

Массу подвижных частей нужно учитывать в соответствии с рабочим положением аппарата. Противодействующие силы от трения составляют обычно небольшой процент, и ими обычно пренебрегают. Значение механических сил, действующих на якорь электромагнита при его движении, не остаётся постоянным, а изменяется в широких пределах.

Механической характеристикой электрического аппарата называют зависимость противодействующих сил, приведённых к плечу якоря (или противодействующего момента сил), от значения рабочего зазора между якорем и сердечником электромагнита (или угла поворота якоря): $P_{\text{мх}} = f(\delta)$ или $M_{\text{мх}} = f(\varphi)$.

Механическая характеристика 4 электромагнита контактора при включении приведена на рис. 3.1. Она является суммой частных механических характеристик: силы трения и массы подвижных частей 1, замыкающего контакта 2, возвратной пружины 3.

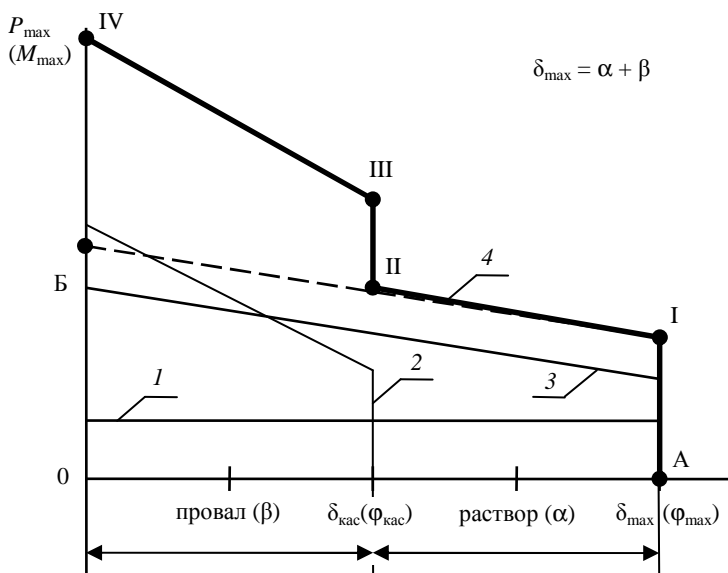


Рис. 3.1. Механическая характеристика контактора

При срабатывании контактора рабочий зазор (угол поворота) между якорем и сердечником изменяется от максимума до нуля. При движении якоря электромагнита механическая сила (момент силы) увеличивается за счёт сжатия возвратной пружины. При значении рабочего воздушного зазора $\delta_{\text{кас}}$ (угла поворота якоря $\varphi_{\text{кас}}$) происходит соприкосновение контактов. При движении якоря от δ_{\max} (φ_{\max}) до $\delta_{\text{кас}}$ ($\varphi_{\text{кас}}$) контакты разомкнуты – происходит выбор зазора (раствора) контактов. В точке соприкосновения контактов противодействующая сила (момент силы) возрастает скачкообразно за счёт силы (момента силы) начального нажатия контактов контактными пружинами. После соприкосновения контактов механическая сила (момент силы) увеличивается за счёт сжатия контактных и возвратных пружин. Движение якоря от $\delta_{\text{кас}}$ ($\varphi_{\text{кас}}$) до нуля соответствует провалу замыкающих контактов (см. рис. 3.1).

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы.
2. Получить данные для построения суммарной механической характеристики контактора.

3. Получить данные для построения механической характеристики главных замыкающих электрических контактов.
4. Составить отчёт о проделанной работе.
5. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Электромагниты».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Изучить методику выполнения лабораторной работы и конструкцию установки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой для проведения лабораторной работы, кинематическая и электрическая схема которой представлена на рис. 3.2.
2. Установка смонтирована на базе прямоходового контактора переменного тока *1* (см. рис. 3.2), который установлен на платформе *2*. Рядом с контактором расположена стойка *3* с переключателем *4*. Она крепится с помощью оси *О* и способна совершать угловые перемещения. На переключателе закреплена чашка *5*, в которую помещаются грузы *6*. Под действием их силы веса переключатель перемещается вниз, передавая движение на траверсу *7* и якорь *8* контактора.

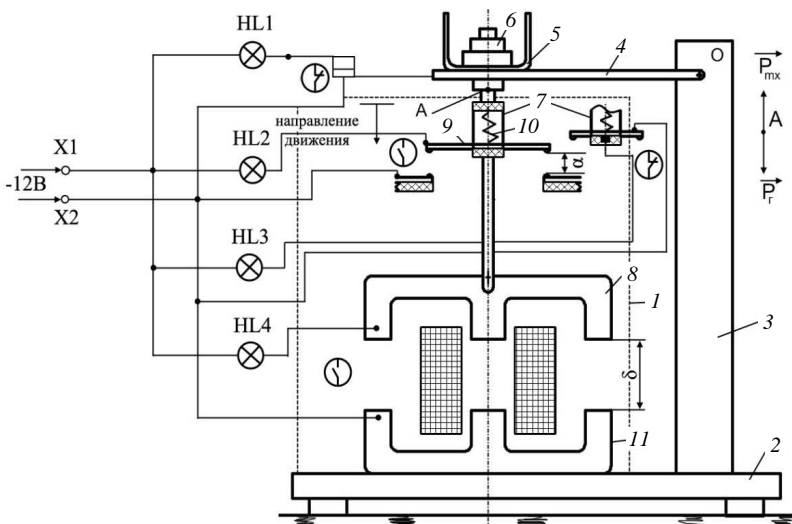


Рис. 3.2. Установка для снятия механической характеристики контактора

В траверсе располагаются мостики 9 (подвижные электрические контакты) и контактные пружины 10. Масса переключателя вместе с чашкой намного меньше массы помещаемых в неё грузов, поэтому силой веса первых можно пренебречь. Таким образом, масса грузов определяет силу $\vec{P}_Г$, действующую на подвижную часть контактора, а из условия равенства силы веса грузов и противодействующей (механической) силы $\vec{P}_{мх}$ определяется механическая сила контактора.

Измерение перемещения якоря и подвижных контактов осуществляется с помощью штангенциркуля.

3. Снять данные для построения суммарной механической характеристики контактора $P_{мх} = f(\delta)$ (см. рис. 3.1). Для этого подключить индикаторные лампы HL1, HL2, HL3, HL4 через блок питания БП (12 В, постоянное напряжение), положить в чашку необходимое количество грузов и определить противодействующую силу, соответствующую различным состояниям главных электрических контактов (см. рис. 3.1):

- точка I – начало движения якоря и подвижных электрических контактов (сжатие возвратных пружин); индикация положения – сигнальная лампа HL1 должна погаснуть;
- точка II – касание мостиком неподвижных электрических контактов 11 (см. рис. 3.2) (сжатие возвратных пружин и выбор раствора контактов); индикация положения – сигнальная лампа HL2 должна загореться;
- точка III – начало движения якоря и траверсы, контакты замкнуты и неподвижны (сжатие возвратных и контактных пружин); индикация положения – сигнальная лампа HL3 должна погаснуть;
- точка IV – касание якорем неподвижной части магнитопровода 11 (конечное сжатие возвратных и контактных пружин, выбор провала контактов); индикация положения – сигнальная лампа HL4 должна загореться.

4. Результаты измерений занести в табл. 3.1.

5. Снять данные для построения механической характеристики главных контактов (см. рис. 3.1, ломаная прямая 2). Для этого нужно определить значения начального и конечного контактных нажатий и перемещение якоря, соответствующего провалу контактов.

6. Для определения начального контактного нажатия необходимо контролировать индикацию ламп HL2, HL3, HL4 и откинуть переключатель по часовой стрелке (см. рис. 3.2). Далее завести на концы мостика на одинаковом расстоянии от середины петлю 4 (рис. 3.3) из проволоки и зацепить её крючком динамометра (на рис. 3.3 он не показан).

3.1. Результаты измерений для построения суммарной механической характеристики контактора

Состояние главных электрических контактов	Разомкнуты полностью ($\delta = \delta_{\max}$)	Начальное касание ($\delta = \delta_{\text{кас}}$)	Начало сжатия контактных пружин ($\delta = \delta_{\text{кас}}$)	Замкнуты полностью ($\delta = 0$)
1	2	3	4	5
Ход якоря, δ , мм				
Масса грузов, m_i , г				
Сила веса грузов, P_i , Н				
Механическая сила, $P_{\text{мх}}$, Н				

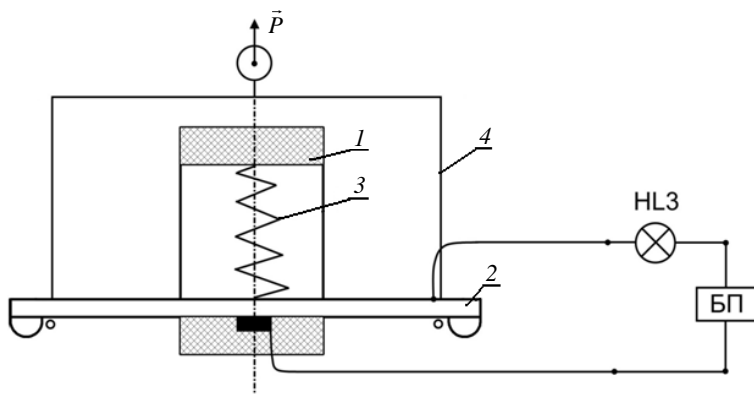


Рис. 3.3. Кинематическая схема для определения начального контактного нажатия на контактный мостик:

1 – траверса; 2 – контактный мостик; 3 – контактная пружина;
4 – петля; БП – блок питания

Оттягивать динамометр до тех пор, пока не погаснет лампа HL3. Показание динамометра в этот момент соответствует начальному нажатию на один контактный мостик ($P_{\text{кн1}}$) контактора. Опыт повторить три раза, результаты занести в табл. 3.2.

3.2. Результаты измерений и вычислений для построения механической характеристики главных контактов

Состояние главных электрических контактов	Перемещения якоря, мм	$P_{кн1}, Н$				$P_{кн}, Н$
		1	2	3	$\bar{P}_{кн1}, Н$	число мостиков $n =$
1	2	3	4	5	6	7
Начальное касание, выбор зазора α						
Конечное касание, выбор провала β						

7. Для определения конечного контактного нажатия надо рукой прижать якорь 8 к сердечнику 11 магнитопровода (см. рис. 3.2); лампы HL2 и HL4 загорятся, а лампа HL3 погаснет. Оттягивать динамометр до тех пор, пока не разомкнутся главные контакты и не погаснет HL2. Показание динамометра в этот момент соответствует конечному нажатию на контактный мостик ($P_{кк1}$). Опыт повторить три раза, результаты занести в табл. 3.2.

8. Вычислить начальное и конечное усилия главных контактов контактора по формулам:

$$P_{кн} = n\bar{P}_{кн1}; \quad (3.1)$$

$$P_{кк} = n\bar{P}_{кк1}, \quad (3.2)$$

где $\bar{P}_{кн1}$ и $\bar{P}_{кк1}$ – средние начальные и конечные контактные нажатия на один контактный мостик; n – количество мостиков (полюсов) контактора. Результаты вычислений занести в табл. 3.2.

9. По данным табл. 3.1 и 3.2 построить суммарную механическую характеристику контактора и механическую характеристику его главных контактов в одном масштабе, но в разных координатных плоскостях.

10. Построить механическую характеристику главных контактов, пользуясь механической характеристикой контактора. Для этого нужно из суммарной механической характеристики I-II-III-IV-O-A графически вычесть I-II-Б-O-A (см. рис. 3.1). Результирующая характеристи-

ка будет соответствовать механической характеристике главных контактов, построенных по данным табл. 3.2. Сравнить полученные результаты.

11. Проанализировать полученные данные и сделать выводы по выполненной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень оборудования.
3. Чертёж установки и электрической схемы.
4. Заполненные табл. 3.1 и 3.2.
5. Графическая и расчётные части.
6. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что называют механической характеристикой электрического аппарата?
2. За счёт чего увеличивается механическая сила в момент касания контактов при срабатывании контактора?
3. Почему механическая характеристика контактора скачкообразная?
4. Укажите на механической характеристике минимальную механическую силу.
5. Под действием каких сил якорь контактора возвращается в исходное положение?
6. Укажите на механической характеристике значение воздушного зазора в магнитопроводе контактора, при котором контакты замкнуты и разомкнуты.

Лабораторная работа 4

СНЯТИЕ ТЯГОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы:

1. Снять и построить семейство нагрузочных характеристик электромагнита.
2. Построить тяговые характеристики электромагнита.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для снятия тяговой характеристики электромагнита

постоянного тока; миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 500 мА; вольтметр постоянного тока с пределом измерения 250 В; ЛАТР; выпрямительный мост; сигнальная схема с индикаторной лампой на 13,5 В; блок питания на 12 В (постоянное напряжение); комплект соединительных проводов.

Основные сведения

Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость между электромагнитной силой притяжения якоря и МДС катушки при неизменном значении воздушного зазора между якорем и сердечником:

$$P_3 = f(F) \quad \text{или} \quad M_3 = f(F) \quad \text{при} \quad \varphi = \text{const},$$

где φ – угол между якорем и сердечником, соответствующий рабочему воздушному зазору.

В зависимости от площади и формы поверхностей полюса и якоря нагрузочные характеристики реле и аппаратов могут иметь самую разнообразную форму.

Тяговая (электрохимическая) характеристика представляет собой зависимость электромагнитной силы притяжения якоря от воздушного зазора при неизменной МДС катушки:

$$P_3 = f(\delta) \quad \text{или} \quad M_3 = f(\varphi) \quad \text{при} \quad F = \text{const}.$$

Силу притяжения электромагнита можно вычислить по формуле Максвелла, если магнитное поле в рабочем зазоре равномерное и полюсы не насыщены:

$$P_3 = \frac{B^2 S}{2\mu_0}, \quad (4.1)$$

где B – индукция в рабочем зазоре, Тл; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м.

Для электромагнитов с большими воздушными зазорами магнитное поле между полюсами неравномерное. Силу притяжения можно вычислить по энергетической формуле

$$P_3 = -0,5 F_8^2 (\partial \Lambda / \partial \delta), \quad (4.2)$$

где F_8 – МДС в рабочем воздушном зазоре, А; Λ – магнитная проводимость рабочего воздушного зазора, Гн; δ – рабочий зазор, м.

Форма тяговой характеристики зависит от конструкции электромагнита. Электромагниты, у которых МДС катушки не изменяется при

изменении рабочего воздушного зазора, имеют довольно крутую тяговую характеристику. К ним относятся электромагниты с катушками тока (постоянного и переменного) и с катушкой постоянного напряжения. Такие электромагниты имеют, как правило, малый рабочий воздушный зазор (ход якоря), чтобы развить большую силу. Для увеличения силы притяжения используют полюсный наконечник, увеличивающий площадь поверхности полюса, по которой замыкается магнитный поток в рабочем воздушном зазоре.

Электромагниты, у которых МДС катушки зависит от рабочего воздушного зазора магнитной системы, имеют пологую тяговую характеристику. К ним относятся электромагнит с катушкой переменного напряжения. На переменном токе электромагнитная сила имеет пульсирующий характер, что приводит в вибрации якоря.

В данной лабораторной работе снимается статическая тяговая характеристика электромагнита постоянного тока клапанного типа.

Пример построения нагрузочных и тяговых характеристик приведён на рис. 4.1.

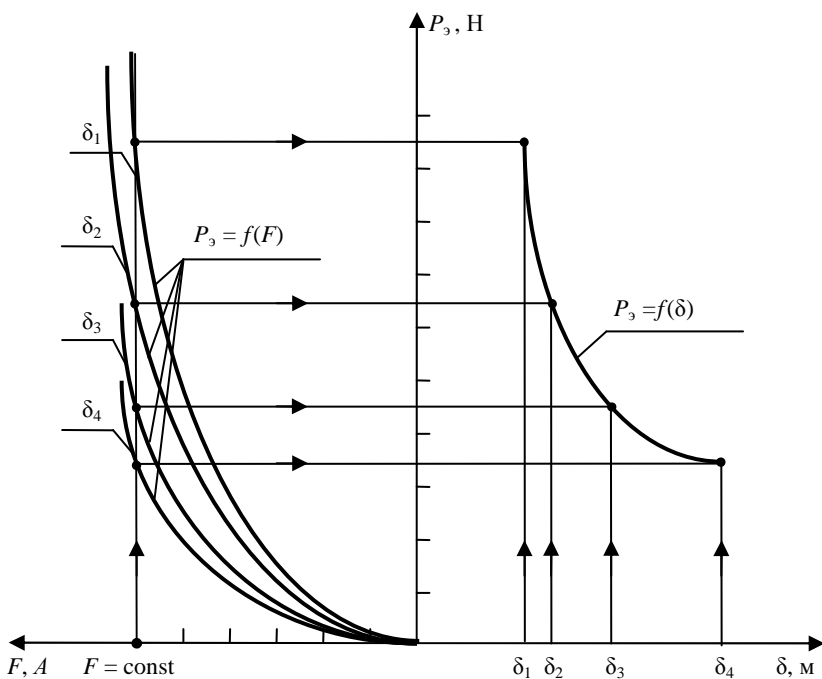


Рис. 4.1. Нагрузочные и тяговые характеристики электромагнита

Семейство нагрузочных характеристик построено слева от вертикальной оси. На семействе нагрузочных характеристик проведена вертикальная линия, соответствующая МДС катушки электромагнита при заданном напряжении. Точки пересечения этой прямой с нагрузочными характеристиками соответствуют электромагнитной силе при разных значениях воздушного зазора между якорем и наконечником сердечника электромагнита. Тяговая характеристика $P_3 = f(\delta)$ при $F = \text{const}$ построена справа от вертикальной оси.

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы и обмоточными данными электромагнита постоянного тока. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.
2. Знать схему включения электромагнита.
3. Получить данные для построения нагрузочных характеристик электромагнита.
4. Построить тяговые характеристики электромагнита при заданных преподавателем напряжениях на катушке.
5. Составить отчёт о проделанной работе.
6. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Электромагниты».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.
4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.
5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы и обмоточными данными электромагнита ($U_{\text{ном}}$, w_k – число витков катушки) постоянного тока, которые необходимо занести в табл. 4.1.

4.1. Обмоточные данные катушки электромагнита

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$w_{\text{к}}$	$R_{\text{к}}, \text{кОм}$	$l_{\text{г}}, \text{мм}$	$l_{\text{я}}, \text{мм}$
1	2	3	4	5

Установка создана на базе контактора постоянного тока и приведена на рис. 4.2.

2. Измерить на установке с помощью линейки длины грузового плеча ($l_{\text{г}}$) – от центра нижнего груза, помещённого вплотную к стенке чашки 4, и плеча якоря ($l_{\text{я}}$) – от центра наконечника 2 до оси вращения 0 (рис. 4.2). С помощью омметра измерить сопротивление обмотки электромагнита. Данные по установке занести в табл. 4.1.

3. Значение воздушного зазора (δ) между якорем 1 и полюсным наконечником сердечника 2 изменяется с помощью регулировочного винта 3 и фиксируется гайкой 6. Для этого между якорем и наконечником (его центром) вставляются мерные пластины, каждая из которых имеет толщину 3 мм.

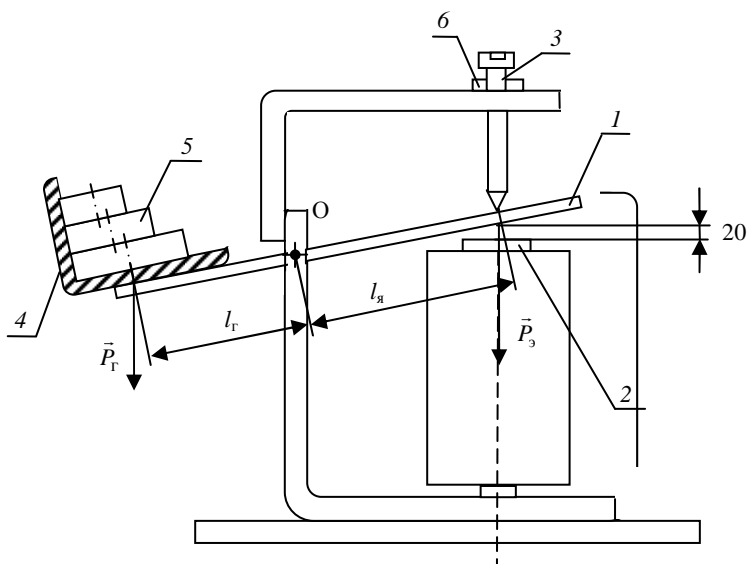


Рис. 4.2. Установка для выполнения лабораторной работы:
1 – якорь; 2 – наконечник сердечника; 3 – регулировочный винт; 4 – чашка;
5 – груз; 6 – фиксирующая гайка

4. Собрать цепь согласно электрической схеме, приведённой на рис. 4.3.

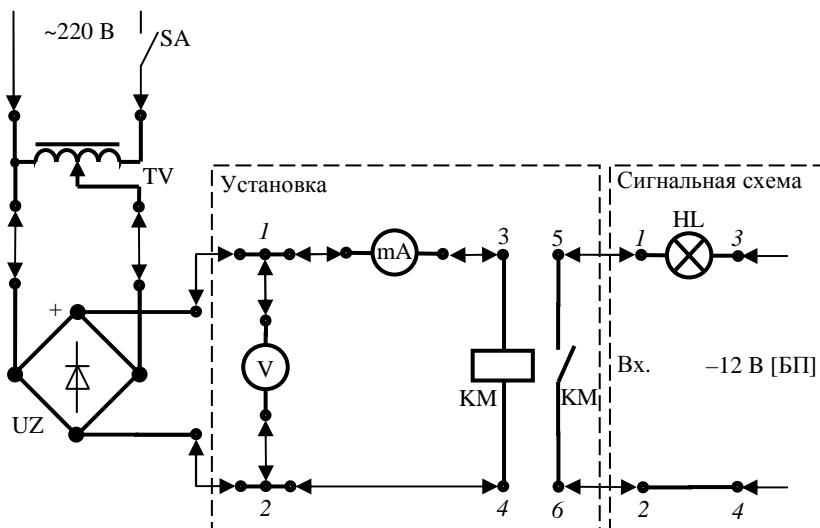


Рис. 4.3. Схема включения электромагнита

Электрическая схема для проведения лабораторной работы состоит из ЛАТРа (TV), выпрямительного моста (UZ), схемы установки с электроизмерительными приборами и сигнальной схемы на постоянное напряжение 12 В, которая фиксирует момент срабатывания электромагнита.

5. Снять данные для построения семейства нагрузочных характеристик $P_3 = f(F)$ при четырёх значениях воздушного зазора: 3, 6, 9 и 12 мм. Для этого установить заданный воздушный зазор между якорем и сердечником винтом 3 (рис. 4.2), используя мерные пластины; положить груз 5 в чашку 4 и, плавно увеличивая напряжение на обмотке электромагнита, определить ток (I_{cp}) и напряжение (U_{cp}), при которых якорь притягивается к сердечнику (параметры срабатывания). В это время момент, создаваемый электромагнитной силой ($P_3 I_я$), равен моменту, создаваемому силой веса груза ($P_Г I_Г$). Затем нужно увеличить груз при том же значении воздушного зазора, и опять определить параметры срабатывания электромагнита. Груз можно увеличивать до тех пор, пока напряжение срабатывания не будет приблизительно равно номинальному (приблизительно – из-за дискретности груза).

6. Каждое наблюдение (опыт) провести три раза, определив для дальнейших расчётов средние значения параметров срабатывания ($\overline{U_{cp}}$, $\overline{I_{cp}}$).

7. Вычислить электромагнитную (тяговую) силу:

$$P_3 = \frac{P_{\Gamma} l_{\Gamma}}{l_{\text{я}}}, \text{ Н}, \quad (4.3)$$

где P_{Γ} – противодействующая сила, Н (1 кГс = 9,81 Н); l_{Γ} , $l_{\text{я}}$ – длины соответствующих плеч, м.

Вычислить МДС катушки:

$$F_{cp} = \overline{I_{cp}} w_k, \text{ А}, \quad (4.4)$$

где $\overline{I_{cp}}$ – среднее значение силы тока в катушке электромагнита в момент срабатывания, А; w_k – число витков катушки.

Вычислить мощность срабатывания электромагнита:

$$\overline{P_{cp}} = \overline{U_{cp}} \overline{I_{cp}}, \text{ Вт}. \quad (4.5)$$

8. Результаты замеров и вычислений записать в табл. 4.2.

По полученным данным построить семейство нагрузочных характеристик $P_3 = f(F)$.

4.2. Данные для построения нагрузочных характеристик электромагнита

δ , мм	m_{Γ} , г	P_{Γ} , Н	U_{cp} , В					I_{cp} , мА				$\overline{F_{cp}}$, А	P_3 , Н	$\overline{P_{cp}}$, Вт
			1	2	3	$\overline{U_{cp}}$	1	2	3	$\overline{I_{cp}}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
3														

Продолжение табл. 4.2

δ , мм	m_r , г	P_r , Н	U_{cp} , В					I_{cp} , мА				$\overline{F_{cp}}$, А	P_o , Н	$\overline{P_{cp}}$, Вт
			1	2	3	$\overline{U_{cp}}$	1	2	3	$\overline{I_{cp}}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14
6														
9														
12														

9. Построить тяговые характеристики электромагнита при напряжениях на катушке: $U_1 = k_1 U_{\text{ном}}$; $U_2 = k_2 U_{\text{ном}}$; $U_3 = k_3 U_{\text{ном}}$, где коэффициенты k_1, k_2, k_3 задаёт преподаватель. Для этого нужно определить МДС катушки при заданном напряжении:

$$F_t = U_t w_k / R_k, \text{ А}, \quad (4.6)$$

где R_k – сопротивление катушки, Ом; $t = 1, 2, 3$.

Далее на семействе нагрузочных характеристик построить вертикальные линии при вычисленных МДС F_1, F_2 и F_3 , и определить графически значения электромагнитных сил при разных значениях воздушных зазоров между якорем и сердечником электромагнита.

Результаты записать в табл. 4.3 и построить тяговые характеристики.

4.3. Данные для построения тяговых характеристик электромагнита

Напряжения на катушке, В	Электромагнитная сила, Н, при значении воздушного зазора, мм			
	3	6	9	12
1	2	3	4	5
$U_1 = k_1 U_{\text{ном}}$				
$U_2 = k_2 U_{\text{ном}}$				
$U_3 = k_3 U_{\text{ном}}$				

10. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по выполненной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Чертежи установки, электрическая схема.
5. Заполненные табл. 4.1 – 4.3.
6. Графическая и расчётная части.
7. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется нагрузочной и тяговой характеристиками?
2. От чего зависит сила притяжения между якорем и сердечником электромагнита?
3. Как влияет рабочий воздушный зазор на электромагнитную силу?
4. Как аналитически можно определить силу притяжения якоря?
5. Каково назначение полюсного наконечника?
6. Как влияет напряжение на катушке на электромагнитную силу?
7. Определить МДС катушки, если $R = 400 \text{ Ом}$; $w_k = 10\,000$ витков; $U = 80 \text{ В}$.
8. Как зависит мощность срабатывания электромагнита от тяговой силы, значения воздушного зазора?

Лабораторная работа 5

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ

Цель работы:

1. Изучить принцип действия и конструкцию магнитного пускателя (МП) серии ПМЕ.
2. Определить регулировочные параметры главных контактов (ГК) МП.
3. Определить электротехнические параметры МП.
4. Измерить время срабатывания и возврата МП.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для изучения МП; ЛАТР; вольтметр переменного тока с пределом измерения 250 В; два миллиамперметра с пределом измерения 500 мА; сигнальная схема с индикаторной лампой на 13,5 В; блок питания (БП) на 12 В (постоянное напряжение); электронный секундомер; промежуточное реле (КЛ); комплект соединительных проводов; штангенциркуль с выдвижной линейкой (шупом); специальная петля; динамометр с пределом измерения 1 кг·с (9,81 Н); набор немагнитных прокладок.

Основные сведения

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного пуска, останова и реверсирования асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Иногда МП используют для включения и отклю-

чения некоторых электроустановок, требующих дистанционного управления (наружное и аварийное освещение, электронагреватели и др.). В магнитные пускатели могут быть встроены тепловые реле, защищающие управляемые электродвигатели от перегрузок недопустимой длительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Особенности условий работы МП состоят в следующем: при включении асинхронного двигателя пусковой ток достигает 5–7-кратного значения от номинального. Даже незначительная вибрация контактов при таком токе быстро выводит их из строя. После разгона двигателя ток уменьшается до номинального значения. При отключении вращающегося двигателя напряжение на ГК МП составляет 15...20% от номинального, т.е. условия работы ГК облегчённые.

Магнитные пускатели серии ПМЕ (они заменяются на МП серии ПМЛ) применяют для управления электродвигателями переменного тока небольшой мощности. Они представляют собой прямоходовые контакторы с мостиковыми контактными узлами. Двукратный разрыв цепи и облегчённые условия гашения дуги переменного тока позволяют обойтись без специальных дугогасительных камер, что существенно уменьшает габаритные размеры МП.

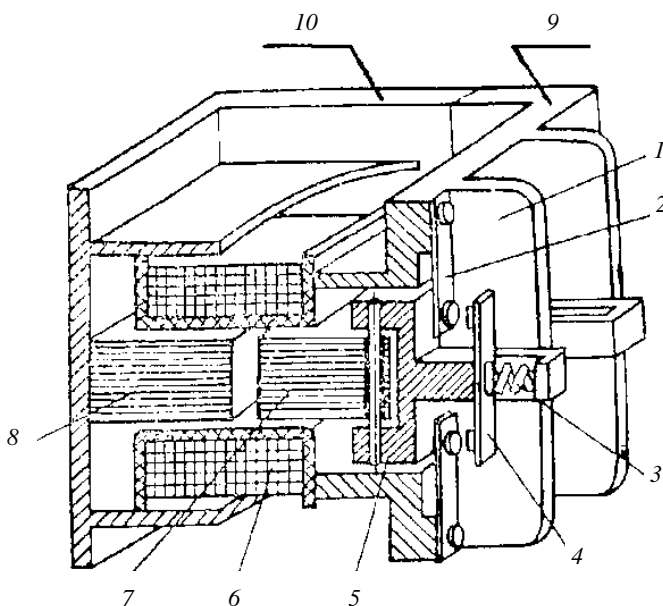


Рис. 5.1. Прямоходовой контактор переменного тока

Электромагнитный привод МП (рис. 5.1) имеет Ш-образный сердечник 8 и якорь 7, собранный из листовой электротехнической стали (шихтованный), чтобы уменьшить потери на вихревые токи и перемагничивание. Магнитная система заключена в пластмассовый корпус. Корпус состоит из двух частей – верхней 9 и нижней 10, скреплённых винтами. На крайних полюсах (кернах) сердечника расположены короткозамкнутые демпферные витки, предотвращающие вибрацию якоря, связанную с пульсацией силы электромагнитного притяжения. На среднем керне сердечника размещена включающая катушка 6, которая выступает за полюса сердечника, что создаёт дополнительную соленоидальную силу притяжения якоря.

Якорь связан с пластмассовой траверсой 5, которая скользит по направляющим верхней части корпуса. На траверсе установлены подвижные ГК 4 мостикового типа и контактные (нажимные) пружины 3, осуществляющие начальное контактное нажатие.

Неподвижные контакты 2 установлены в верхней части пластмассового корпуса МП. Контакты имеют накладки из металлокерамики (серии КМК); ГК могут быть защищены крышкой.

При отключении электромагнитного привода траверса 5 перемещается в исходное положение под действием возвратных пружин.

Прямоходовые МП обычно выпускаются промышленностью в трёхполюсном исполнении. При этом главные замыкающие контакты разделяются пластмассовыми перемычками (перегородками) 1, предотвращающими перекрытия полюсов электрической дугой при размыкании.

Включающая катушка МП подключается к источнику переменного напряжения. В отличие от электромагнитов постоянного тока катушка электромагнита на переменном токе обладает как активным, так и индуктивным сопротивлением. Сила тока в катушке электромагнита равна

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + X_L^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (2\pi fL)^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (2\pi f w^2 \Lambda)^2}}, \quad (5.1)$$

где U – напряжение на катушке, В; r – активное сопротивление катушки, Ом; X_L – индуктивное сопротивление катушки, Ом; f – частота тока, Гц; w – число витков катушки; Λ – магнитная проводимость электромагнита, Гн.

Индуктивное сопротивление катушки МП значительно больше активного, поэтому последним можно пренебречь. Магнитная прово-

димость электромагнита определяется в основном значением воздушного зазора между якорем и сердечником, и упрощенно её можно выразить так:

$$\Lambda = \frac{\mu_0 S}{\delta}, \quad (5.2)$$

где S – площадь полюса, м^2 ; δ – зазор, м.

Следовательно, ток, проходящий по катушке при неизменном напряжении, зависит от значения воздушного зазора электромагнита.

При подаче напряжения на катушку электромагнита через неё проходит пусковой ток, имеющий высокое значение из-за большого начального воздушного зазора электромагнита. При движении якоря этот зазор и ток в катушке уменьшаются. В притянутом состоянии якоря по катушке проходит ток, в несколько раз меньший пускового.

Схема включения нереверсивного МП показана на рис. 5.2. ГК МП включаются в рассечку проводов, питающих двигатель. Последовательно с ними включаются нагревательные элементы тепловых реле $KK1$, $KK2$ (однофазных, например). Катушка контактора KM подключается к сети через размыкающие контакты тепловых реле и кнопки управления $SB2$ («Пуск»), $SB1$ («Стоп»). При включении рубильника Q (или автомата) и нажатии на кнопку $SB2$ подаётся напряжение на катушку контактора, он срабатывает и замыкает главные и вспомогательные контакты, двигатель M начинает вращаться.

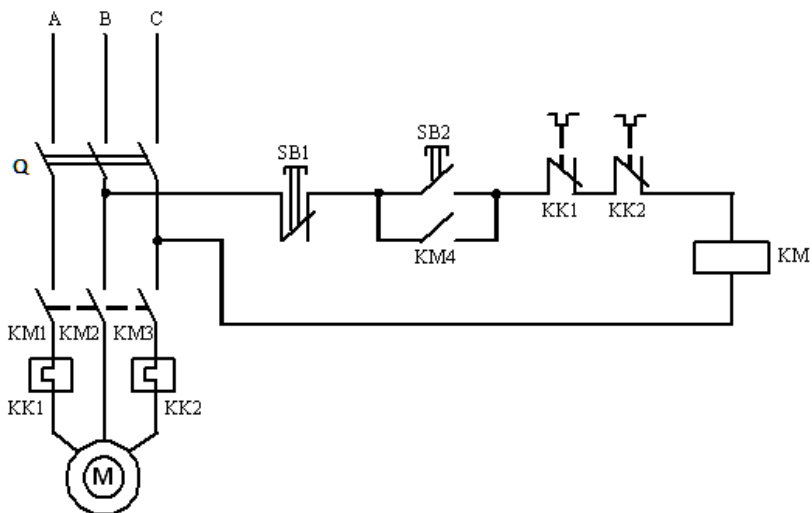


Рис. 5.2. Схема включения нереверсивного МП

После срабатывания контактора кнопку SB2 можно отпустить, так как она зашунтирована вспомогательным замыкающим контактом (KM4) МП. Для отключения двигателя нажимают на кнопку SB1, цепь катушки контактора при этом обесточивается, и контакты его размыкаются. При перегрузке двигателя срабатывает одно или оба тепловых реле и каждое из них размыкает свой контакт КК1, КК2; цепь катушки контактора МП при этом разрывается и контакты его размыкаются.

Тепловые реле не обеспечивают защиту от коротких замыканий, так как имеют относительно большую тепловую инерцию. Поэтому в схеме устанавливаются плавкие предохранители или автоматы с электромагнитными расцепителями для защиты от коротких замыканий.

Магнитный пускатель позволяет осуществить защиту двигателя М от понижения напряжения в сети. Электромагнит включённого МП возвращается в исходное состояние при снижении напряжения на катушке до 60...70% от номинального и двигатель при этом отключается.

Основными регулировочными параметрами, влияющими на работу контактора МП, являются: зазор (раствор), провал контактов, ход якоря, начальное и конечное контактные нажатия.

Зазором (α) контакта называют кратчайшее расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов (определяют при полностью разомкнутых контактах).

Провалом (β) контакта называют расстояние, на которое может сместиться место касания подвижного и неподвижного контактов, если неподвижный контакт будет удалён (определяют при полностью замкнутых контактах).

Ход якоря (δ) – это расстояние между неподвижной частью магнитной системы и якорем в отключённом состоянии МП, т.е. значение рабочего воздушного зазора электромагнита.

Начальное нажатие ($P_{\text{кн}}$) – основной контактный параметр, определяемый как усилие, создаваемое контактной пружиной в точке первоначального касания контактов.

Конечное нажатие ($P_{\text{кк}}$) – контактный параметр, определяемый как усилие, создаваемое электромагнитной силой в номинальном режиме в точке касания контактов (после выбора провала контактов).

Магнитные пускатели имеют различные исполнения: с управлением переменным и постоянным током; реверсивные, нереверсивные; открытого исполнения и в оболочках; с тепловым реле и без них; с кнопками управления и без кнопок.

В заключение отметим технические данные исследуемого в лабораторной работе МП типа ПМЕ-111:

Номинальный ток, А, при напряжениях 380...500 В	10/6
Предельный включаемый и отключаемый ток, А, при напряжении 380 В и $\cos \varphi = 0,4$	100
Провал главных контактов, мм	$2,5 \pm 0,5$
Начальное нажатие на контактный мостик, Н	2,0
Раствор главных контактов, мм	2,5
Материал контактной накладки	КМК-А30
Пусковая мощность, потребляемая обмоткой, В·А	130
Номинальная мощность обмотки, В·А	6
Масса, кг	0,64
Количество контактов замыкающих	2
Количество контактов размыкающих	2
Габаритные размеры, мм	$68 \times 85 \times 84$
Наличие теплового реле	нет
Нереверсивный	
Износостойкость механическая, циклы	$5 \cdot 10^6$
Износостойкость коммутационная, циклы	$0,5 \cdot 10^6$
Частота включения при ПВ = 70%	1200

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы и обмоточными данными контактора МП. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.
2. Знать методику определения регулировочных параметров МП.
3. Получить экспериментальные данные зависимостей параметров катушки МП от значения воздушного зазора и построить соответствующие характеристики.
4. Знать схемы подключения МП.
5. Определить электротехнические параметры МП ПМЕ-111.
6. Составить отчёт о проделанной работе.
7. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Контакторы и магнитные пускатели».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.

4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.

5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией МП серии ПМЕ-111 – выяснить назначение каждого элемента, схемой внутренних соединений и техническими данными, приведёнными в «Основных сведениях».

2. Определить технические данные катушки МП по бирке на ней. Сопротивление обмотки электромагнита МП постоянному току измерить омметром. Данные занести в табл. 5.1.

5.1. Технические данные катушки электромагнита МП ПМЕ-111

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Марка провода	Число витков w_k	Частота тока $f, \text{Гц}$	Сопротивление постоянному току $R_k, \text{Ом}$
1	2	3	4	5

3. Определение регулировочных параметров МП ПМЕ-111:

3.1. Определить зазор (раствор) ГК (α) с помощью штангенциркуля при полностью разомкнутых контактах следующим образом (см. рис. 5.3): поставить торцом штангенциркуль 9 на смежные перегородки 1 верхней части МП 8; траверса 2 находится на одном уровне с перегородками (рис. 5.3, а).

Это исходное положение при измерении. Далее один из участников опыта двумя руками аккуратно опускает траверсу до момента касания контактных накладок 6 ГК (подвижных 5 с неподвижными 7), избегая перекоса траверсы. Зазор измеряют перемещением щупа 10 штангенциркуля до касания с траверсой (рис. 5.3, б). Опыт провести не менее трёх раз. Полученные результаты замеров занести в табл. 5.2.

3.2. Определить начальное контактное нажатие ($P_{\text{кн}}$) на контактный мостик. Для этого между мостиком подвижного контакта и поверхностью траверсы, на которую опирается контактный мостик, положить полоску бумаги (см. рис. 5.4), предварительно вырезанную ножницами в размер окна траверсы (см. рис. 5.3).

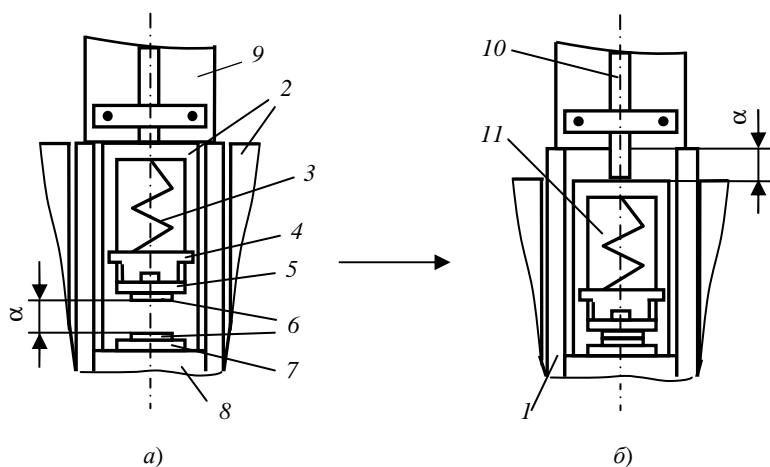


Рис. 5.3. Схема для измерения зазора ГК:

1 – перегородки; 2 – траверса; 3 – контактная пружина; 4 – упор контактной пружины; 5 – мостик (подвижный ГК); 6 – контактные накладки; 7 – неподвижный ГК; 8 – верхняя часть корпуса МП; 9 – штангенциркуль; 10 – выдвигаемая линейка (шуп) штангенциркуля; 11 – окно траверсы

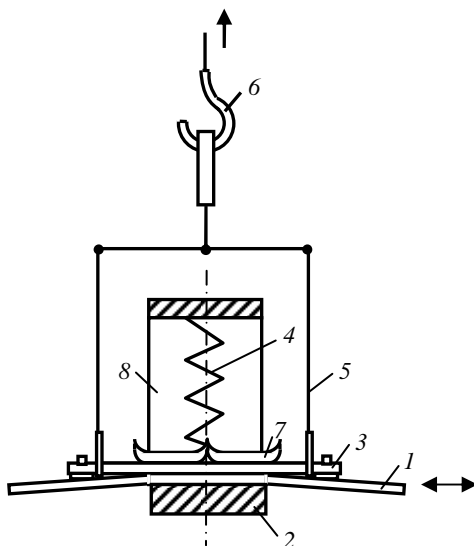


Рис. 5.4. Схема для определения начального контактного нажатия:

1 – полоска бумаги; 2 – траверса; 3 – мостик подвижного контакта; 4 – контактная пружина; 5 – петля из медной проволоки; 6 – крючок динамометра; 7 – упор контактной пружины; 8 – окно траверсы

5.2. Регулировочные параметры МП ПМЕ-111

Измерения								Вычисления				
Номер опыта	α , мм	$P_{кн}$		δ , мм	$P_{кк}$			$\bar{\alpha}$, мм	$\bar{P}_{кн}$, Н	$\bar{\delta}$, мм	$\bar{P}_{кк}$, Н	β , мм
		кГс	Н		кГс	Н						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1												
2												
3												

Наложить на концы мостика 3 на одинаковом расстоянии от середины петлю 5 из проволоки и зацепить её крючком 6 динамометра. Оттягивать динамометр до тех пор, пока бумагу 1 можно будет свободно передвигать. Показание динамометра в этот момент соответствует начальному контактному нажатию на контактный мостик. Опыт провести не менее трёх раз. Результаты измерений занести в табл. 5.2.

3.3. Определить ход якоря контактора МП. Для этого необходимо собрать схему согласно рис. 5.5. Выставив номинальное напряжение катушки по вольтметру с помощью ЛАТРа, нажать кнопку SB2 «Пуск», МП сработает – об этом свидетельствует специфический звук и свечение индикаторной лампы НЛ на сигнальной схеме. Измерить, подобно как в п.п. 2, а, расстояние от верхней границы перегородок до траверсы – это и будет ход якоря (δ). Опыт проделать не менее трёх раз. Результаты измерений занести в табл. 5.2. После измерений нажать на кнопку SB1 «Стоп», МП вернётся в исходное состояние, и снять напряжение с установки с помощью ЛАТРа.

3.4. Рассчитать провал (β) ГК по следующей формуле:

$$\beta = \bar{\delta} - \bar{\alpha}, \text{ мм}, \quad (5.3)$$

где $\bar{\delta}$, $\bar{\alpha}$ – соответственно средние значения хода якоря и зазора ГК.

Результаты вычислений занести в табл. 5.2.

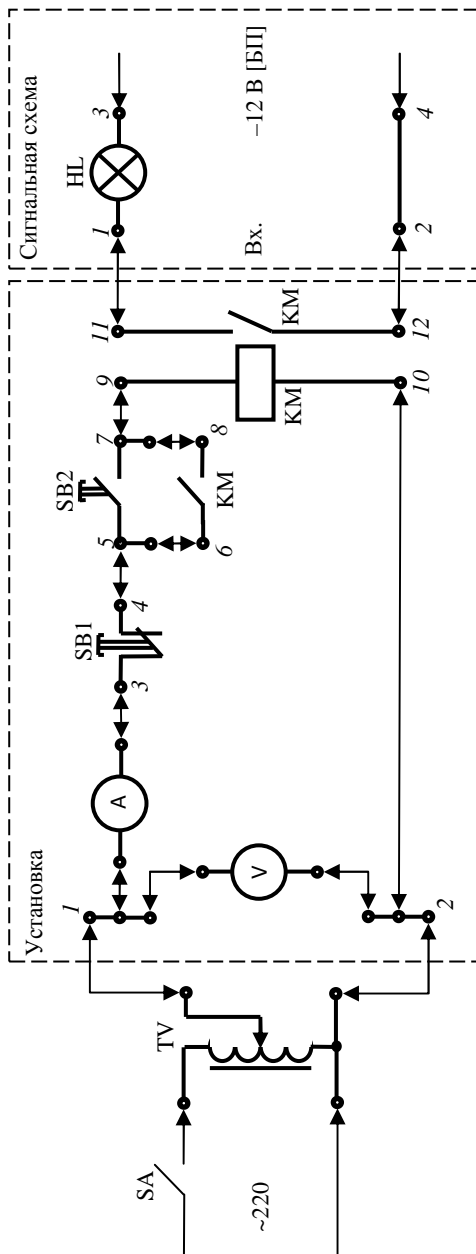


Рис. 5.5. Схема для определения параметров контактора МП

4. Определить изменение тока в катушке МП и других параметров, указанных в табл. 5.3, в зависимости от изменения рабочего воздушного зазора в магнитной системе контактора МП при номинальном напряжении на обмотке. Диапазон изменения воздушного зазора – от нуля до полного хода якоря (см. табл. 5.2).

5.3. Зависимости параметров катушки МП от значения воздушного зазора

Измерения			Вычисления					
Номинальное напряжение катушки, $U_{ном}$, В	Значение воздушного зазора, δ , мм	Ток, I_k , А	\bar{I}_k , А	S_k , В·А	Z_k , Ом	x_k , Ом	L_k , Гн	
1	2	3	4	5	6	7	8	
	0							
	0,3							
	0,6							
	0,9							
	1,2							
	1,5							
	3,0							
	$\delta =$							

Для этого использовать схему включения МП, представленную на рис. 5.5. Особенностью эксперимента является быстрое (единицы секунд) проведение каждого опыта, так как при наличии воздушного зазора появляющийся в обмотке ток намного превышает номинальный.

Чтобы определить указанные параметры при разомкнутом якоре, нужно между ним и сердечником электромагнита в обесточенном состоянии установить немагнитные прокладки специальной формы, указанной на рис. 5.6, *а*. Затем включить МП на номинальное напряжение катушки, при этом возможно принудительное удержание кнопки SB2, если МП не работает при больших зазорах (больше 1,0 мм). Толщина каждой из прокладок составляет 0,3 мм.

Для создания полностью разомкнутой магнитной системы МП, которое соответствует его отключённому состоянию, необходимо использовать специальную клинообразную прокладку (см. рис. 5.6, *б*), помещаемую в рабочий воздушный зазор в натяг. Далее эксперимент проводится аналогично.

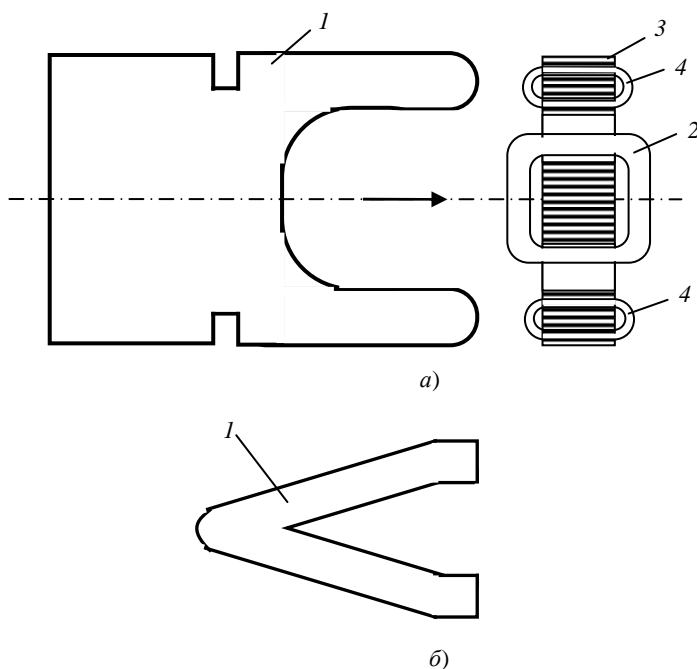


Рис. 5.6. Формы немагнитных прокладок и схема их применения:
 1 – немагнитные прокладки; 2 – катушка; 3 – сердечник электромагнита Ш-образной формы; 4 – демпферные витки

Каждый опыт провести три раза. Результаты измерений занести в табл. 5.3.

5. Вычисление параметров катушки МП для табл. 5.3 произвести по следующим формулам:

а) S_K – полная мощность катушки:

$$S_K = U_{\text{НОМ}} \bar{I}_K, \text{ В}\cdot\text{А}; \quad (5.4)$$

б) Z_K – полное сопротивление катушки:

$$Z_K = U_{\text{НОМ}} / \bar{I}_K, \text{ Ом}; \quad (5.5)$$

в) x_K – индуктивное сопротивление катушки:

$$x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}, \text{ Ом}, \quad (5.6)$$

где $r_K \approx R_K$ – активное сопротивление катушки (см. табл. 5.1);

г) L_K – индуктивность катушки:

$$L_K = x_K / (2\pi f), \text{ Гн}, \quad (5.7)$$

где f – промышленная частота переменного тока.

6. По результатам табл. 5.3 построить следующие характеристики в одной координатной плоскости: $\bar{I}_K(\delta)$, $S_K(\delta)$, $Z_K(\delta)$, $L_K(\delta)$. Сделать выводы.

7. Исследовать электротехнические свойства МП при изменении напряжения на обмотке контактора МП от нуля до номинального и обратно. Для этого необходимо собрать электрическую схему, представленную на рис. 5.7. В ней исключены кнопки управления SB1 и SB2 (см. рис. 5.5), что позволяет подавать изменяющееся ЛАТР-м напряжение непосредственно на катушку МП. Кроме того в управляемую цепь (сигнальная схема) включён миллиамперметр, контролирующий изменение выходного параметра – тока I_c – МП как аппарата релейного действия.

8. Проверить исходное состояние ЛАТРа (TV) – его ручка должна находиться в крайнем левом положении, что соответствует отсутствию напряжения на выходе. Включить стенд и подать на вход ЛАТРа напряжение сети (~220В). Плавно увеличивая значение подаваемого напряжения с помощью ЛАТРа, измерить токи при указанных в табл. 5.4 напряжениях до момента срабатывания контактора МП.

В момент втягивания якоря зафиксировать значения тока и напряжения непосредственно до (U_1 , I_1) и после (U_2 , I_2) срабатывания МП.

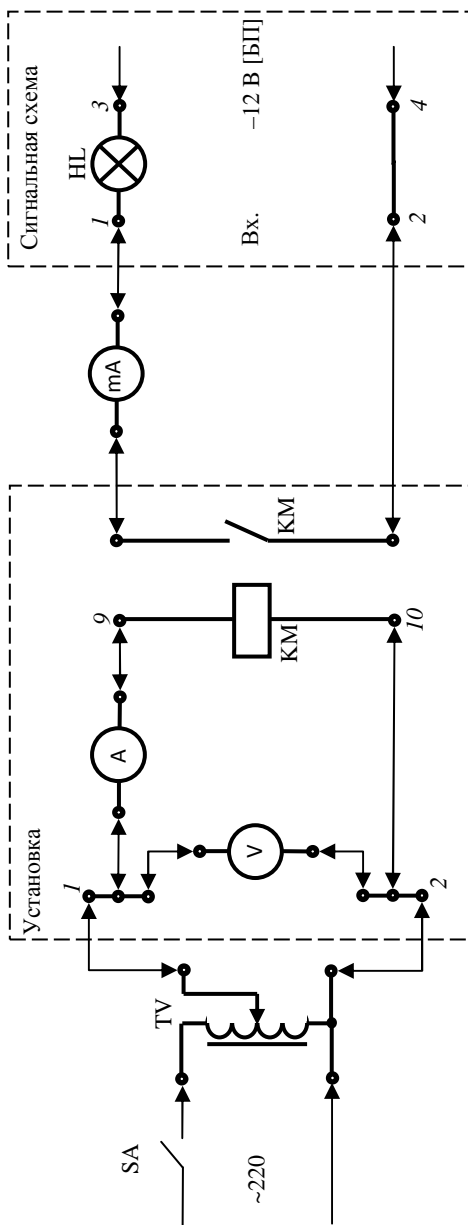


Рис. 5.7. Схема для определения электротехнических свойств МП

5.4. Электротехнические параметры МП ПМЕ-111

Состояние МП	Номер опыта	Измерения			Вычисления					
		U , В	I_K , А	I_c , мА	\bar{U} , В	\bar{I}_K , А	S_K , В·А	Z_K , Ом	x_K , Ом	L_K , Гн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До срабатывания	1	25								
	2	50								
	3	75								
	4	100								
Непосредственно до срабатывания (U_1, I_1)	5									
	6									
	7									
Непосредственно после срабатывания (U_2, I_2)	8									
	9									
	10									
После срабатывания	11	150								
	12	175								
	13	200								
Номинальный режим (U_3, I_3)	14	220								
Непосредственно перед возвратом (U_4, I_4)	15									
	16									
	17									
Непосредственно после возврата (U_5, I_5)	18									
	19									
	20									

Этот момент контролируется сигнальной схемой – загорается индикаторная лампа НЛ и в цепи появляется ток I_c , который также необходимо измерить. Особенностью этих опытов является резкое возрастание тока до срабатывания (I_1) и его быстрое уменьшение после срабатывания (I_2) МП, напряжение при этом уменьшается незначительно. Забегая вперёд, необходимо отметить, что аналогичная ситуация наблюдается и в опытах непосредственно до возврата (I_4) и после (I_5) МП в исходное состояние при уменьшении напряжения (см. п. 9). В табл. 5.4 надо заносить наибольшие значения токов I_1 и I_5 . В момент срабатывания (до и после) опыты повторить 3 раза. Результаты наблюдений занести в табл. 5.4.

9. Довести напряжение на обмотке электромагнита до номинального, при этом измерить токи для промежуточных значений напряжений, указанных в табл. 5.4.

10. Произвести уменьшение напряжения на катушке МП до момента отпускания якоря – возврата МП в исходное состояние. Зафиксировать значения напряжения и тока на катушке непосредственно до (U_4 , I_4) и после (U_5 , I_5) отпускания, при этом индикаторная лампа должна погаснуть; измерить ток в сигнальной схеме (I_c) после возврата МП в исходное состояние. Данные наблюдений занести в табл. 5.4, повторив опыт по 3 раза (до и после). ЛАТР вывести в исходное положение.

11. Во избежание перегрева катушки не допускать длительной работы МП с невтянутым якорем, а также необходимо делать паузу между опытами (приблизительно, 1...3 мин).

12. Для измерения времени срабатывания ($t_{ср}$) и времени возврата ($t_{в}$) МП необходимо собрать электрические цепи согласно схемам, представленных на рис 5.8 и 5.9. Измерения провести при двух рабочих напряжениях на катушке МП – номинальном и $0,59 U_{ном}$ (последнее соответствует напряжению срабатывания).

13. Схемы электронного секундомера (сокращённо – ЭС) и промежуточного реле КЛ смонтированы на одном общем блоке. За основу первой схемы взят спортивный ЭС, позволяющий измерять отрезки времени до сотых долей секунды. От ЭС выведены три провода через тумблеры SA1, SA2, SA3 на клеммы X1, X2 (сдвоенная) и X3. К клеммам X2, X3 подключается запуская цепь от исследуемого объекта (в лабораторной работе 5 – это МП), а к клеммам X1, X2 – останавливающая цепь. Тумблер SA4 обеспечивает подключение питания ЭС. Сброс показаний после измерений проводится в следующей последовательности: отключить тумблеры SA1, SA2, SA3; нажать один раз на кнопку SB6 и два раза – на кнопку SB5.

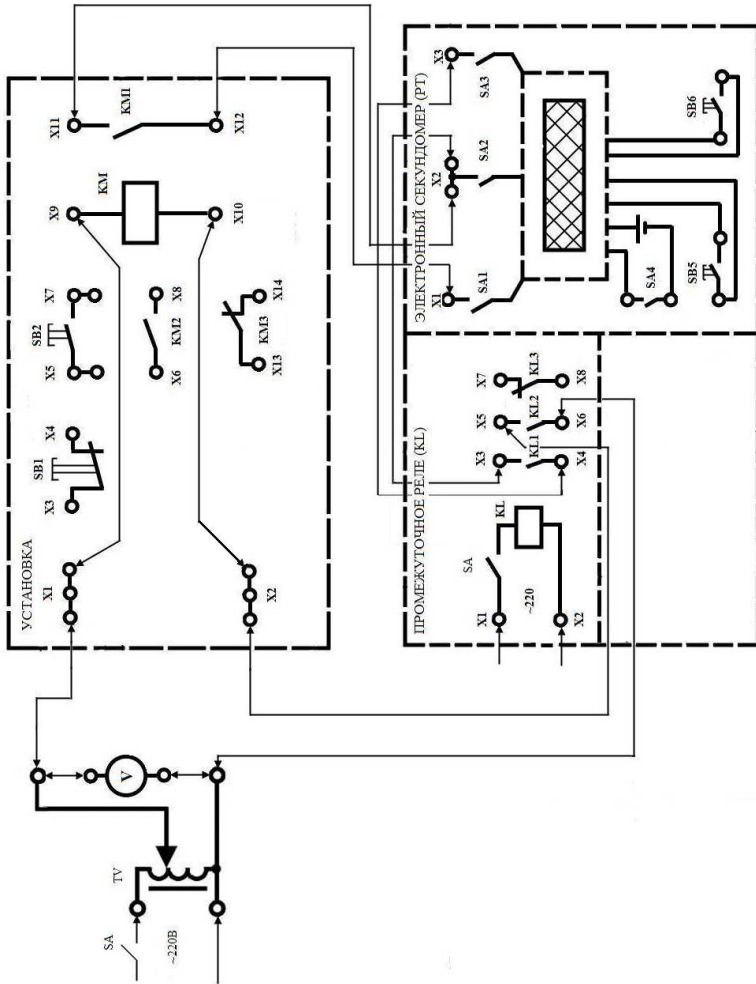


Рис. 5.8. Схема для измерения времени срабатывания МЭ

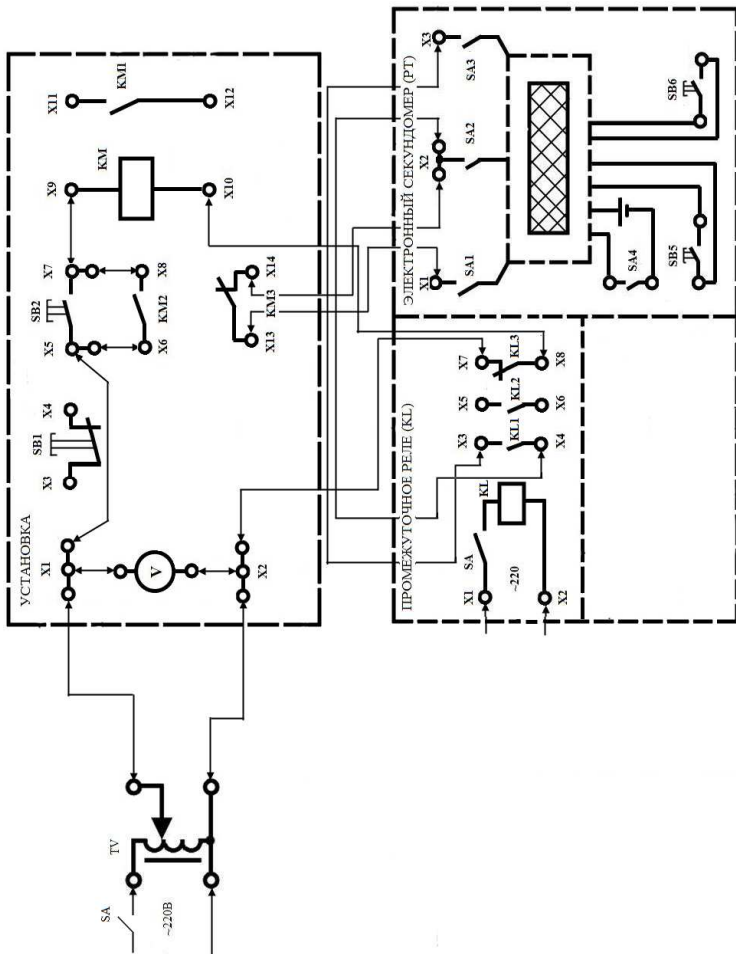


Рис. 5.9. Схема для измерения времени возврата МП

Катушка промежуточного реле KL через клеммы X1, X2 подключается к переменному сетевому напряжению 220 В. Реле имеет два замыкающихся контакта KL1, KL2 (клеммы X3-X4; X5-X6) и один размыкающийся контакт KL3 (клеммы X7-X8). Включается реле KL тумблером SA, причём он коммутирует одновременно две цепи: собственно реле KL и для лабораторной работы запускает ЭС через клеммы X3-X4 в блоке реле KL.

14. Измерить время срабатывания, t_{cp} , МП (см. рис 5.8). Для этого выставить необходимое напряжение для катушки МП (см. п. 11), оно контролируется вольтметром, подключённым к выходу ЛАТРа. Далее на блоке ЭС включить тумблеры SA1, SA2, SA3 – схема готова к проведению измерений. Включить тумблер SA на блоке KL, запускается ЭС и одновременно срабатывает МП через контакты KL1, а замкнувшиеся контакты МП KM1 останавливают ЭС. Отрезок времени, высвеченный на индикаторе ЭС, и будет временем срабатывания МП. Далее необходимо провести обнуление показаний ЭС. Опыт провести не менее трёх раз, результаты показаний занести в табл. 5.5.

15. Измерить время возврата, $t_{в}$, МП (см. рис. 5.9) Для этого выставить необходимое напряжение для катушки МП (см. п. 11), оно контролируется вольтметром. Включить МП кнопкой SB2, ЭС тумблерами SA1, SA2, SA3 – схема готова к проведению измерений. Включить тумблер SA на блоке реле KL – запустится ЭС и одновременно разрывается цепь питания катушки МП, он отключается, а его контакты KM3 останавливают ЭС, фиксируя время возврата ($t_{в}$) МП в исходное состояние. Провести обнуление показаний; опыт провести не менее трёх раз. Результаты измерений занести в табл. 5.5.

5.5. Опытные данные по измерению времени срабатывания и возврата МП серии ПМЕ-111

Напряжение на катушке МП, В	Время срабатывания t_{cp} , с				Время возврата $t_{в}$, с			
	1	2	3	\bar{t}_{cp}	1	2	3	$\bar{t}_{в}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{ном} =$								
$0,59U_{ном} =$								

16. Произвести расчёт параметров МП по следующим формулам:

а) $U_{\text{ср}}$ – напряжение срабатывания (входной параметр):

$$U_{\text{ср}} = (\bar{U}_1 + \bar{U}_2)/2, \text{ В}; \quad (5.8)$$

б) $U_{\text{в}}$ – напряжение возврата (входной параметр):

$$U_{\text{в}} = (\bar{U}_4 + \bar{U}_5)/2, \text{ В}; \quad (5.9)$$

в) $k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата:

$$k_{\text{в}} = U_{\text{в}}/U_{\text{ср}}; \quad (5.10)$$

г) $k_{\text{п}}$ – кратность пускового тока:

$$k_{\text{п}} = \bar{I}_1/I_{\text{кном}}; \quad (5.11)$$

д) $P_{\text{кном}}$ – номинальная активная мощность катушки:

$$P_{\text{кном}} = I_{\text{кном}}^2 r_{\text{к}} \approx I_{\text{кном}}^2 R_{\text{к}}, \text{ Вт}; \quad (5.12)$$

е) $S_{\text{кном}}$ – номинальная полная мощность катушки:

$$S_{\text{кном}} = U_{\text{кном}} I_{\text{кном}}, \text{ В}\cdot\text{А}; \quad (5.13)$$

ж) $S_{\text{пmax}}$ – максимальная пусковая мощность катушки:

$$S_{\text{пmax}} = U_{\text{кном}}^2/R_{\text{к}}, \text{ В}\cdot\text{А}; \quad (5.14)$$

з) $S_{\text{пmin}}$ – минимальная пусковая мощность катушки:

$$S_{\text{пmin}} = U_{\text{ср}} I_{\text{ср}}, \text{ В}\cdot\text{А}, \quad (5.15)$$

где $I_{\text{ср}} = \bar{I}_1$;

и) k_3 – коэффициент запаса:

$$k_3 = U_{\text{кном}}/U_{\text{ср}}. \quad (5.16)$$

Результаты расчётов свести в табл. 5.6.

5.6. Расчётные параметры МП ПМЕ-111

$U_{\text{ср}}, \text{ В}$	$U_{\text{в}}, \text{ В}$	$k_{\text{в}}$	$k_{\text{п}}$	$P_{\text{кном}}, \text{ Вт}$	$S_{\text{кном}}, \text{ В}\cdot\text{А}$	$S_{\text{пmax}}, \text{ В}\cdot\text{А}$	$S_{\text{пmin}}, \text{ В}\cdot\text{А}$	k_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9

17. По результатам табл. 5.4 построить следующие характеристики в одной координатной плоскости: $I_k(U)$; $S_k(U)$; $Z_k(U)$; $L_k(U)$. Произвести анализ и сделать выводы.

18. Построить характеристику управления МП: $I_c(U)$.

19. Сравнить полученные результаты с техническими данными МП ПМЕ-111 и сделать выводы по выполненной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Электрические схемы.
5. Заполненные табл. 5.1 – 5.6.
6. Расчётная часть.
7. Графическая часть.
8. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Где применяются контакторы и МП?
2. В чём состоят особенности конструкции контакторов, МП?
3. Каковы особенности работы МП при управлении асинхронным двигателем?
4. Как отражается на работе контактора или МП обрыв короткозамкнутого витка?
5. Как влияет воздушный зазор в магнитной системе на ток в катушке электромагнита постоянного тока, переменного тока?
6. К чему приводит наличие «паразитных» воздушных зазоров в магнитопроводе контактора МП?

Лабораторная работа 6

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ ТОКА

Цель работы:

1. Изучить принцип действия и конструкцию электромагнитных реле РТ-40 и РН-50.
2. Определить основные технические параметры реле РТ-40.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для изучения электромагнитного реле тока РТ-40; сигнальная схема; нагрузочный трансформатор (220/12 В); магазин

сопротивлений; ЛАТР; два вольтметра с $U_N = 20$ В переменного напряжения; амперметр с $I_N = 10$ А переменного тока; амперметр с $I_N = 500$ мА переменного тока; блок питания на 12 В (постоянное напряжение); электронный секундомер; блок выключателей/переключателей; комплект соединительных проводов.

Основные сведения

Максимальные реле тока РТ-40 и реле напряжения РН-50 применяются в устройствах релейной защиты и противоаварийной автоматики. Реле тока реагирует на повышение тока, а реле напряжения на повышение напряжения в контролируемой цепи.

В реле РТ-40 и РН-50 использована одна из разновидностей электромагнитных систем, называемая системой с поперечным движением якоря (рис. 6.1). Магнитная система реле состоит из П-образного шихтованного магнитопровода 5 и Г-образного якоря 3, вращающегося на двух полуосях 6. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 7, один конец которой связан с якорем, а другой – с указателем уставки 8. При повороте указателя уставки изменяется противодействующий момент пружины и соответственно ток срабатывания реле.

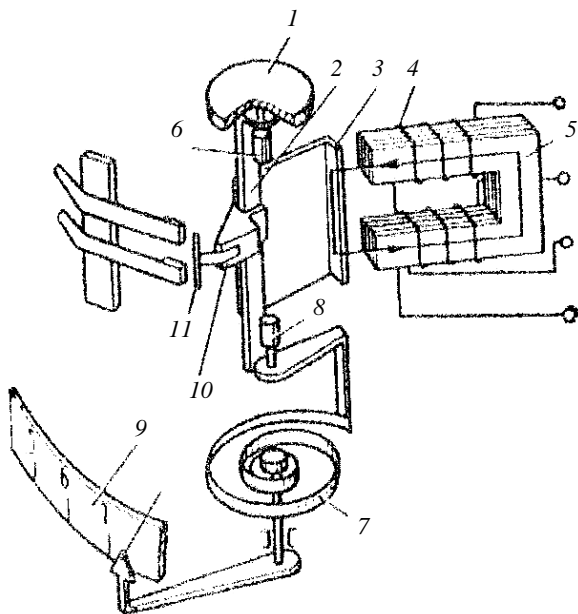


Рис. 6.1. Реле тока РТ-40

Необходимое положение указателя определяется по делениям, нанесённым на шкале 9. На якоре закреплена пластмассовая колодка 10 с подвижным контактным мостиком 11. В верхней части скобы 2, связанной с якорем, закреплён полый барабанчик 1. Барабанчик имеет внутри радиальные перегородки и заполнен сухим кварцевым песком.

При любом ускорении подвижной системы песчинки приходят в движение, и часть сообщённой якору энергии тратится на преодоление сил трения между песчинками. Это приводит к значительному снижению вибраций подвижной системы от переменной составляющей тяговой силы электромагнита и уменьшает вибрацию контактов при их соударении. На магнитопроводе расположены катушки 4, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Перестановкой перемычек на этих зажимах можно осуществить параллельное и последовательное соединение катушек и соответственно изменять значение уставок срабатывания в два раза. Цифры, нанесённые на шкале, соответствуют последовательному соединению катушек. Все элементы реле смонтированы на рамке из алюминиевого сплава, укреплённой на пластмассовом цоколе и закрыты прозрачным кожухом.

При прохождении тока по обмотке реле создаётся магнитный поток, который замыкается через сердечник и якорь. Поток, пронизывая якорь, намагничивает его. Электромагнитная сила, пропорциональная квадрату магнитного потока, притягивает якорь к полюсам сердечника, при этом контакты реле замыкаются.

Угол поворота якоря 2 реле ограничен упорами 1 и 3 (рис. 6.2).

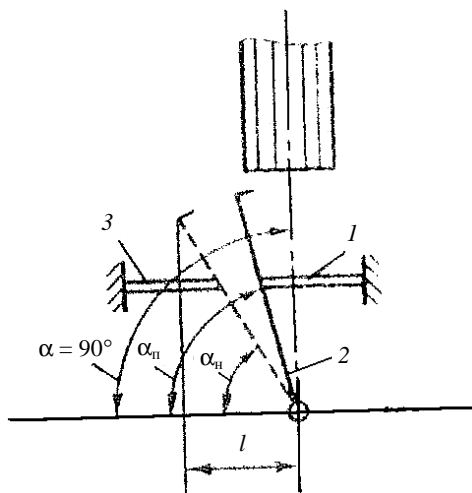


Рис. 6.2. Положение якоря под полюсами реле

Если убрать правый упор I , то под действием электромагнитного момента якорь займет положение, соответствующее наибольшему значению магнитного потока в воздушном зазоре, т.е. повернется на угол 90° . При этом электромагнитный момент будет равен нулю.

Для обеспечения необходимого нажатия на контакты работа реле должна осуществляться в определенных пределах углов поворота якоря. Для реле РТ-40 и РН-50 угол поворота якоря устанавливается, примерно, 60° – в начальном положении и 75° – в конечном положении якоря (см. рис. 6.2).

Конструкция реле напряжения аналогична конструкции реле тока. У реле напряжения отсутствует барабанчик, гасящий вибрацию подвижной системы. Для снижения вибрации обмотка реле подключается к контролируемой цепи через выпрямительный мост и добавочные резисторы R1 и R2. Схема внутренних соединений реле приведена на рис. 6.3. Реле имеют два диапазона уставок.

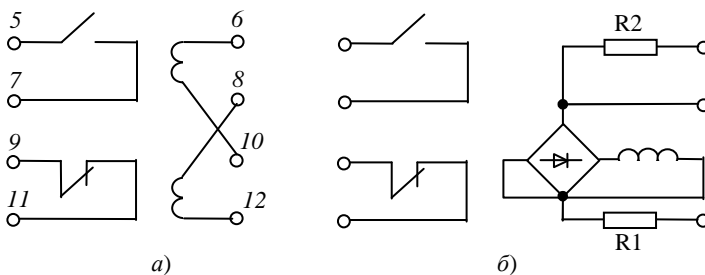


Рис. 6.3. Схема внутренних соединений:
а – реле тока; б – реле напряжения

В диапазоне меньших уставок обмотка реле подключается к контролируемой цепи через добавочный резистор R1, а в диапазоне больших уставок – через последовательно соединённые резисторы R1 и R2.

Рассмотренная конструкция реле имеет относительно высокий коэффициент возврата – не менее 0,8. Коэффициентом возврата называется отношение параметра возврата к параметру срабатывания.

Технические данные реле РТ-40

Реле выпускаются девяти исполнений с уставками по току 0,05...200 А.

Коэффициент возврата реле не менее 0,85 – на первой уставке и не менее 0,8 – на остальных уставках.

Погрешность тока срабатывания реле относительно уставки не более $\pm 5\%$.

Время замыкания замыкающего контакта не более 0,1 с при токе $1,2I_{сраб}$ и не более 0,03 с при токе $3I_{сраб}$.

Потребляемая мощность зависит от исполнения реле и при токе уставки составляет 0,2 В·А (исполнение от 0,05 до 2 А).

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Контакты реле коммутируют в цепи постоянного тока индуктивную нагрузку (с постоянной времени не более 0,005 с) мощностью 60 Вт, в цепи переменного тока (при коэффициенте мощности не менее 0,5) нагрузку мощностью 300 В·А при напряжении от 24 до 250 В и токе 2 А.

Технические данные реле РН-50

Реле выпускаются трёх исполнений с уставками по напряжению от 15 до 400 В.

Погрешность напряжения срабатывания реле относительно уставки не более $\pm 10\%$.

Коэффициент возврата не менее 0,8.

Время замыкания замыкающего контакта не более 0,1 с при напряжении $1,2U_{сраб}$ и не более 0,03 с при напряжении $2U_{сраб}$.

Мощность, потребляемая реле при напряжении минимальной уставки первого диапазона, не превышает 1 В·А.

Схема включения токовых электромагнитных реле приведена на рис. 6.4.

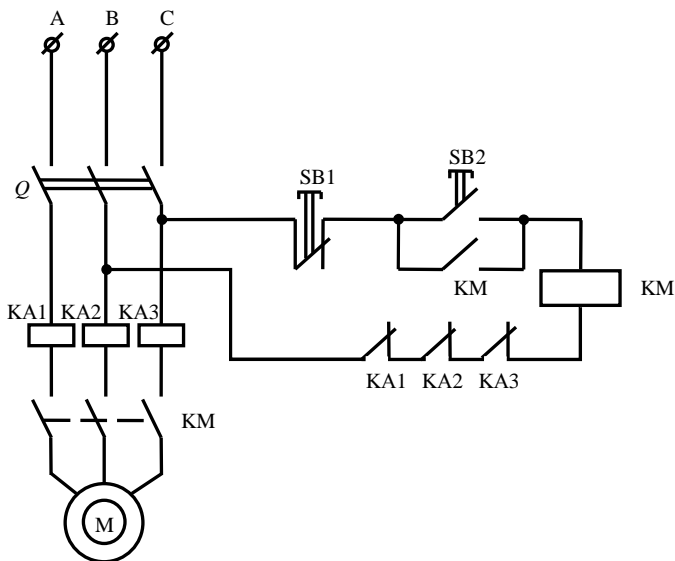


Рис. 6.4. Схема включения токовых реле

Задание

1. Ознакомиться с установкой (стендом) для выполнения лабораторной работы и техническими данными реле РТ-40 и РН-50.
2. Знать, как устанавливаются в реле РТ-40 токи уставок (плавно и грубо).
3. Знать способы включения реле РТ-40 при последовательном и параллельном соединении его катушек.
4. Изучить схемы включения реле РТ-40 для исследования его свойств и снятия основных параметров.
5. Произвести необходимые расчёты и построить заданные зависимости (см. «Порядок выполнения работы»).
6. Составить отчёт о проделанной работе.
7. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Реле».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Изучить методику выполнения, электрические схемы и её элементы, необходимые для выполнения лабораторной работы.
4. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.
5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить во время проведения лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке реле.
2. Исследовать работу реле РТ-40 при последовательном соединении катушек:
 - 2.1. Собрать схему, представленную на рис. 6.5. Проверить исходное состояние ЛАТРа. Реле в цепь при последовательном соединении катушек включается клеммами Х3 [Н1 – начало первой катушки] и Х6 [К2 – конец второй катушки], а конец первой катушки – клемма Х5 [К1] соединяется с началом второй катушки – клемма Х4 [Н2]. Функции электроизмерительных приборов таковы: вольтметр V1 контролирует выходное напряжение с нагрузочного трансформатора ТА (220/12В); вольтметр V2 измеряет напряжение на обмотке реле РТ-40; амперметр А1 измеряет ток в контролируемой цепи (входная воздействующая величина реле), протекаемый через обмотку реле; амперметр А2 измеряет ток в сигнальной схеме, протекающий через индикаторную лампу НЛ (выходной параметр реле).

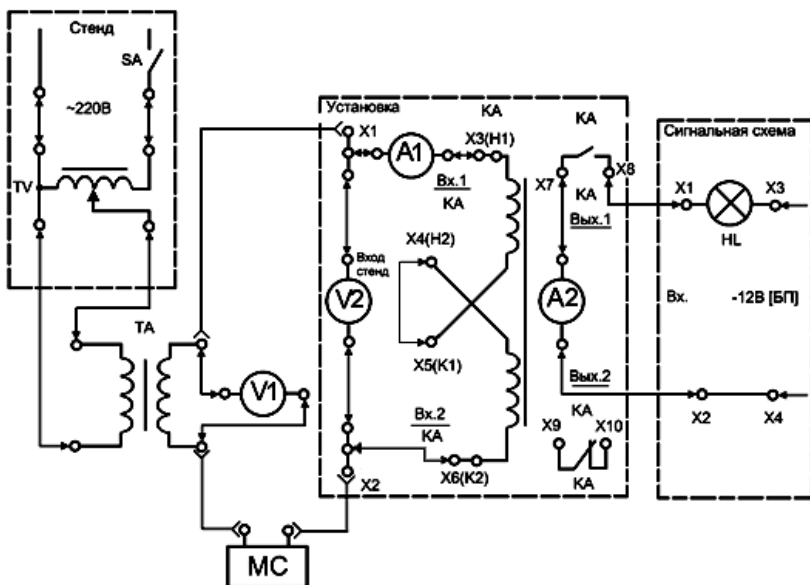


Рис. 6.5. Схема для исследования РТ-40 при последовательном соединении катушек

2.2. Установить на реле первую уставку по току срабатывания ($I_{уст}$). Для этого снять защитный колпак с реле и вручную установить указатель в требуемое положение.

2.3. Подготовить цепь с реле РТ-40 к работе. Для этого подать на ЛАТР сетевое напряжение (~ 220 В, $f = 50$ Гц), включив тумблер SA на стенде, а на сигнальную схему постоянное напряжение 12 В, включив блок питания БП в сеть. На магазине сопротивлений MC с помощью тумблеров установить нагрузку в 1,5–2,0 раза превышающую ток уставки (нагрузка указана на лицевой панели MC).

2.4. Плавно увеличивать ток нагрузки с помощью ЛАТРа до момента срабатывания реле, контроль производить с помощью сигнальной лампы HL – в момент срабатывания она загорается (или гаснет). Зафиксировать значения тока срабатывания ($I_{ср}$), напряжения срабатывания ($U_{ср}$), тока в сигнальной схеме (I_c).

2.5. Увеличить после срабатывания реле ток в 1,2–1,5 раза (от тока срабатывания) для надёжной фиксации якоря реле.

2.6. Далее – уменьшить ток нагрузки до возврата реле в исходное состояние, зафиксировать токи I_v (ток возврата), I_c и напряжение U_v

(напряжение возврата) в момент погасания лампы HL – это и будет возврат реле. После проведения опыта ЛАТР вывести в исходное положение.

2.7. Аналогичные операции произвести на остальных токах уставок реле, которые обозначены числами на шкале РТ-40. Опыт провести на каждой уставке не менее трёх раз. Данные результатов измерений занести в табл. 6.1.

6.1. Результаты измерений

Ток уставки $I_{уст}, A$	Номер опыта	Последовательное соединение катушек						Параллельное соединение катушек						
		Ток возрастает			Ток убывает			Ток возрастает			Ток убывает			
		$I_{cp},$ A	$U_{cp},$ B	$I_c,$ A	$I_{B},$ A	$U_{B},$ B	$I_c,$ A	$I_{cp},$ A	$U_{cp},$ B	$I_c,$ A	$I_{B},$ A	$U_{B},$ B	$I_c,$ A	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	1													
	2													
	3													
	1													
	2													
	3													
	1													
	2													
	3													
	1													
	2													
	3													
	1													
	2													
	3													

3. Исследовать работу реле РТ-40 при параллельном соединении катушек обмотки:

3.1. Собрать схему, представленную на рис. 6.6. Она отличается от предыдущей (см. рис. 6.5) тем, что из схемы исключается перемычка, которая соединяла клеммы X4 и X5. При этом вводятся две новые – одна соединяет начала катушек реле (клеммы X3 [Н1] и X4 [Н2]), другая – концы катушек (клеммы X5 [К1] и X6 [К2]). Клеммами X3 [Н1] и X6 [К2] реле включается в контролируемую цепь. Функции приборов остаются прежними. Токи уставок реле при параллельном соединении катушек возрастают вдвое, а числа, нанесённые на шкале, как известно, соответствуют последовательному соединению катушек.

3.2. Далее необходимо произвести все операции, указанные в п. 2.2 – 2.7. Данные наблюдений занести в табл. 6.1.

4. Для измерения времени срабатывания ($t_{ср}$) и времени возврата ($t_{в}$) реле РТ-40 необходимо собрать электрические цепи согласно схем, представленных на рис. 6.7 и 6.8. Измерения провести при уставках, указанных преподавателем при токах $1, 2 I_{уст}$ и $3 I_{уст}$. Эти исследования необходимо провести как при последовательном, так и при параллельном соединении катушек.

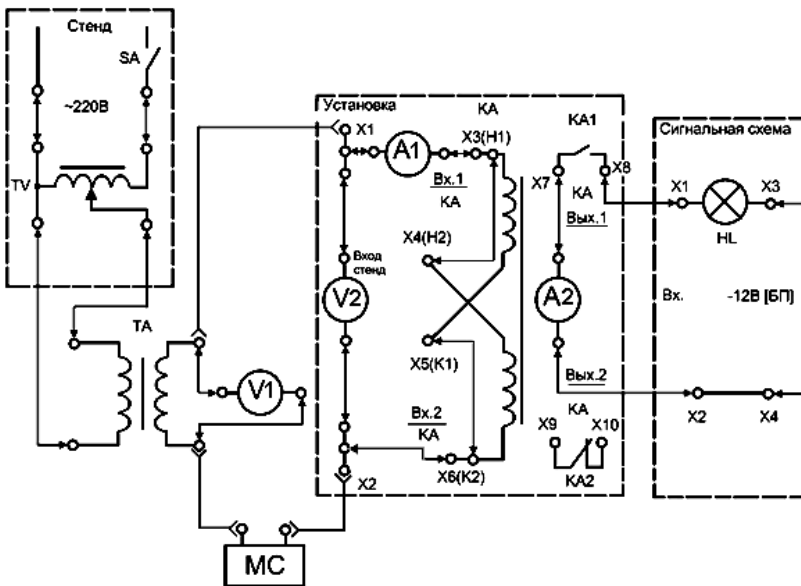


Рис. 6.6. Схема для исследования реле РТ-40 при параллельном соединении катушек

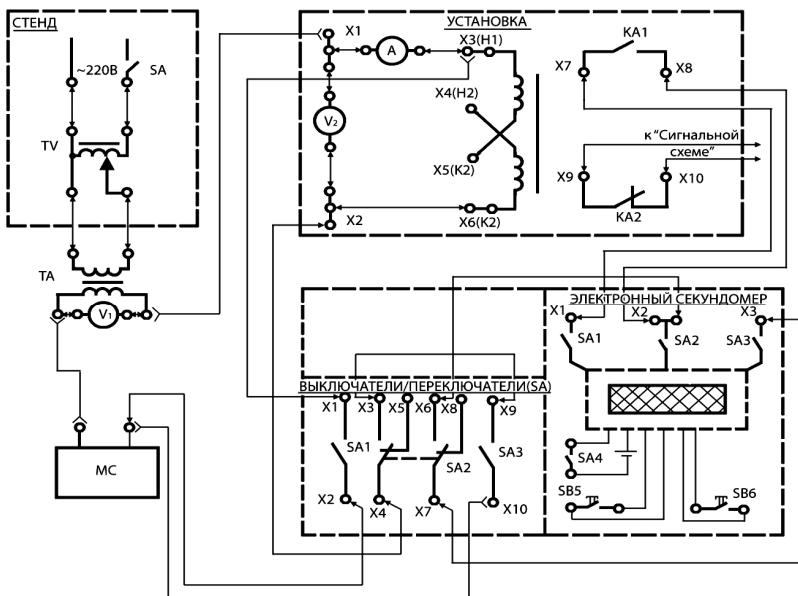


Рис. 6.7. Схема для измерения времени срабатывания реле РТ-40
(схема соединения катушек реле не показана)

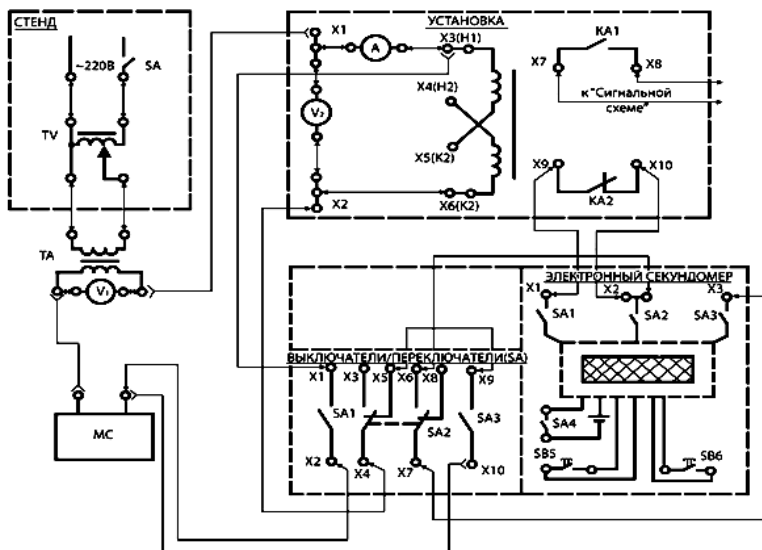


Рис. 6.8. Схема для измерения времени возврата реле РТ-40
(схема соединения катушек реле не показана)

5. Схема и работа электронного секундомера (ЭС) подробно рассмотрена в лабораторной работе 5.

6. Подключение ЭС к установке лабораторной работы 6 осуществляется через блок выключателей/переключателей (сокращённо В/П), который смонтирован вместе с блоками ЭС и промежуточного реле KL.

7. Измерить время срабатывания, $t_{ср}$, реле РТ-40 (см. рис. 6.7) сначала при последовательном соединении катушек, затем при параллельном. Для этого при отключённых тумблерах SA2 и SA3 (блок В/П) и электронном секундомере включить тумблер SA1 (блок В/П) и выставить предварительно ток превышения тока уставки (см. п. 4). Отключить тумблер SA1 и включить тумблер SA3 (блок В/П). Далее, включив тумблер SA2, проверить окончательно требуемый ток превышения – при несоответствии указанному значению необходимо воспользоваться ЛАТРом (ТВ). Такая последовательность действий диктуется ограничением времени нахождения реле РТ-40 в режиме сбрасывания. Отключить тумблер SA2 (блок В/П), включить ЭС соответствующими тумблерами на его блоке: SA1, SA2, SA3 – электрическая цепь готова к проведению измерений.

При измерении времени срабатывания запускающая цепь ЭС подключается к клеммам X6, X7 тумблера SA2(блок В/П), а останавливающая цепь ЭС – к замыкающим контактам KA1 реле РТ-40 (клеммы X7, X8); к размыкающимся контактам KA2 реле РТ-40 (клеммы X9, X10) подключить сигнальную схему.

Включить тумблер SA2(блок В/П) – запускается ЭС, заданный ток превышения пошёл по катушкам реле РТ-40, в результате чего оно срабатывает, и замыкающийся контакт KA1 останавливает ЭС, фиксируя время срабатывания, $t_{ср}$, реле РТ-40. Далее необходимо обнулить показания ЭС; опыт провести не менее трёх раз в каждом из обозначенных случаев. Результаты измерений занести в табл. 6.2.

8. Измерить время возврата ($t_{в}$), реле РТ-40 (см. рис. 6.8) сначала при соединении катушек реле последовательно, затем параллельно. Отключив тумблер SA3 и включив SA1 на блоке В/П, выставить предварительный ток превышения над током уставки ($1, 2 I_{уст}$ или $3 I_{уст}$), при этом ЭС отключён, как и тумблер SA2 (блок В/П). Далее отключить тумблер SA1, а SA3 (блок В/П) включить – реле РТ-40 будет в рабочем состоянии – и подкорректировать указанный ток с помощью ЛАТРа (ТВ). Это необходимо сделать вследствие того, что рабочий ток (или ток превышения) уже идёт через катушки реле, которые обладают определённым, хотя и небольшим, сопротивлением переменному току. Схема готова к проведению измерений, которые следует производить достаточно быстро, чтобы не вывести реле РТ-40 из строя.

6.2. Опытные данные по измерению времени срабатывания и возврата реле РТ-40*

Ток уставки, А, и способ соединения катушек		t_{cp}, c		t_B, c		
		$I_{cp}/I_{уст} = 1,2$	$I_{cp}/I_{уст} = 3$	$I_{cp}/I_{уст} = 1,2$	$I_{cp}/I_{уст} = 3$	
1		2	3	4	5	
$I_{уст} =$	П С Л	1				
		2				
		3				
		Ср. зн.				
	П Р Л	1				
		2				
		3				
		Ср. зн.				

* ПСЛ – последовательное соединение катушек; ПРЛ – параллельное соединение катушек

Включить ЭС соответствующими тумблерами SA1, SA2, SA3 и быстро включить тумблер SA2 на блоке В/П – запускается ЭС и одновременно отключается реле РТ-40, а его размыкающиеся контакты КА2 (клеммы X9, X10) останавливают ЭС, фиксируя время возврата реле РТ-40 в исходное состояние. К замыкающимся контактам КА1 подключить сигнальную схему. Далее произвести сброс показаний ЭС; опыт провести не менее трёх раз в каждом из обозначенных случаев. Результаты занести в табл. 6.2.

9. Результаты вычислений свести в табл. 6.3 (последовательное соединение катушек) и табл. 6.4 (параллельное соединение катушек).

Заполнение табл. 6.3 и 6.4 произвести по следующим формулам:

а) среднее арифметическое значение измеряемой величины:

$$\bar{X} = \sum \frac{x_i}{N}, \quad (6.1)$$

где N – число опытов; x_i – значение измеряемой величины в i -м опыте;
 \bar{X} – среднее значение;

**6.3. Результаты вычислений.
Последовательное соединение катушек**

$I_{\text{уст}}, A$	\bar{I}_{cp}, A	\bar{U}_{cp}, B	\bar{I}_B, A	\bar{U}_B, B	$\delta, \%$	k_B	$S_{\text{cp}}, B \cdot A$	$S_B, B \cdot A$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

6.4. Результаты вычислений. Параллельное соединение катушек

$I_{\text{уст}}, A$	\bar{I}_{cp}, A	\bar{U}_{cp}, B	\bar{I}_B, A	\bar{U}_B, B	$\delta, \%$	k_B	$S_{\text{cp}}, B \cdot A$	$S_B, B \cdot A$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

б) относительная основная погрешность срабатывания реле:

$$\delta = \frac{\bar{I}_{\text{cp}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} 100\% , \quad (6.2)$$

где \bar{I}_{cp} – среднее арифметическое значение тока срабатывания;
 $I_{\text{уст}}$ – ток уставки реле;

в) коэффициент возврата реле:

$$k_{\text{в}} = \bar{I}_{\text{в}} / \bar{I}_{\text{cp}} , \quad (6.3)$$

где $\bar{I}_{\text{в}}$ – среднее арифметическое значение тока возврата;

г) потребляемая полная мощность при срабатывании:

$$S_{\text{cp}} = \bar{U}_{\text{cp}} \bar{I}_{\text{cp}} , \text{ В}\cdot\text{А}; \quad (6.4)$$

д) потребляемая полная мощность при возврате:

$$S_{\text{cp}} = \bar{U}_{\text{в}} \bar{I}_{\text{в}} , \text{ В}\cdot\text{А}. \quad (6.5)$$

10. Построить следующие зависимости:

а) на одной координатной плоскости – $\delta(I_{\text{уст}})$, $k_{\text{в}}(I_{\text{уст}})$, $S_{\text{cp}}(I_{\text{уст}})$, $S_{\text{в}}(I_{\text{уст}})$ для последовательного соединения катушек реле. Аналогично и для параллельного соединения катушек;

б) характеристики управления реле $I_{\text{с}}(I)$ для минимального и максимального токов уставки как для последовательного, так и для параллельного соединения катушек.

11. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по выполненной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Электрические схемы для изучения электромагнитного реле РТ-40.
5. Заполненные табл. 6.1 – 6.3.
6. Графическая и расчётная части.
7. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение максимальных токовых реле?
2. Каким образом регулируется ток уставки в реле РТ-40?
3. Почему коэффициент возврата у максимальных токовых реле меньше единицы?
4. Объяснить принцип действия реле РТ-40, РН-50.
5. Составить и объяснить работу схемы защиты асинхронного двигателя от токов КЗ на базе реле РТ-40.
6. Какую функцию выполняет барабанчик, укрепленный на подвижной системе реле РТ-40?
7. Как влияет на ток срабатывания встречное соединение катушек в реле РТ-40?

Лабораторная работа 7

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Цель работы:

1. Изучить принцип действия и конструкцию электромагнитного реле времени постоянного тока серии РЭВ-800.
2. Определить влияние на выдержку времени напряжения на катушке реле.
3. Определить влияние на выдержку времени толщины немагнитной прокладки между якорем и сердечником и натяжения отключающей пружины.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для изучения электромагнитного реле времени постоянного тока серии РЭВ-800; источники постоянного напряжения; электронный секундомер (ЭС); амперметр постоянного тока с пределом измерения 1 А; вольтметр постоянного тока с пределом измерения 250 В; сигнальная схема с индикаторной лампой на 13,5 В; блок питания постоянного напряжения на 12 В; комплект соединительных проводов.

Основные сведения

Временем срабатывания реле считают промежуток времени от момента включения катушки до момента замыкания контактов. Различают: время срабатывания на включение, протекающее с момента включения катушки до момента замыкания замыкающих контактов; время срабатывания на отключение (время отключения или возврата), протекающее с момента отключения катушки до момента замыкания размыкающих контактов.

Время срабатывания электромагнитного реле складывается из двух частей:

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{тр}} + t_{\text{д}}, \quad (7.1)$$

где $t_{\text{тр}}$ – время трогания, т.е. время с момента подачи импульса на катушку электромагнита (на включение её или отключение) до момента начала движения якоря; $t_{\text{д}}$ – время движения якоря до полной его остановки.

Увеличение времени срабатывания осуществляется путём увеличения времени трогания (достигается с помощью магнитного демпфирования) и времени движения (достигается с помощью механического демпфирования).

В электромагнитных реле времени серии РЭВ-800 замедление достигается с помощью магнитного демпфирования, т.е. воздействия на скорость изменения магнитного потока. При этом используются магнитные потоки, создаваемые вихревыми токами, которые появляются в массивных деталях магнитной системы при изменении основного магнитного потока. Для этого на магнитопровод 1 реле надевают металлические гильзы или шайбы (рис. 7.1). При изменении основного магнитного потока Φ_0 , созданного током катушки 3, в гильзе 2 наводятся вихревые токи. Магнитный поток, созданный вихревыми токами, имеет направление, препятствующее изменению основного потока. Когда основной поток уменьшается, направление потока от вихревых токов Φ_v совпадает с ним (рис. 7.1).

Эффективность этого метода тем больше, чем больше абсолютное значение основного потока. Поэтому наибольшее замедление можно получить при отключении электромагнита, когда воздушные зазоры в магнитной системе малы, а магнитный поток максимален. При отключении катушки электромагнита начинает уменьшаться магнитный поток. Когда он достигнет значения потока отпадания $\Phi_{\text{от}}$, начинается движение якоря. Скорость уменьшения магнитного потока определяется постоянной времени реле, которую с допущениями можно определить по формуле

$$\tau = \Lambda / R_3, \quad (7.2)$$

где Λ – результирующая магнитная проводимость системы, Гн; R_3 – электрическое сопротивление короткозамкнутой гильзы, Ом.

Характер изменения потока при отключении реле представлен на рис. 7.2. Кривая 1 относится к условиям, когда на магнитопроводе нет короткозамкнутой гильзы. Когда гильза надета на магнитопровод, поток спадает медленнее (кривая 2) и время отключения еще увеличивается при неизменном потоке отпадания ($t'_2 > t'_1$ и $t''_2 > t''_1$).

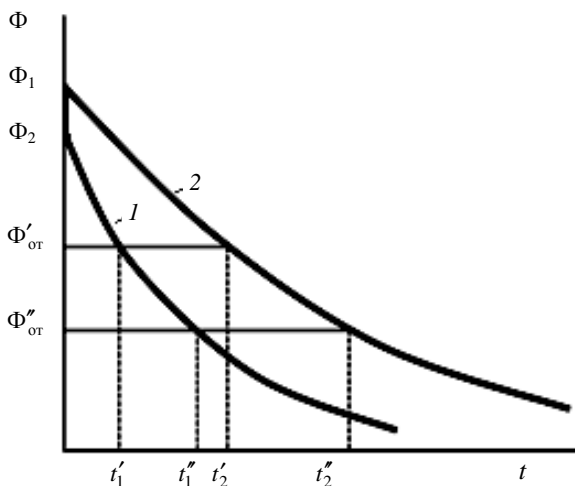


Рис. 7.1. Электромагнитное реле времени

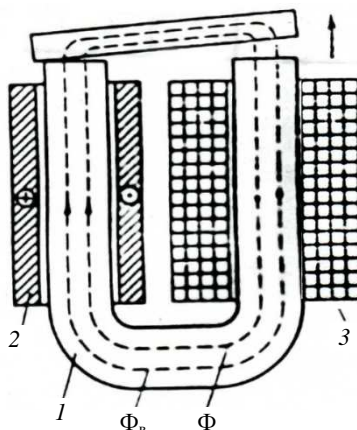


Рис. 7.2. Кривые изменения электромагнитного потока

Регулировать выдержку времени при отпуске реле можно разными способами. При изменении толщины немагнитной прокладки изменяется результирующая магнитная проводимость системы и постоянная времени. Чем тоньше магнитная прокладка, тем больше магнитная проводимость и постоянная времени. Выдержка времени при этом увеличивается. При изменении сопротивления короткозамкнутых гильз или шайб также изменяется постоянная времени: чем меньше сопротивление гильз, тем больше выдержка времени.

При изменении натяжения противодействующей пружины изменяется электромагнитная сила (соответственно и магнитный поток), при которой якорь отпадает. Если пружина ослаблена, то поток отпадения $\Phi'_{от}$ меньше, чем при затянутой пружине $\Phi'_{от}$, а время отключения больше $t'_2 > t_2$ и $t'_1 > t_1$.

Для того чтобы выдержка времени реле не зависела от значения питающего напряжения, магнитная цепь делается сильно насыщенной. Поэтому снижение напряжения до 60% от номинального не вызывает заметного изменения выдержки времени.

Общий вид исследуемого реле серии РЭВ-800 представлен на рис. 7.3. Магнитопровод реле выполнен из низкоуглеродистой стали и состоит из сердечника 7 и скобы 9. Основание магнитной схемы 1 залито алюминиевым сплавом и создаёт дополнительный контур для вихревых токов, что приводит к увеличению выдержек времени. На скобе 9 крепится пластинка 11 и угольник 12, образуя призматическую опору якоря 6, что повышает его механическую износостойкость. Катушка реле 3 устанавливается на сердечник и закрепляется кольцом 4. На сердечнике и скобе магнитной системы устанавливаются съёмный демпферы 2 и 17 из алюминия или меди.

Противодействующее усилие создаётся пружиной 16, регулировка натяжения этой пружины производится гайкой 13. Для осуществления плавной регулировки выдержки времени на якоре установлен регулировочный узел 8. Между якорем и сердечником установлена немагнитная прокладка 5.

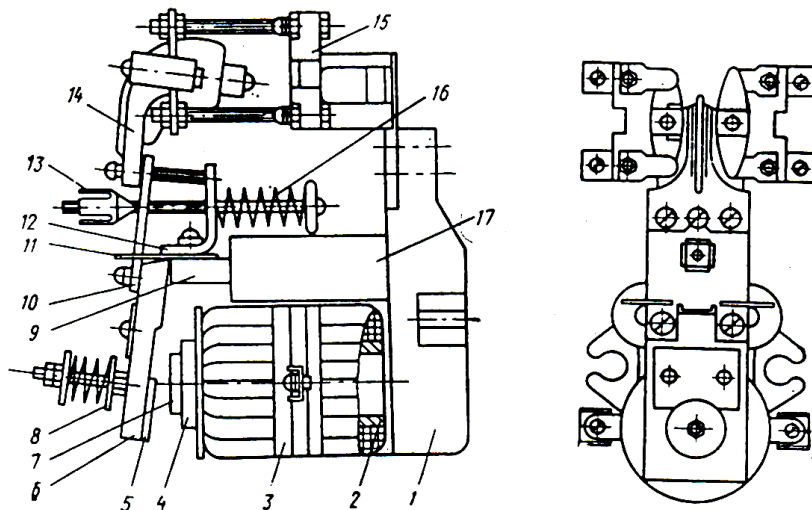


Рис. 7.3. Электромагнитное реле времени

На якоре укреплен скоба 10, несущая колодку с подвижными контактами 14. Узел неподвижных контактов 15 крепится на магнитной системе. Контакты имеют конструкцию, позволяющую производить их пересборку.

Технические данные реле

Реле изготавливаются с втягивающими катушками на номинальные напряжения 24, 48, 110, 220 В.

Реле должно притягивать якорь без остановок подвижной системы в промежуточном положении при напряжении $0,85 U_{ном}$.

Пределы регулировки выдержки времени при отключении катушки 0,8...2,5 с.

Потребляемая мощность катушки не более 25 Вт.

Точность по времени срабатывания $\pm 10\%$ при окружающей температуре $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и напряжении на катушке не менее 60% от номинального.

Номинальный ток контактов 10 А.

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы; записать технические данные исследуемого реле серии РЭВ-800. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.

2. Знать электрические схемы подключения установки, ЭС и сигнальной схемы.

3. Получить данные для построения характеристики: время срабатывания (отпускания) реле от напряжения и толщины немагнитной прокладки.

4. Построить указанные выше характеристики.

5. Составить отчёт о проделанной работе.

6. Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Реле».

2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.

3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.

4. Изучить методику проведения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.

5. Повторить правила работы с электронным секундомером.
6. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными реле серии РЭВ-800, приведёнными в «Основных сведениях» и на самом реле, смонтированном на стенде. Записать их в отчёте. Выяснить назначение каждого элемента установки и реле.

2. Установка смонтирована (см. рис. 7.4 и 7.5) на базе реле серии РЭВ-800 (КТ) и состоит из четырёх цепей. Первая питает обмотку реле времени КТ через клеммы X1, X2 от источника постоянного напряжения, состоящего из ЛАТРа (TV) и выпрямительного моста (UZ). ЛАТР подключается к сетевому напряжению 220 В (переменное напряжение). Подключение реле КТ осуществляется с помощью тумблера SA на установке, который одновременно подключает и вторую цепь – цепь промежуточного реле KL, обмотка которого рассчитана на переменное напряжение 220 В (клеммы X3, X4). Третья цепь осуществляет запуск и остановку ЭС, а четвертая – световую индикацию коммутации реле времени КТ.

3. Определить влияние напряжения на катушке реле и ослабленной возвратной пружины на выдержку времени при включении реле КТ. Для этого необходимо ослабить возвратную пружину в реле КТ и собрать схему, представленную на рис. 7.4.

Схема будет работать следующим образом: при включении тумблера SA на установке сработают оба реле – реле KL запустит ЭС (тумблеры SA1, SA2, SA3 на нём включены), а реле КТ его отключит и одновременно погасит индикаторную лампу HL на сигнальной схеме. Если существует задержка при срабатывании реле КТ, то пойдёт отсчёт времени и лампа HL погаснет позже момента включения тумблера SA.

Изменяя напряжение с помощью ЛАТРа на входе реле КТ (контролируется вольтметром V) согласно табл. 7.1, получить данные для построения характеристики $\bar{t}_{cp}(U_{кат})$, где \bar{t}_{cp} – среднее время срабатывания реле КТ.

При каждом значении напряжения произвести не менее трёх опытов, фиксируя время t_{cp} и значение тока. Результаты измерений занести в табл. 7.1.

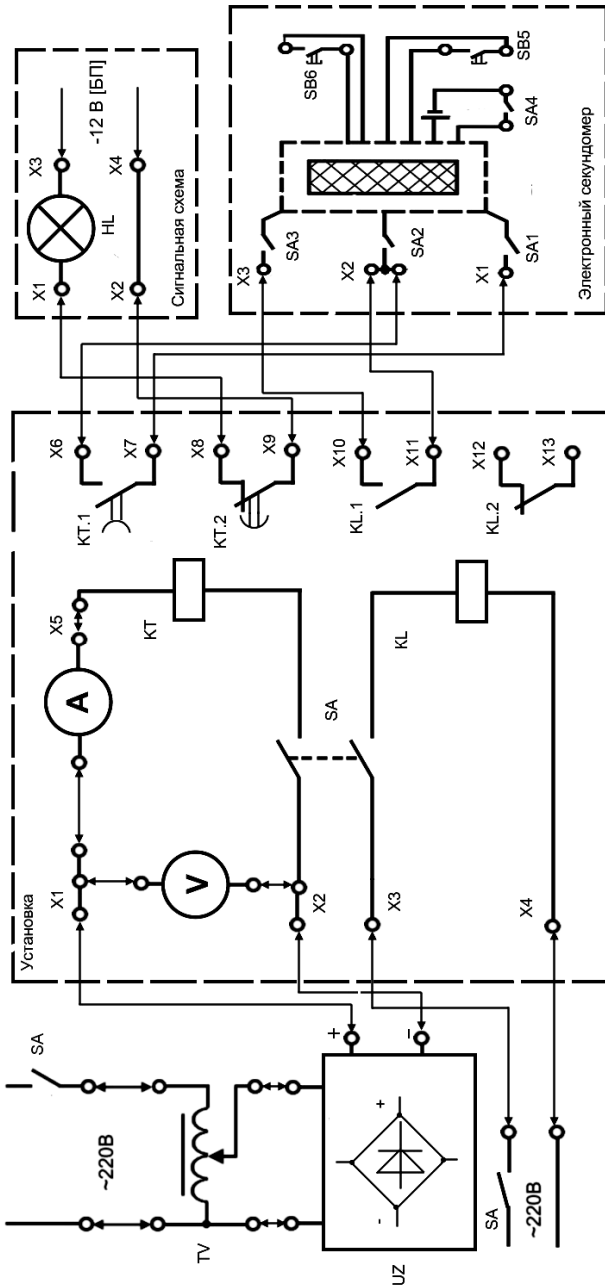


Рис. 7.4. Электрическая схема для измерения времени срабатывания реле

7.1. Данные выдержки времени реле при срабатывании

$U_{\text{ном}}$ катушки, В	$U_{\text{кат}}\%$ от $U_{\text{ном}}$	$U_{\text{кат}}, \text{В}$	$I, \text{А}$	$t_{\text{ср}}, \text{с}$			$\bar{t}_{\text{ср}}, \text{с}$	$P, \text{Вт}$
				1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	110							
	100							
	90							
	80							
	70							
	60							

4. Определить влияние напряжения на катушке реле КТ на выдержку времени при отключении и ослабленной возвратной пружине.

Для этого необходимо оставить затяжку пружины, как в п. 3, и собрать схему, представленную на рис. 7.5. Измерение выдержки времени $t_{\text{отк}}$ при отключении произвести следующим образом: включить тумблер SA на установке – оба реле КТ и KL сработают, сигнальная лампа HL загорится.

Подключить ЭС тумблерами SA1, SA2 и SA3. Далее отключить оба реле от источников питания тумблером SA – запустится ЭС, а лампа HL будет продолжать гореть при наличии выдержки времени при возврате реле КТ в исходное положение. Через некоторое время реле вернётся в первоначальное положение, остановит ЭС, фиксируя время $t_{\text{отк}}$, и одновременно погаснет индикаторная лампа HL.

Опыт провести не менее трёх раз, измеряя время отключения $t_{\text{отк}}$ и значения тока. Результаты замеров занести в табл. 7.2.

7.2. Данные выдержки времени реле при отключении

$U_{\text{кат}}\%$ от $U_{\text{ном}}$	$U_{\text{кат}}, \text{В}$	$I, \text{А}$	$t_{\text{отк}}, \text{с}$			$\bar{t}_{\text{отк}}, \text{с}$	$P, \text{Вт}$
			1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8
110							
100							
90							
80							
70							
60							

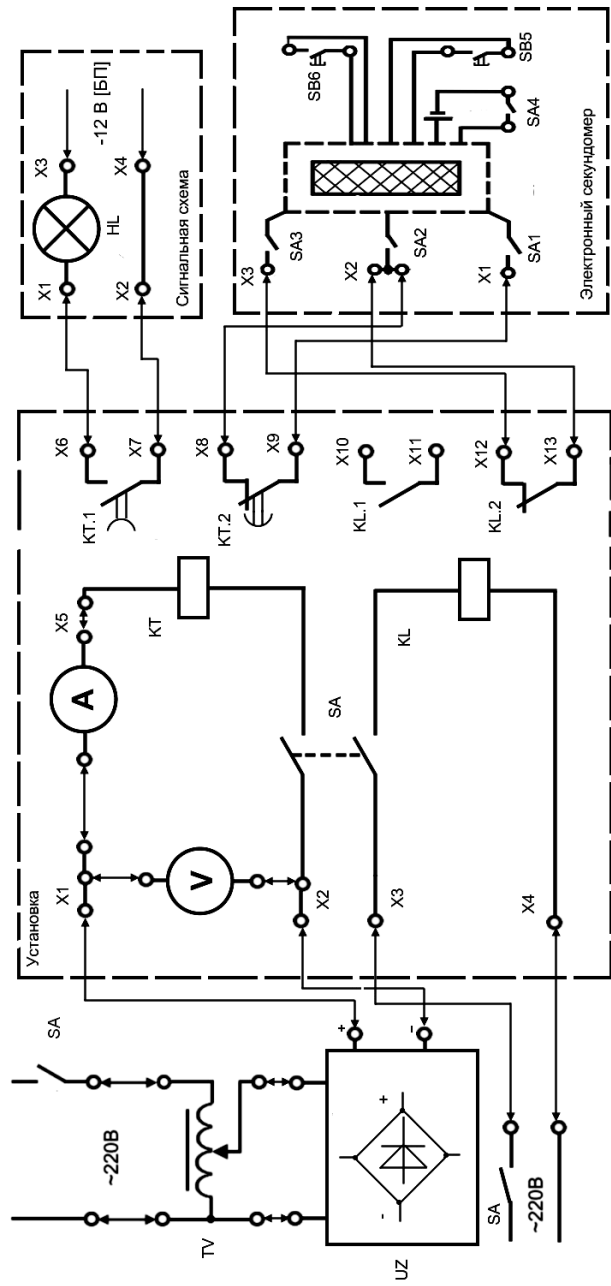


Рис. 7.5. Электрическая схема для измерения времени возврата реле

5. Определить зависимость выдержки времени при отключении реле от толщины немагнитной прокладки между якорем и сердечником. Измерение производить при номинальном напряжении на катушке реле КТ и ослабленном и затянутом состояниях отключающей пружины. Ослабление или затяжку противодействующей пружины 16 (см. рис. 7.3) производить путём вращения гайки 13 по часовой стрелке или против неё. Для немагнитной прокладки использовать пять картонных полосок толщиной по 0,1 мм, причём каждую из них можно использовать только один раз. Результаты измерений занести в табл. 7.3.

**7.3. Данные выдержки времени реле
при изменении толщины немагнитной прокладки**

Толщина немагнитной прокладки, мм	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	2	3	4	5	6	7
$\bar{t}_{\text{отк}}$, с (пружина затянута)						
$\bar{t}_{\text{отк}}$, с (пружина ослаблена)						

6. Заполнить табл. 7.1 и 7.2, рассчитав $\bar{t}_{\text{ср}}$ и $\bar{t}_{\text{отк}}$ как среднее арифметическое, а также мощность $P = U_{\text{кат}} I$ (Вт).

7. По результатам табл. 7.1 и 7.2 построить зависимости $\bar{t}_{\text{ср}}(U_{\text{кат}})$ и $\bar{t}_{\text{отк}}(U_{\text{кат}})$, где $\bar{t}_{\text{отк}}$ – среднее время отключения.

7. По результатам табл. 7.3 построить зависимости $\bar{t}_{\text{отк}}(\delta)$ при затянутой и ослабленной пружине на одной координатной плоскости; δ – это толщина немагнитной прокладки.

Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.

4. Электрические схемы.
5. Заполненные табл. 7.1 – 7.3.
6. Графическая и расчётные части.
7. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется временем срабатывания реле?
2. В чём заключается принцип магнитного демпфирования?
3. От чего зависит скорость изменения магнитного потока?
4. От чего зависит постоянная времени реле?
5. Как влияет на выдержку времени замена медного демпфера алюминиевым?
6. Как влияет на выдержку времени увеличение температуры окружающей среды?
7. Каково назначение массивного основания реле?
8. Как влияет на выдержку времени толщина немагнитной прокладки и затяжка противодействующей пружины?

Лабораторная работа 8

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ

Цель работы:

1. Изучить конструкцию и принцип действия теплового реле серии РТЛ-1004, 1005, 1006.
2. Снять времятоковую (защитную) характеристику реле.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для снятия защитной характеристики теплового реле; ЛАТР; нагрузочный трансформатор 220/12 В мощностью 250 В·А; электронный секундомер (ЭС); мультиметр в режиме термометра; вольтметр переменного тока с пределом измерения 20 В; амперметр переменного тока с пределом измерения 20 А; комплект соединительных проводов.

Основные сведения

При незначительных длительных перегрузках в электродвигателях, электромагнитах и других токоприёмниках, возникающих при возрастании момента сопротивления на рабочем органе машины или за счёт витковых замыканий в обмотках, протекает ток, превышающий допустимое значение на 20...50%. Такой режим работы приводит к

перегреву обмоток и электродвигателя (аппарата) в целом, а следовательно, к преждевременному выходу из строя. Для защиты электрооборудования от таких перегрузок служат тепловые реле, которые также включают последовательно (непосредственно или через трансформаторы тока) в контролируемую цепь.

Тепловые реле работают в цепях переменного и постоянного тока. Их используют как самостоятельно, так и в составе магнитных пускателей. На рисунке 8.1, *а* показан принцип действия теплового реле, которое состоит из нагревательного элемента 1, выполненного из материала с большим сопротивлением (нихром, фехраль) и включённого в цепь нагрузки (электродвигателя), биметаллической пластины 2, размыкающих контактов 3, включённых последовательно в цепь управления (электродвигателем) и кнопки 4 возврата контактов во включённое положение.

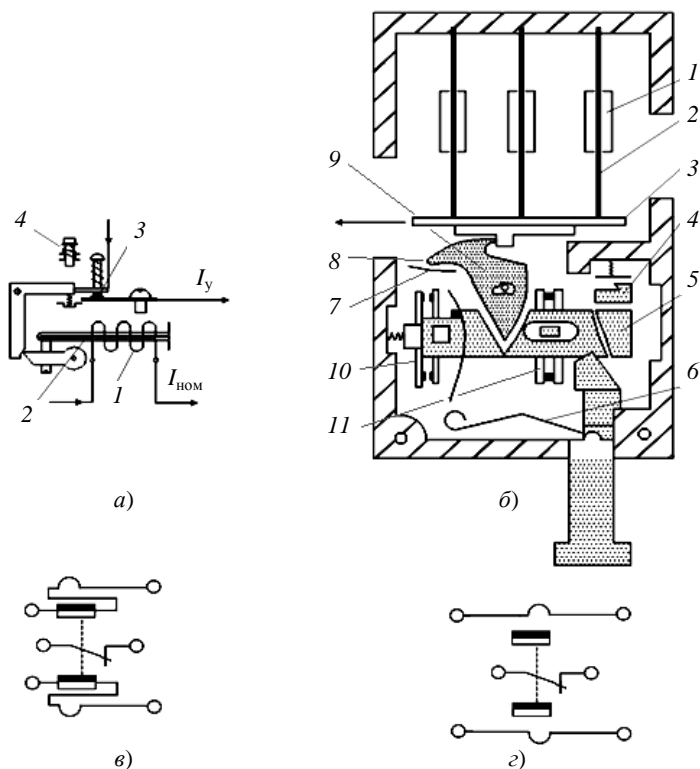


Рис. 8.1. Тепловое реле:

а – однофазное; *б* – трёхфазное; *в* – схема включения с прямым нагревом;
г – схема включения с косвенным нагревом

Действие реле основано на деформации биметаллической пластины вследствие теплового воздействия на неё нагревательного элемента, по которому проходит рабочий ток $I_{ном}$. Время срабатывания реле зависит от значения тока, протекающего по нагревательному элементу. В этом реле применён косвенный метод нагрева биметаллической пластины, изгибающейся вследствие разных коэффициентов расширения применяемых металлов (рис. 8.1, з). Биметаллическая пластина может также нагреваться и прямым способом путём пропускания через неё тока нагрузки (рис. 8.1, в). В некоторых реле используются сочетание прямого и косвенного нагрева биметаллической пластины.

Реле изготавливают одно-, двух- и трёхфазного исполнения (типов РТ, ТРВ, ТРА, ТРН, ТРП и РТЛ) на различные токи от 0,5 до 600 А. Номинальный ток каждого теплового реле является его максимально допустимым током, а сменные тепловые элементы позволяют получить для каждого типоразмера реле от 4 до 12 номинальных токов уставки. При этом для каждого теплового элемента его ток уставки может изменяться (уменьшаться) специальным регулятором на передней панели реле до 30% от номинального значения, а некоторые типы реле (ТРН) имеют предел регулирования от 0,75 до $1,25I_{ном}$.

На рисунке 8.1, б показана конструктивная схема современного трёхполюсного теплового реле серии РТЛ, предназначенных для индивидуальной защиты (1...200 А) трёхфазных асинхронных электродвигателей (или пристройки к магнитным пускателям серии ПМЛ). Реле работает следующим образом. Ток, протекающий по термоэлементам 1, изгибает биметаллические пластины 2, связанные с рейками дифференциала 3, которые перемещаются в направлении стрелки. Кулачок 9 поворачивается и своим выступом 8 приводит в движение компенсационную пластину 7, при перегрузке упор защёлки 4 выскальзывает, а держатель подвижных контактов 5 перемещается под действием пружины 6. Контакты 11 размыкаются, а контакты 10 замыкаются. В отличие от других типов реле в серии РТЛ предусмотрены температурная компенсация, механизм ускоренного срабатывания при обрыве фаз, дополнительные замыкающие контакты (кроме размыкающих, имеющихся во всех тепловых реле).

Для оценки эффективности защиты строятся времятоковые характеристики защищаемого объекта и биметаллического элемента теплового реле. Такие характеристики называют защитными. Независимо от вида этих характеристик все тепловые реле имеют граничный ток $I_{гр} \approx (1,2...1,3)I_{ном}$ и срабатывают при превышении $I_{гр}$ за время примерно 20 мин. При этом перегрузки $(5...6)I_{н}$ вызывают срабатывание реле за время 5...20 с, что весьма важно для режима прямого пуска электродвигателей без отключения реле. Защитные характеристики

биметаллического элемента строятся как с холодного состояния, так и с нагретого. В последнем случае предполагается, что через тепловое реле проходил до срабатывания номинальный ток $I_{ном}$ (ток уставки I_y).

При правильном выборе реле времятоковая характеристика, снятая из холодного состояния, должна проходить вблизи и ниже характеристики защищаемого объекта. Тогда при предварительном подогреве номинальным током реле обеспечивает надёжную защиту.

Тепловые реле, как и все аппараты защиты, имеют амперсекундную характеристику гиперболического вида (рис. 8.2).

Термическая стойкость тепловых реле современных типов достигает $18I_{ном}$. Возврат реле в исходное положение после срабатывания в некоторых типах реле производится вручную или автоматически через 1,5...3 мин после срабатывания.

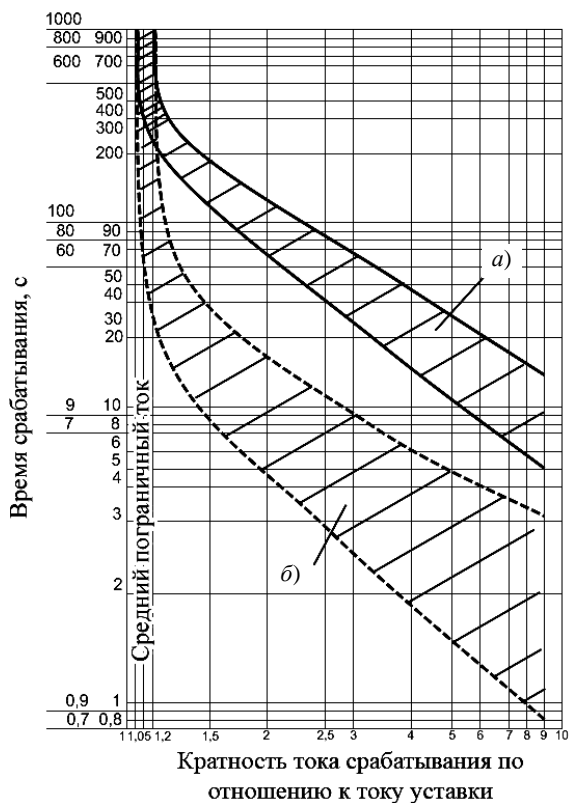


Рис. 8.2. Защитная характеристика тепловых реле серии ТРН:

а – зона срабатывания с холодного состояния;

б – зона срабатывания с горячего состояния

Задание

1. Ознакомиться с конструкцией теплового реле серии РТЛ, установкой к лабораторной работе, записать марку реле и имеющиеся уставки по току.
2. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.
3. Знать схему подключения установки.
4. Получить данные для построения времятоковой (-ых) характеристики (-ик).
5. Построить времятоковую (-ые) характеристику (-ки) реле.
6. Составить отчёт о проделанной работе.
7. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Реле».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.
4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и электрическую схему подключения установки.
5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке исследуемого реле. Записать марку реле и указанные на нём токи уставок.
2. Собрать схему, представленную на рис. 8.3. Выяснить назначение каждого элемента и применяемых электроизмерительных приборов.
3. Установка для исследования теплового реле спроектирована на базе реле серии РТЛ и состоит из четырёх электрических цепей. Первая цепь – это силовая часть установки, которая включает тепловой элемент (ТЭ) реле (КК), кнопочный переключатель SB1-SB2, шунтирующий контакт промежуточного реле KL.3 и амперметр переменного тока с пределом измерения 20 А. Через клеммы X1, X2 цепь реле подключается к выходу нагрузочного трансформатора ТА, первичная обмотка которого подсоединена к выходу ЛАТРа (TV).

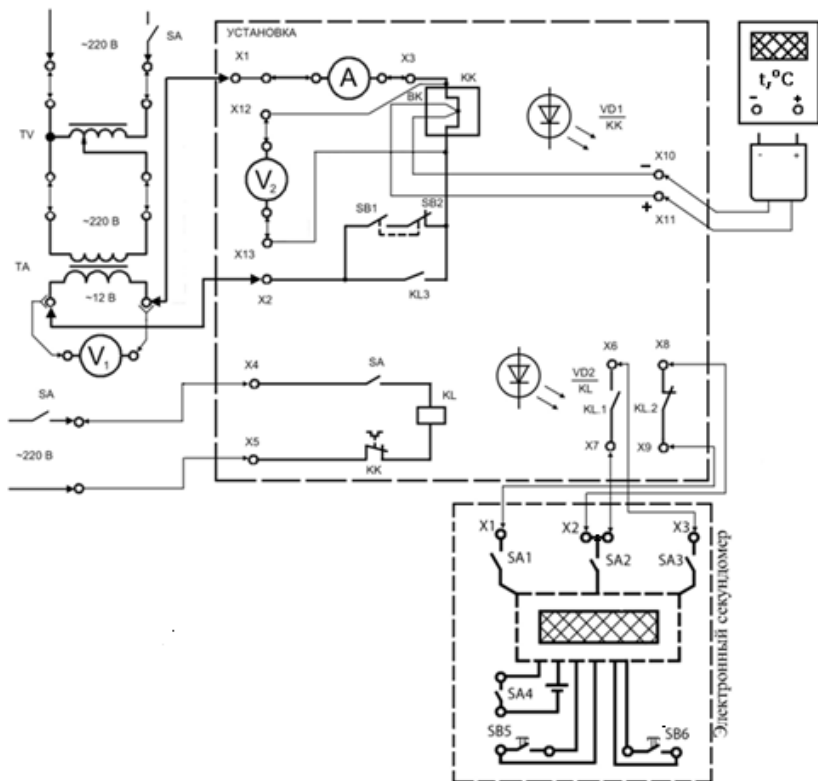


Рис. 8.3. Схема для исследования реле РТЛ

Вторая цепь состоит из обмотки промежуточного реле KL, тумблера SA и размыкающего контакта (KK) теплового реле. Через клеммы X4, X5 цепь подключается к сетевому напряжению (~220 В). Третья цепь контролирует температуру ТЭ реле с помощью термодпары BK, заведённую вовнутрь реле. Значения температуры считываются с показаний мультиметра, подключённого к электрическим контактам X9, X10 установки специальным проводом и работающего в режиме термометра. Светодиоды VD1/KK и VD2/KL сигнализируют о рабочем состоянии соответственно теплового и промежуточного реле. И, наконец, четвёртая цепь позволяет измерять время срабатывания (t_{cp}) реле. Для этого ЭС своей запускающей цепью через клеммы X2, X3 подключается к замыкающим контактам KL.1 реле KL (клеммы X6, X7 на установке), а останавливающей цепью (клеммы X1, X2 на ЭС) к размыкающим контактам KL.2 реле KL (клеммы X8, X9 на установке).

4. Схема установки работает следующим образом. Подключают установку к сети: силовую цепь через трансформатор ТА и ЛАТР, а реле КЛ – непосредственно. Замыкают цепь ТЭ кнопкой SB1 и с помощью ЛАТР (TV) быстро выставляют заданный рабочий ток перегрузки ($I_{пер}$) по амперметру, включённого между клеммами X1 и X3 установки, после чего кнопкой SB2 цепь отключают. Дают время для остывания ТЭ, определяемое его температурой после остывания по показанию термометра, например, до температуры окружающей среды. Далее подключают промежуточное реле КЛ тумблером SA (установка), которое, во-первых, замыкает цепь ТЭ контактом КЛ.3, и, во-вторых, запускает ЭС контактом КЛ.1.

Через определённое время реле КК сработает и разорвёт цепь реле КЛ, что приведёт к возврату промежуточного реле в исходное положение. Тогда контакт КЛ.2 остановит ЭС, фиксируя время выдержки реле КК. После остывания ТЭ (контроль по термометру) необходимо нажать на возвратную кнопку теплового реле, подготовив его к следующему опыту; тумблер SA отключить и обнулить показания ЭС (см. лабораторную работу 5 «Изучение магнитного пускателя») во время остывания ТЭ.

5. Получить данные для построения защитных характеристик из холодного (режим I) и подогретого током уставки (режим II) состояний теплового реле.

6. Режим I. В этом случае после каждого опыта, заканчиваемся срабатыванием реле, дать время для остывания ТЭ до температуры окружающей среды (θ_{oc} , °C). Эксперимент проводить при токе уставки I_y , который указывает преподаватель из обозначенных значений на шкале уставок теплового реле. Токи перегрузок ($I_{пер}$) варьируются в диапазоне от $(1,3...1,5)I_y$ до $(5...6)I_y$, причём выбранный ток $I_{пер}$ держать постоянным в течение отдельного опыта. Методика проведения эксперимента изложена в п. 4. В таблицу 8.1 занести следующие результаты измерений: тока перегрузки $I_{пер}$, А; температуры окружающей среды θ_{oc} , °C (измерить до начала испытаний теплового реле); напряжений на ТЭ в момент появления тока $I_{пер}$ ($U_{ТЭ1}$, В) и перед срабатыванием реле ($U_{ТЭ2}$, В); температуры на ТЭ перед срабатыванием $\theta_{ср}$, °C; времени срабатывания, $t_{ср}$ мин; времени остывания после каждого значения тока $I_{пер}$, $t_{ост}$ мин (это время измерить с помощью ручных часов). Указанные напряжения измерять с помощью вольтметра V_2 , подключённого к клеммам X12, X13 установки.

8.1. Данные выдержки времени теплового реле из холодного состояния

I_y , А	θ_{oc} , °С	$I_{пер}$		$U_{ТЭ}$		$\theta_{ср}$, °С	$t_{ср}$, мин	$t_{ост}$, мин	$r_{ТЭ}$		$S_{ср}$, В·А
		k	$I_{пер}$, А	$U_{ТЭ1}$, В	$U_{ТЭ2}$, В				$r_{ТЭ1}$, Ом	$r_{ТЭ2}$, Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1,3...1,5									
		1,8									
		2,4									
		3,0									
		4,0									
		5,0									

7. Режим II. Для этого установить в силовой цепи через кнопку SB1 с помощью ЛАТР ток уставки (он указан преподавателем в п. б), и пропускать его через ТЭ в течение промежутка времени, при котором температура ТЭ будет оставаться постоянной на протяжении последних пяти минут (установившийся температурный режим). После этого быстро увеличить ток до значения заданного тока перегрузки и отключить цепь ТЭ кнопкой SB2. Далее быстро включить тумблером SA реле KL и произвести измерение времени срабатывания теплового реле из нагретого состояния. В таблицу 8.2 занести результаты следующих измерений: температуры окружающей среды, абсолютное значение тока перегрузки $I_{пер}$, А; значения напряжений в установившемся режиме подогрева $U_{уст}$, В, в момент появления тока перегрузки $U_{ТЭ1}$, В, и перед срабатыванием $U_{ТЭ2}$, В; температуры в установившемся режиме $\theta_{уст}$, °С, окружающей среды θ_{oc} , °С, перед срабатыванием $\theta_{ср}$, °С; времени остывания $t_{ост}$, мин, времени срабатывания $t_{ср}$, мин.

После срабатывания теплового реле дать время на остывание его ТЭ до температуры, соответствующей температуре при прохождении тока уставки, т.е. $\theta_{уст}$. В этот отрезок времени необходимо привести схему в исходное положение для новых измерений: обнулить показания ЭС и отключить тумблер SA на установке.

8.2. Данные выдержки времени теплового реле из подогретого состояния

I_y, A	$U_{уст}, B$	$\theta_{уст}, ^\circ C$	$\theta_{ос}, ^\circ C$	$I_{пер}$	$U_{ТЭ}$		$\theta_{ср}, ^\circ C$	$t_{ср}, \text{МИН}$	$t_{ост}, \text{МИН}$	$r_{ТЭ}$			$S_{ср}, B \cdot A$	
					$I_{пер}, A$	$U_{ТЭ1}, B$				$U_{ТЭ2}, B$	$r_{ТЭ1}, \text{ОМ}$	$r_{ТЭ2}, \text{ОМ}$		$r_{ТЭуст}, \text{ОМ}$
1	2	3	4	k	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
				1,3...1,5										
				1,8										
				2,4										
				3,0										
				4,0										
				5,0										

8. Заполнить табл. 8.1 и 8.2, произведя следующие расчёты:

а) сопротивления ТЭ в момент появления тока перегрузки $r_{ТЭ1}$, Ом, и перед срабатыванием реле $r_{ТЭ2}$, Ом, а также для режима II – сопротивления в установившемся режиме $r_{ТЭуст}$, Ом, по следующим формулам:

$$r_{ТЭ1} = \frac{U_{ТЭ1}}{I_{пер}}, \text{ Ом}; \quad (8.1)$$

$$r_{ТЭ2} = \frac{U_{ТЭ2}}{I_{пер}}, \text{ Ом}; \quad (8.2)$$

$$r_{ТЭуст} = \frac{U_{уст}}{I_y}, \text{ Ом}; \quad (8.3)$$

б) мощности срабатывания теплового реле:

$$S_{ср} = U_{ТЭ2} I_{пер}, \text{ В}\cdot\text{А}; \quad (8.4)$$

9. По данным табл. 8.1 и 8.2 построить следующие зависимости:

а) на одной координатной плоскости для каждого из режимов I и II – $\theta_{ср}(I_{пер})$; $U(I_{пер})$; $t_{ост}(I_{пер})$; $r_{ТЭ}(I_{пер})$; $S_{ср}(I_{пер})$;

б) на одной координатной плоскости – времятоковые характеристики для режимов I и II.

10. Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Чертёж электрической схемы.
5. Заполненные табл. 8.1 и 8.2.
6. Графическая и расчётная части.
7. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей применяются тепловые реле?
2. Что представляет собой биметаллическая пластина?
3. Какие виды нагрева биметаллических элементов применяются в тепловых реле?

4. Как регулируется ток срабатывания теплового реле?
5. Срабатывает ли тепловое реле с номинальным током 5 А, если по нему проходит ток 3; 6; 10 А?
6. Почему время срабатывания тепловых реле уменьшается при увеличении проходящего по нему тока?
7. Какие контакты имеет тепловое реле?

Лабораторная работа 9

ИЗУЧЕНИЕ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими данными низковольтных предохранителей типов ПР-2, ПН-2, НПН-60.
2. Снять времятоковую характеристику плавкой вставки.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): установка для изучения работы плавких предохранителей; ЛАТР; нагрузочный трансформатор 220/12 В мощностью 250 В·А; магазин сопротивлений (МС); электронный секундомер (ЭС); амперметр переменного тока с пределом измерения 20 А; три вольтметра переменного тока с пределом измерения 20 В; комплект плавких предохранителей; комплект соединительных проводов.

Основные сведения

Плавким предохранителем называют электрический аппарат, который при токе, больше определённого значения, размыкает электрическую цепь путём расплавления плавкой вставки, непосредственно нагретой током до расплавления.

Предохранители можно классифицировать по степени закрытия плавкой вставки на:

- а) предохранители с открытой плавкой вставкой (применяются редко);
- б) предохранители с полузакрытым патроном;
- в) предохранители с закрытым патроном, в которых отсутствует выброс пламени дуги при перегорании плавкой вставки.

Предохранители с закрытым патроном могут быть с наполнителем и без него. В предохранителях с наполнением дуга гасится в порошкообразном наполнителе, а в предохранителях без наполнителя – вследствие высокого давления газов в патроне.

Материалы для плавких вставок должны иметь малое удельное сопротивление, небольшую температуру плавления и, кроме того, должны быть стойкими к окислению.

В современных предохранителях для плавких вставок обычно применяются медь, цинк, серебро.

Медь по сравнению с цинком имеет малое удельное сопротивление, что позволяет применять плавкие вставки небольшого сечения. Однако медь имеет весьма высокую температуру плавления (около 1083 °С) и подвержена окислению.

Серебро, как и медь, имеет малое удельное сопротивление и, кроме того, не окисляется, что обуславливает высокую стабильность пограничных токов серебряных вставок. Температура плавления серебра – 961 °С.

В предохранителях с медными или серебряными вставками при небольших токах перегрузки возможен значительный нагрев патрона предохранителя и его разрушение. Одним из способов снижения температуры плавления вставки является применение металлургического эффекта, когда на медную или серебряную вставку напаивают шарики из металла с низкой температурой плавления (олово, свинец). При нагреве от тока перегрузки шарик плавится и растворяет в себе металл вставки, что приводит, в конечном счёте, к изменению сечения вставки и её расплавлению в этом месте. Металлургический эффект способствует заметному снижению времени перегорания вставок при небольших токах перегрузки.

К достоинствам цинковых вставок следует отнести, помимо невысокой температуры плавления (419 °С), неизменность их сечения при эксплуатации.

Основными параметрами предохранителей являются:

а) $I_{\text{ном. патр}}$ – номинальный ток патрона – максимальный ток, при котором токоведущие и контактные части нагреваются не выше допустимой температуры;

б) $I_{\text{ном. вст}}$ – номинальный ток вставки – длительный рабочий ток, при котором плавкая вставка не должна перегорать;

в) $I_{\text{ном. откл}}$ – предельный ток отключения предохранителя.

Полное время отключения цепи предохранителем складывается из времени нагрева вставки до плавления, времени перехода из твёрдого состояния в жидкое (плавление) и времени горения (гашения дуги):

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{нагр}} + t_{\text{пл}} + t_{\text{дуги}}. \quad (9.1)$$

Зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем от тока называют времятоковой, или защитной характеристикой.

Предохранитель будет защищать объект лишь в том случае, если его защитная характеристика располагается несколько ниже защитной характеристики, защищаемого объекта при любом значении тока в цепи (рис. 9.1).

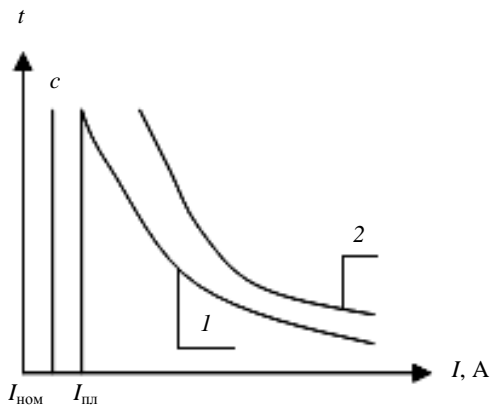


Рис. 9.1. Защитная характеристика предохранителя:

1 – характеристика предохранителя; 2 – характеристика объекта

Крутизна защитной характеристики предохранителя определяет быстродействие срабатывания предохранителя и, следовательно, надёжность защиты.

Значение тока, при котором вставка предохранителя не перегорает в течение длительного времени, называется пограничным током.

Номинальный ток плавкой вставки должен быть меньше пограничного тока.

Для обычных предохранителей отключение 5–10-кратного тока происходит примерно за время 0,5...0,1 с, а 1,5–2-кратного тока – за 20...50 с.

Для цепей, требующих большего быстродействия защиты, созданы специальные быстродействующие предохранители (серия ПНБ), которые отключают 5–10-кратный ток за время не более 0,01 с, а 1,5–2-кратный ток – за 10 с.

В некоторых случаях требуется, наоборот, повышение инерционности срабатывания предохранителя, например для защиты асинхронных двигателей с прямым пуском. Для таких цепей имеются специальные инерционные предохранители с двумя различными плавкими вставками, что обуславливает двухступенчатый вид защитной характеристики с различной крутизной.

Каждый тип предохранителя изготавливают на определённый номинальный наибольший ток, а плавкие вставки к нему делают на несколько значений номинального тока. Так, например, предохранитель на номинальный ток 60 А снабжают плавкими вставками на токи 15, 20, 25, 35, 45 и 60 А.

Выбор предохранителя производится:

а) по номинальному напряжению сети:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{вст}}, \quad (9.2)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение предохранителя; рекомендуется номинальное напряжение предохранителя выбирать по возможности равным номинальному напряжению сети;

б) по длительному расчётному току линии:

$$I_{\text{ном. вст}} \geq I_{\text{длит}}, \quad (9.3)$$

где $I_{\text{ном. вст}}$ – номинальный ток вставки;

в) по условиям пуска асинхронных двигателей (с КЗ ротором)

$$I_{\text{ном. вст}} = I_{\text{пуск}} / \alpha, \quad (9.4)$$

где α – коэффициент, зависящий от условия пуска,

$$\alpha = 1,5 \dots 2,5; \quad (9.5)$$

г) если предохранитель стоит в линии, питающей сразу несколько двигателей с КЗ ротором:

$$I_{\text{ном. вст}} = 0,4 \left[I_{\text{расч}} + (I_{\text{пуск}} - I_{\text{ном. дв}}) \right], \quad (9.6)$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчётный номинальный ток линии, равный $I_{\text{ном. дв}}$; разность $(I_{\text{пуск}} - I_{\text{ном. дв}})$ берётся для двигателя, у которого она наибольшая; для двигателей с фазным ротором, если

$$I_{\text{пуск}} < 2I_{\text{ном. дв}}, \quad (9.7)$$

то

$$I_{\text{ном. вст}} \geq (1 \dots 1,25) I_{\text{ном. дв}}; \quad (9.8)$$

д) проверка по условиям КЗ:

$$I_{\text{КЗ}} / I_{\text{ном. вст}} = 3 \dots 4, \quad (9.10)$$

где $I_{\text{КЗ}}$ – ток КЗ двигателя.

В цепях управления и сигнализации плавкие вставки выбираются по соотношению

$$I_{\text{ном. вст}} \geq \sum I_{\text{раб. max}} + 0,1 \sum I_{\text{вкл. max}} , \quad (9.11)$$

где $\sum I_{\text{раб. max}}$ – наибольший суммарный ток, потребляемый катушками аппаратов, сигнальными лампами и т.д. при одновременной работе; $\sum I_{\text{вкл. max}}$ – наибольший суммарный ток, потребляемый при включении катушек, одновременно включаемых аппаратов.

Задание

1. Ознакомиться с конструкцией плавких предохранителей низкого напряжения ПР-2, ПН-2, НПН-60.
2. Ознакомиться с установкой к лабораторной работе.
3. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.
4. Знать схему подключения и работы установки.
5. Получить данные для построения времятоковых характеристик.
6. Построить защитные характеристики.
7. Составить отчёт по проделанной работе.
8. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Плавкие предохранители».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов, особенно это относится к электронному секундомеру.
4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.
5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией низковольтных плавких предохранителей по имеющимся образцам, плакатам и справочной литературе.
2. Для снятия времятоковых характеристик необходимо собрать схему, представленную на рис. 9.2. Выяснить назначения каждого элемента схемы и применяемых электроизмерительных приборов.

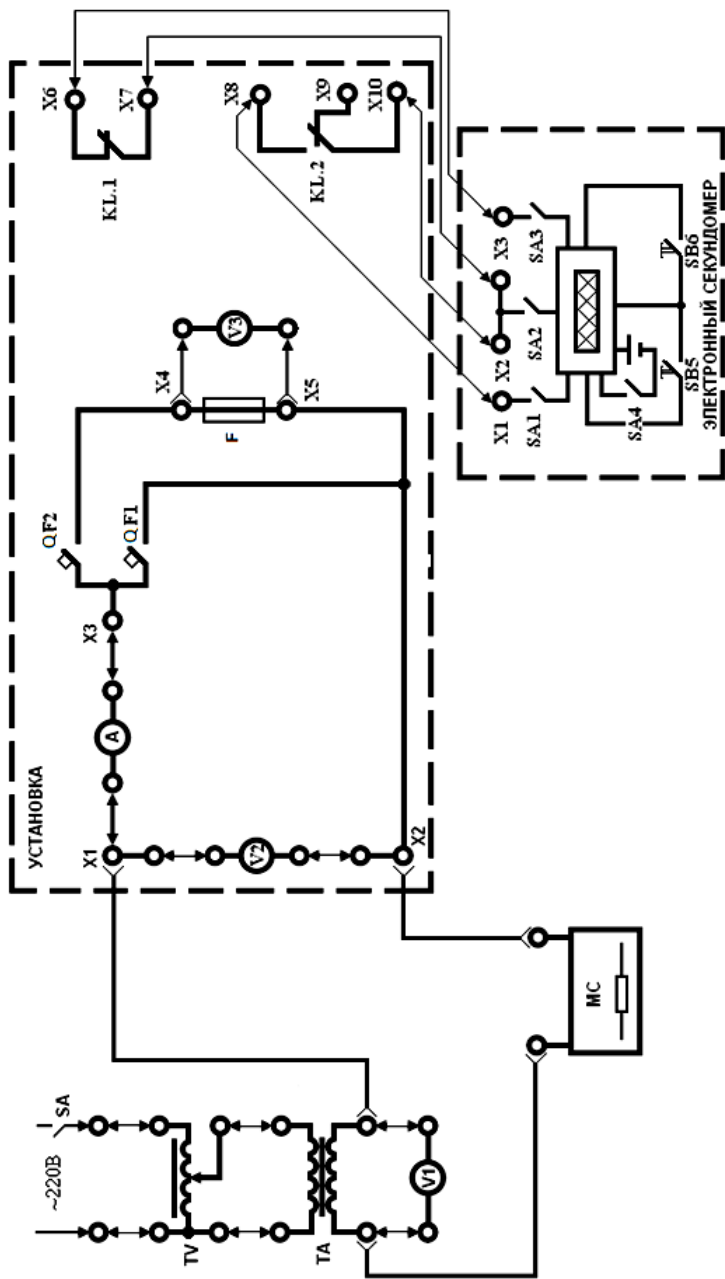


Рис. 9.2. Электрическая схема для изучения плавки предохранителей

3. Установка для изучения плавких предохранителей и снятия их защитных характеристик состоит из двух цепей: силовой и вспомогательной. Первая клеммами X1, X2 подключается к обмотке низшего напряжения трансформатора ТА (~12 В) через магазин сопротивлений МС и состоит из амперметра переменного тока А с пределом измерения 20А и двух параллельных ветвей. В первую включён автомат QF1 (BA47-C25), а во вторую – автомат QF2 (BA47-C25) с последовательно включённым плавким предохранителем (F) между клеммами X4 и X5. В схеме производится контроль напряжений: снимаемого с трансформатора ТА – вольтметром V1, входного на установку – вольтметром V2 и на плавкой вставке – вольтметром V3.

Вспомогательная цепь установки содержит два промежуточных реле KL.1 и KL.2, которые реагируют на напряжение разрыва цепи автоматами QF1 и QF2 (это KL.1) и на напряжение между клеммами X4 и X5. Эти реле на схеме не показаны, а лишь их контакты. Размыкающий контакт KL.1 между клеммами X6, X7 осуществляет запуск ЭС при исчезновении напряжения с обмотки реле KL.1 при выключении автомата QF2. Остановка ЭС производится замыкающим контактом KL.2 реле KL.2 при перегорании плавкой вставки предохранителя – появившееся напряжение между клеммами X4, X5 вызывает срабатывание реле KL.2.

Необходимо отметить, что входное напряжение при отключённых одновременно автоматах должно быть не ниже 8,5...9,0 В (контроль по вольтметру V1) для успешного срабатывания промежуточных реле KL.1 и KL.2. Изменения тока плавления (перегрузки) плавкой вставки осуществляется грубо с помощью магазина сопротивлений МС, тонко – с помощью ЛАТРа.

4. Схема установки работает следующим образом. Подключив её к сети (~220 В) через ЛАТР (ТВ), нагрузочный трансформатор (ТА) и магазин сопротивлений (МС) и включив автомат QF1, выставляют заданный ток перегрузки плавкой вставки (Iпер), значения которого контролируют амперметром А (включён между клеммами X1, X3 установки); ЭС в это время отключён своими тумблерами SA1, SA2 и SA3. Далее автомат QF1 отключают и включают ЭС – схема готова к работе.

Включают автомат QF2 и переводят выставленный ранее ток на плавкий предохранитель. Через некоторое время плавкая вставка перегорает; ЭС отключается, фиксируя время работы плавкого предохранителя при заданном токе перегрузки (плавления).

5. Получить данные для построения времятоковой характеристики плавкого предохранителя. Для этого в качестве плавкой вставки применяется медная проволока диаметром 0,1...0,3 мм, которая впаивается в патрон перегоревшего предохранителя. Изготовленный таким

образом плавкий предохранитель помещается в держатель установки между клеммами X4, X5.

6. Согласно методике испытаний, приведённой в п. 4, вначале определяют ток перегрузки, который вызывает практически мгновенное перегорание плавкой вставки. Так, для проволоки диаметром 0,2 мм значение такого тока составляет приблизительно 13...14 А, для проволоки диаметром 0,3 мм – 15...16 А. Этот ток, выставленный через автомат QF1 и затем направленный на плавкую вставку, необходимо держать неизменным до перегорания вставки с помощью ЛАТРа. Из-за узкой области изменений токов между временем плавления, измеряемого единицами-десятками секунд, и временем плавления, измеряемого десятками минут, рекомендуемый шаг сброса значений тока между отдельными опытами от значения $I_{\text{пер.мгн}}$ (значение тока перегрузки, при котором плавкая вставка перегорает мгновенно) составляет приблизительно 0,2...0,3 А.

Таким образом, необходимо получить 4–5 экспериментальных точек для построения времятоковой характеристики плавкой вставки. Данные эксперимента занести в табл. 9.1, при этом фиксировать значения следующих величин: тока через автомат QF1 I_1 , А; тока через автомат QF2 и плавкую вставку (ток перегрузки) $I_2 \equiv I_{\text{пер}}$, А; напряжения на плавкой вставке в момент включения автомата QF2 U_{30} , В и в момент плавления вставки $U_{3\text{пл}}$, В; время срабатывания предохранителя $t_{\text{ср}}$, мин.

9.1. Данные для построения защитной характеристики плавкого предохранителя

Диаметр медной проволоки, мм	I_1 , А	I_2 , А	Напряжение на плавкой вставке		$t_{\text{ср}}$, мин	Сопротивление плавкой вставки		$P_{\text{ср}}$, Вт
			U_{30} , В	$U_{3\text{пл}}$, В		r_0 , Ом	$r_{\text{пл}}$, Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

7. Произвести следующие расчёты:

а) сопротивления плавкой вставки, Ом, в момент включения автомата QF2 и в момент её плавления по формулам, считая сопротивления активными:

$$r_0 = \frac{U_{30}}{I_2}; r_{пл} = \frac{U_{3пл}}{I_2}; \quad (9.1)$$

б) мощность срабатывания плавкого предохранителя:

$$S_{cp} \approx P_{cp} = U_{3пл} I_2, \text{ Вт.} \quad (9.2)$$

Результаты вычислений занести в табл. 9.1.

8. По данным табл. 9.1 построить следующие зависимости: времятоковую характеристику $t_{cp}(I_2)$; $r_{пл}(I_2)$; $P_{cp}(I_2)$.

9. Измерить время срабатывания плавкого предохранителя с использованием металлургического эффекта при тех же токах, что и в проводимых измерениях (см. п. 6). Для этого использовать плавкие предохранители с медной проволокой того же диаметра, что и в п. 6, с нанесёнными напаями из олова в средней части. Данные занести в табл. 9.2, при этом произвести аналогичные расчёты (см. п. 7).

10. Построить по данным табл. 9.2 следующие характеристики: $t_{cp}(I_2)$; $r_{пл}(I_2)$; $P_{cp}(I_2)$.

11. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по выполненной работе.

9.2. Данные для построения защитной характеристики плавкого предохранителя с металлургическим эффектом

Диаметр медной проволоки, мм	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	Напряжение на плавкой вставке		$t_{cp}, \text{ мин}$	Сопротивление плавкой вставки		$P_{cp}, \text{ Вт}$
			$U_{30}, \text{ В}$	$U_{3пл}, \text{ В}$		$r_0, \text{ Ом}$	$r_{пл}, \text{ Ом}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Электрическая схема.
5. Заполненные табл. 9.1 и 9.2.
6. Графическая и расчётная части.
7. Вывод по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение плавких предохранителей?
2. Требования к материалам плавких вставок.
3. Каково назначение металлургического эффекта в предохранителях?
4. Каковы особенности работы предохранителя при «пограничном» токе?
5. Каковы параметры предохранителей?
6. Как должна располагаться защитная характеристика предохранителя по отношению к времятоковой характеристике защищаемого объекта?
7. Схема включения предохранителей в электрическую цепь.

Лабораторная работа 10

ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЗДУШНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Цель работы:

1. Изучить устройство, конструкции и принцип действия автоматических воздушных выключателей, применяемых в системах электроснабжения и в электроприводах.

2. Получить данные и построить времятоковую (защитную) характеристику автомата серии ВА47-29С2.

Перечень приборов и оборудования (из расчёта на одно рабочее место): набор автоматов различных конструкций; установка для испытания и проверки электротехнических параметров автоматических воздушных выключателей; источник переменного напряжения промышленной частоты, состоящего из ЛАТРа (ТВ) и нагрузочного трансформатора (ТА); магазин сопротивлений; электронный секундомер; два вольтметра переменного тока с пределом измерений 20 В; амперметр переменного тока с пределом измерений 20 А; комплект соединительных проводов.

Основные сведения

Автоматический выключатель (автомат) – силовой выключатель напряжением до 1 кВ, снабжённый встроенным в него устройством защиты (расцепителем).

К автоматам предъявляют следующие требования:

1) токоведущая цепь автомата должна выдерживать номинальный ток в течение всего срока службы, причём, нормальным состоянием автомата является включённое;

2) автомат должен обеспечивать многократное отключение токов короткого замыкания;

3) время отключения токов КЗ автоматом должно быть минимальным – с целью повышения электродинамической и термической стойкостью электроустановок.

Принципиальная схема автомата (рис. 10.1) содержит токоведущую цепь, дугогасительную систему, привод, механизм свободного расцепления и расцепителя. Токоведущая цепь включает в себя основные 3 и дугогасительные 1 контакты. Во включённом состоянии ток проходит по основным контактам, имеющим меньшее переходное сопротивление, чем дугогасительные. При отключении автомата сначала размыкаются основные, а затем дугогасительные контакты. На последних зажигается электрическая дуга. Гашение дуги производится с помощью дугогасительной системы 2. Дугогасительные контакты выполняются из материалов, обладающих повышенной стойкостью к действию электрической дуги.

Включение автомата производится вручную с помощью рукоятки 12 или электромагнитом 4. Звенья 6, 7 и упор 13 являются механизмом свободного расцепления. При включении автомата растягивается отключающая пружина 9, т.е. запасается энергия для отключения. Автомат удерживается во включённом положении за счёт того, что звено 6 упирается в упор 13. Отключение автомата может производиться вручную (рукояткой 12) или расцепителями. В данном варианте автомата содержаться независимый 11, минимальный 10, максимальный 8 и тепловой 5 расцепители.

Максимальный расцепитель предназначен для осуществления защиты от КЗ, тепловой – для защиты от перегрузки. В состав теплового расцепителя входят подогреватель и биметаллическая пластина (две металлические пластины, имеющие различные коэффициенты теплового расширения). При подогреве пластины последняя изгибается и производит отключение автомата. Минимальный расцепитель обеспечивает защиту от понижения напряжения. При понижении напряжения

уменьшается электромагнитная сила, сжимающая пружину 9 и удерживающая якорь расцепителя. В результате пружина 9 производит отключение автомата. Независимый электромагнитный расцепитель обеспечивает дистанционное отключение автомата, например с пульта управления.

Расцепители максимального тока имеют характеристики (зависимости времени срабатывания от тока), обеспечивающие селективную (избирательную) защиту сети и электродвигателей при перегрузках и КЗ. Наибольшее распространение получили расцепители комбинированного типа, характеристики которых имеют зависимую и независимую от тока часть. Зависимая часть характеристики обеспечивает защиту

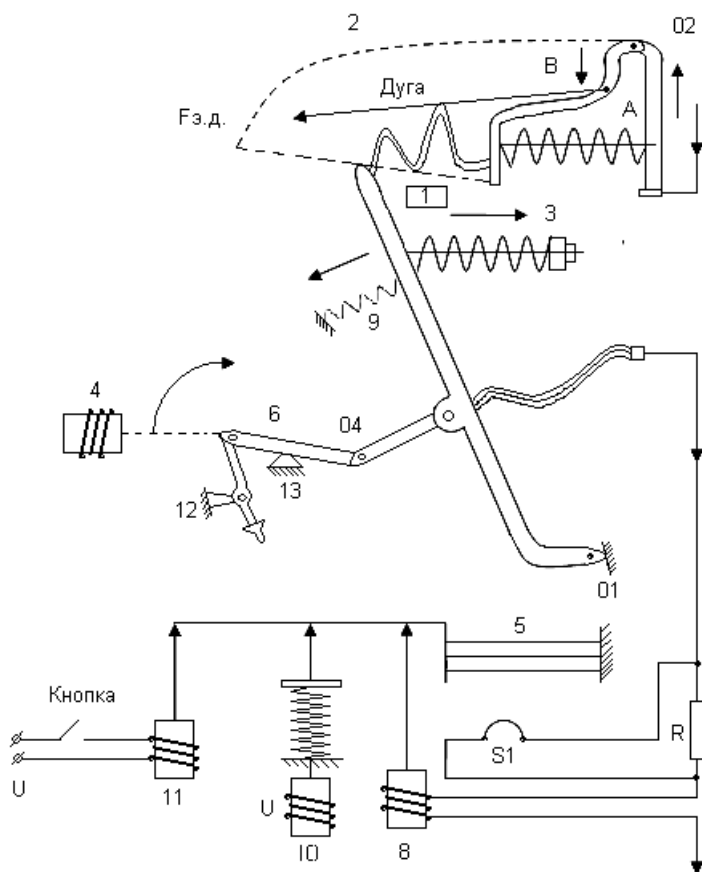


Рис. 10.1. Принципиальная схема автоматического выключателя

при перегрузках, независимая часть – при КЗ. Уставки тока и времени срабатывания могут быть изменены в определённых пределах. Обычно уставка тока перегрузки (замедленного срабатывания) может быть изменена в пределах от 0,8 до 1,5-кратного номинального тока, а уставка тока КЗ (быстрого сбрасывания) – в пределах от 4 до 12-кратного номинального тока расцепителя. Время срабатывания автоматического выключателя при перегрузках составляет 5...100 с (в зависимости от значения тока). Время срабатывания при КЗ составляет 0,1...0,4 с.

Обмотку электромагнита расцепителя максимального тока включают в цепь главного тока или непосредственно, или с помощью шунта, а также через трансформатор тока. При срабатывании расцепитель действует на механизм свободного расцепления и освобождает подвижную часть автомата.

В качестве дугогасительных устройств в автоматах переменного и постоянного тока применение получили: 1) лабиринтно-щелевые камеры из дугогасительных инертных в отношении выделения газов материалов; 2) камеры со стальными пластинками (металлической решётной); 3) камеры комбинированного типа, в которых используются элементы первых двух типов, а именно: металлические пластины, ограниченные боковыми сближающимися стенками, образующими узкую щель.

В камерах всех типов, в особенности на большие токи отключения, предусматривают пламегасительные решётки над гасительным устройством в месте выхода газов. Они состоят из ряда коротких металлических пластин с узкими щелями между ними. Такая решётка способствует охлаждению газов и ограничивает выброс пламени из камеры.

Основными параметрами автомата являются номинальное напряжение, номинальный ток, предельный ток отключения и время отключения. Различают собственное и полное время отключения. Собственное время отключения – время с момента поступления на вход расцепителя команды на отключение до начала размыкания дугогасительных контактов. В полное время отключения входит дополнительно время гашения электрической дуги. Собственно время отключения автоматов различных конструкций находится в пределах 0,002...0,005 с. Автоматы с собственным временем отключения, меньшим чем 0,008 с, ограничивают ударный ток КЗ, т.е. являются токоограничивающими.

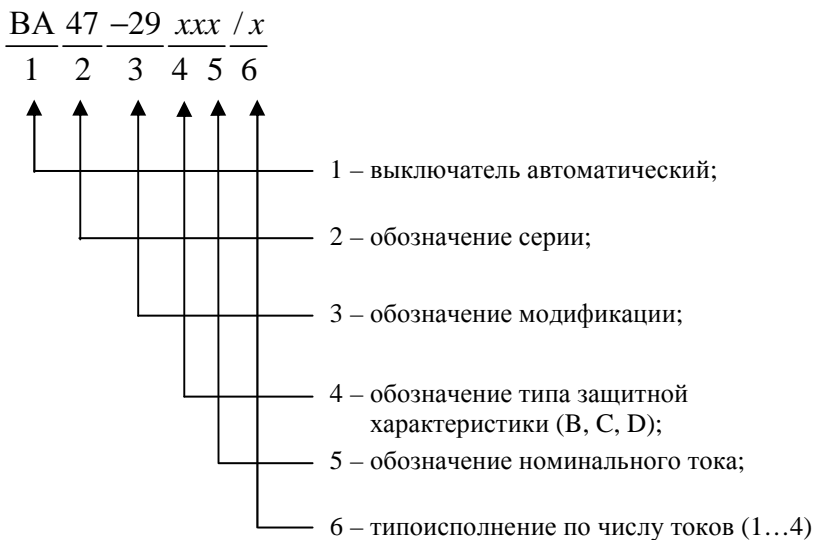
Условное обозначение автомата зависит от его серии. Широкое применение в электрических сетях нашли автоматы серий А3100, А3700, АВМ, АЕ, ВА и АП-50. Автоматы серии А3700 могут иметь полупроводниковые расцепители.

Рассмотрим назначение и характеристики исследуемого автоматического выключателя серии ВА47 модификации ВА47-29. Этот выключатель для защиты от сверхтоков торговой марки «ИЭК» предназначен для работы в трёхфазных или однофазных электрических сетях переменного тока с номинальным линейным напряжением не более 400 В частотой 50 Гц. Выключатели соответствуют ГОСТ 50345–99 и изготовлены по ТУ2000АГИЕ.641235.003ПС.

Выключатели выполняют функции автоматического отключения электроустановки при появлении сверхтоков (перегрузки или короткого замыкания) и оперативного тока управления участками электрических цепей.

Основная область применения выключателей: 1) распределительные щиты (РЩ); 2) групповые щитки (квартирные и этажные); 3) отдельные потребители электроэнергии.

Структура условного обозначения выключателя имеет следующий вид:



Основные характеристики выключателя приведены в табл. 10.1.

Диапазон токов срабатывания электромагнитного расцепителя выключателей приведён в табл. 10.2.

Времятоковые характеристики выключателя ВА 47-29С2 (характеристика С) приведена на рис. 10.2.

10.1. Основные характеристики выключателя ВА47-29

Наименование параметра		Значение
Число полюсов		1...4
Наличие защиты от сверхтоков в полюсах		Во всех полюсах
Номинальное рабочее напряжение переменного тока U _e , В	однополюсные	230/400
	2, 3, 4 полюсные	400
Номинальное рабочее напряжение постоянного тока на один полюс, не более, В		48
Номинальная частота Гц		50
Номинальный ток I _n , А		0,5; 1,6; 2,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальная отключающая способность I _{nc} , А		4500
Характеристика срабатывания от сверхтоков, тип		B, C, D
Времятоковые рабочие характеристики (см. п. 3.3) при контрольной температуре калибровки 30 °С	Тепловой расцепитель	1,13 In: $t_{cp} \geq 1$ часа – без расцепления 1,45 In: $t_{cp} < 1$ часа – расцепление 2,55 In: $1 \text{ с} < t_{cp} < 60 \text{ с}$ (при $I_n < 32 \text{ A}$) – расцепление $1 \text{ с} < t_{cp} < 120 \text{ с}$ (при $I_n > 32 \text{ A}$) – расцепление
	Электромагнитный расцепитель	B, C, D: $t_{cp} < 0,1 \text{ с}$
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее		20 000
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее		6000
Степень защиты ГОСТ 14254-96		IP20
Максимальное сечение провода присоединяемого к контактным зажимам, мм ²		25
Наличие драгоценных металлов: серебро, г/полюс		0,15 (до 25 А); 0,22 (25...63 А)
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69		УХЛ4
Индикация положения контактов		–
Режим работы		Продолжительный
Масса одного полюса, не более, кг		0,103

10.2. Диапазон токов срабатывания электромагнитного расцепителя выключателей ВА 47-29

Характеристики срабатывания от сверхтоков, тип	Диапазон
B	От $3I_n$ до $5I_n$ включительно
C	От $5I_n$ до $10I_n$ включительно
D	От $10I_n$ до $15I_n$ включительно

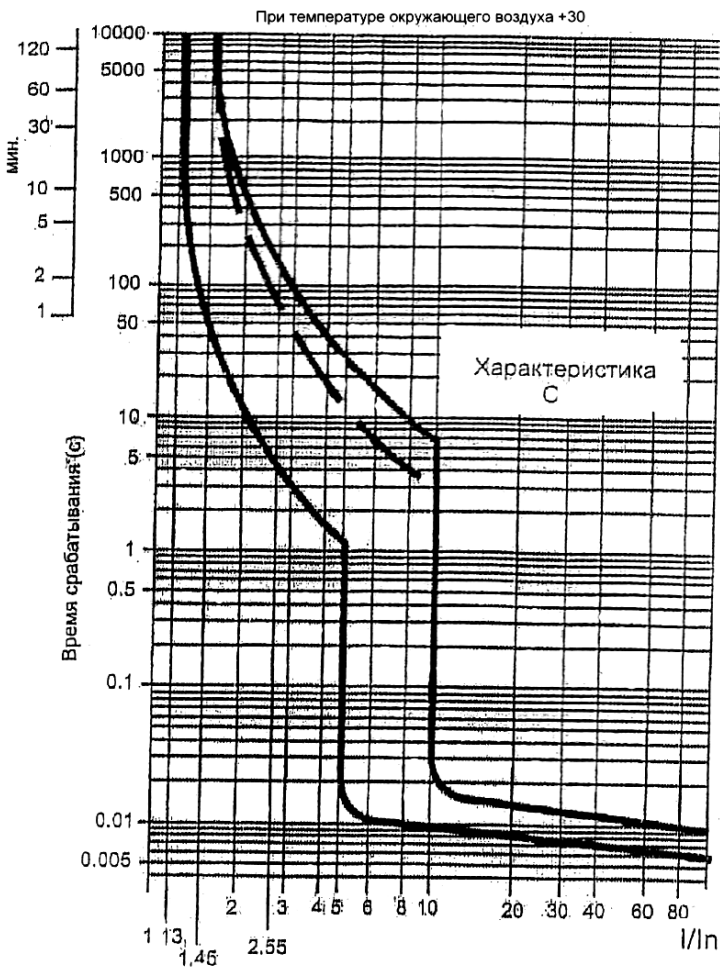


Рис. 10.2. Времятоковые характеристики выключателя ВА 47-29С2

Задание

1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторных работ. Заполнить таблицу по техническим данным применяемых электроизмерительных приборов.
2. Знать схему подключения установки и электронного секундомера (ЭС).
3. Получить данные для построения времятоковой характеристики конкретного выключателя ВА 47-29С2.
4. Построить защитную характеристику выключателя.
5. Составить отчёт о проделанной работе.
6. Сделать краткие выводы.

Подготовка к лабораторной работе

1. Повторить теоретический материал по теме «Автоматические воздушные выключатели».
2. Подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.
3. Повторить основные правила сборки электрических цепей и подключения электроизмерительных приборов.
4. Изучить методику выполнения лабораторной работы и соответствующие электрические схемы.
5. Подготовить таблицу «Технические данные электроизмерительных приборов», которую следуют заполнить при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и конструкциями автоматических воздушных выключателей, схемой внутренних соединений и техническими данными исследуемого автомата ВА 47-29С2 (см. «Основные сведения»).
2. Собрать цепь по электрической схеме, представленной на рис. 10.3. Она состоит из источника переменного напряжения, магазина сопротивлений (МС), установки для исследования автоматического выключателя и электронного секундомера (ЭС). Источник переменного напряжения включает в себя ЛАТР (ТВ), который входной обмоткой подключается к сети 220 В через выключатель SA, и нагрузочный трансформатор (ТА). Он обмоткой высшего напряжения (220 В) подключается к выходу ЛАТРа; к обмотке низшего напряжения ТА (12 В) присоединяется установка через магазин сопротивлений.

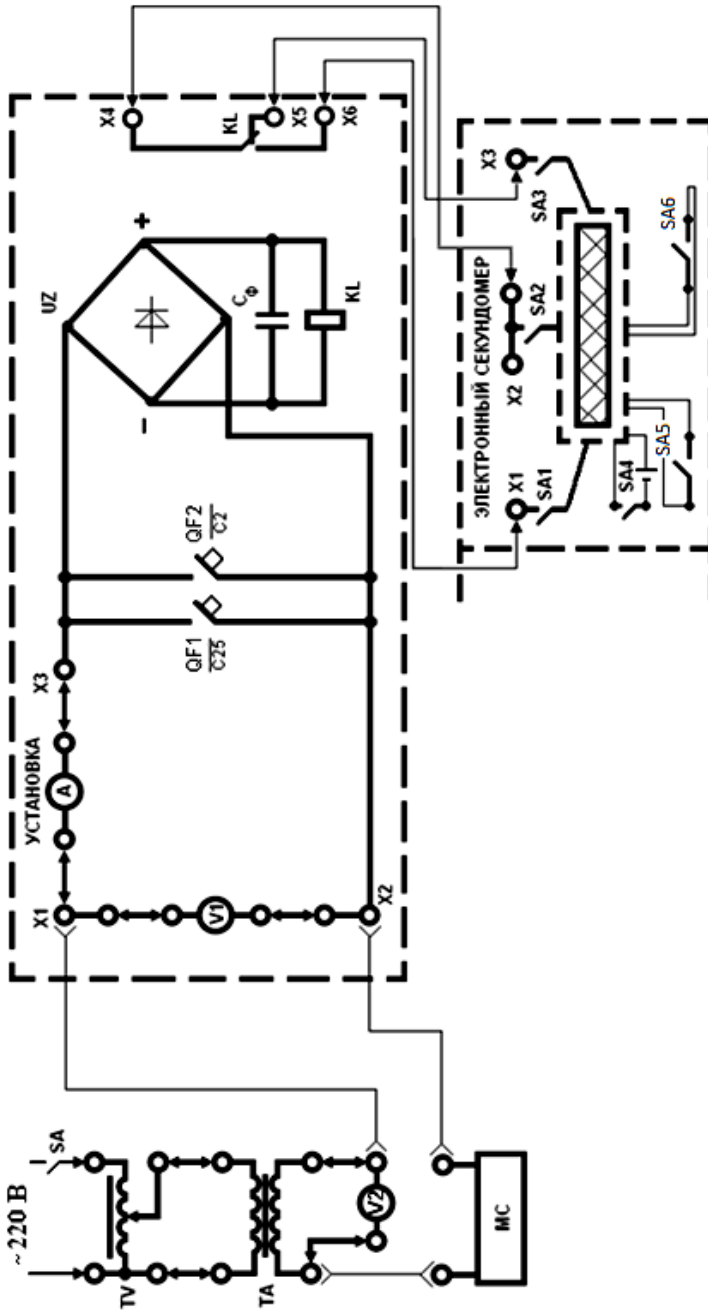


Рис. 10.3. Электрическая схема подключения установки для исследования автоматического выключателя

Установка для исследования автоматического выключателя состоит из трёх параллельных цепей: первая проходит через автомат QF1 (ВА 47-29С25); вторая – через исследуемый автомат QF2 (ВА 47-29С2), и третья – через выпрямительный мост UZ. С помощью первой цепи выставляется рабочий ток перегрузки по амперметру (А) для автомата QF2. Эту операцию производят с помощью ЛАТРа (плавно) и МС (грубо), причём напряжение на выходе сТА (контролируется по вольтметру V2) не должно быть ниже 8,5 В. Это значение напряжения определяется работой промежуточного реле KL, подключаемого к выпрямленному напряжению с моста UZ, так как ниже 8,5 В реле не срабатывает.

Таким образом, выставив рабочий ток перегрузки через QF1 и затем отключив его, включают автомат QF2 и проверяют его реакцию, т.е. определяют время срабатывания автомата на выставленный ток перегрузки. ЭС запускается (его тумблеры SA1, SA2 и SA3 необходимо включить после отключения QF1, но перед включением QF2!) при включении автомата QF2 (QF1 отключён!) с помощью реле KL, реагирующее на напряжение в разрыве цепи автоматами QF1 и QF2 одновременно (при отключённых автоматах реле срабатывает; если хотя бы один из них включён – возвращается в исходное состояние), при этом включение ЭС осуществляется замыканием переключающих контактов между клеммами X4, X5 установки. По истечении определённого времени автомат QF2 сработает (срабатывает его либо тепловой, либо электромагнитный расцепитель) и разорвет цепь; появившееся напряжение на выпрямителе UZ включит реле KL, и замкнутся его контакты между клеммами X4, X6, которые и остановят ЭС, фиксируя время срабатывания автомата. Далее производят обнуление показаний ЭС и проводят аналогичные операции, но уже при другом токе перегрузки. Работа ЭС описана в лабораторной работе 5 «Изучение магнитного испускателя». Вольтметр V1 контролирует напряжение на выключенных автоматах QF1 (U_{QF1}) или SF2 (U_{QF2}).

3. Измерить время срабатывания автомата QF2 от заданного тока перегрузки. Эксперимент проводится в два этапа, так как автомат серии ВА 47-29 имеет два расцепителя – тепловой и электромагнитный.

4. На первом этапе исследуется часть защитной характеристики автомата QF2, относящаяся к относительно большим интервалам времени срабатывания: единицы минут – десятки секунд. При этом рабочие токи перегрузки составляют (1,5...3,5) $I_{ном}$. Измерения при этом необходимо проводить в следующей последовательности:

4.1. Включить автомат QF1 и выставить первое значение тока порядка 3,0...3,4 А (держать его неизменным с помощью МС и ЛАТРа) и дать прогреться МС в течение 5 минут для температурной стабилизации его сопротивления, при этом напряжение на выходе трансформатора ТА должно быть не ниже 8,5 В, но не выше 13 В. Зафиксировать значения следующих величин по истечении времени прогрева: входного напряжения по вольтметру V2 ($U_{вх}$), ток через автомат QF1 (I_{QF1}), напряжение на автомате QF1 (U_{QF1}) по вольтметру V1, и занести их в табл. 10.3; ЭС отключён тумблерами SA1, SA2, SA3 на его блоке.

10.3. Данные для построения защитной характеристики для больших значений времени срабатывания

Токи перегрузки автомат QF2		Входное напряжение, $U_{вх}$, В	Напряжение и токи на автоматах QF1 и QF2				Время срабатывания автомата QF2 $t_{ср}$, мин
Относительные значения	Абсолютные значения, А		U_{QF1} , В	I_{QF1} , А	U_{QF2} , В	I_{QF2} , А	
1	2	3	4	5	6	7	8
$I_1/I_{НОМ} = 1,5...1,7$	3,0...3,4						
$I_2/I_{НОМ} = 2$	4						
$I_3/I_{НОМ} = 3$	6						
$I_4/I_{НОМ} = 3,5$	7						

4.2. Быстро отключить автомат QF1, включить ЭС (тумблерами SA1, SA2, SA3 на его блоке) и автомат QF2, установить ЛАТРоm такой же ток, как и через QF1: $I_{QF2} = I_{QF1}$; ЭС начинает отсчёт времени. Ток держать неизменным. Записать в табл. 10.3 значения I_{QF2} (ток через автомат QF2) и U_{QF2} (напряжение на автомате QF2).

4.3. После срабатывания QF2 записать в табл. 10.3 время срабатывания ($t_{ср}$), быстро отключить ЭС и включить автомат QF1, установить новый рабочий ток перегрузки. Держать включённой цепь 15 минут:

за это время тепловой расцепитель автомата QF2 успевает остыть, а сопротивление МС станет установившимся для выставленного тока перегрузки. Обнулить показания ЭС.

4.4. Провести аналогичные операции по измерению времени срабатывания автомата QF2 для остальных значений тока перегрузки, заполнив табл. 10.3.

5. На втором этапе измерений исследуется часть времятоковой характеристики автомата QF2, примыкающей к переходу работы теплового расцепителя к работе электромагнитного. Она характеризуется малыми отрезками времени срабатывания единицы секунд – доли секунды, и большими значениями тока перегрузки для автомата ВА 47-29С2 (см. рис. 10.2).

Особенностью этого этапа измерений является то, что время работы QF2 достаточно мало. Поэтому ток выставляется через QF1 с шагом 0,5 А, начиная с значения $I_{QF1} = 9,5$ А. При этом значение тока через автомат QF2 будут приблизительно на 1...2 А ниже. Прогрев МС производить в течение 5 минут, после чего следуют измерения.

6. Последовательность действий на втором этапе измерений:

6.1. После окончания первого этапа установить на автомате QF1 ток 9,5 А (I_{QF1}), и держать его неизменным 5 минут. Записать значение I_{QF1} , U_{QF1} , $U_{вх}$ в табл. 10.4.

10.4. Данные для построения защитной характеристикой для малых значений времени срабатывания

Ток через автомат QF1, I_{QF1}, A	$U_{вх}, B$	U_{QF1}, B	I_{QF1}, A	U_{QF2}, B	Относительное значение тока перегрузки автомата QF2, $I_{QF2}/I_{ном}$	$t_{ср}, c$
1	2	3	4	5	6	7
9,5						
10,0						
...						
15,0						

6.2. По истечении времени прогрева (выдержки) необходимо быстро отключить автомат QF1 вручную, включить ЭС и затем автомат QF2 – пошёл отсчёт времени.

6.3. Зафиксировать в момент срабатывания значения тока (I_{QF2}) и напряжения (U_{QF2}) на автомате QF2.

6.4. После срабатывания QF2 записать в табл. 10.4 время срабатывания (t_{cp}) и обнулить показания ЭС.

6.5. Снова быстро включить автомат QF1, сделать выдержку 5 минут до следующего измерения, установить другое значение тока перегрузки I_{QF1} ЛАТРОм (при необходимости использовать МС), $U_{вх} \geq 8,5$ В.

6.6. Последующие измерения проводить по приведённой схеме. Эксперимент прекратить при таком значении тока, когда автомат перестанет включаться (автомат «выбивает»), т.е. когда срабатывает мгновенный электромагнитный расцепитель и защитная характеристика вышла на значения токов КЗ (независимая часть).

7. Построить времятоковую (защитную) характеристику автомата QF2 – ВА 47-29С2, используя данные табл. 10.3 и 10.4, в одной координатной плоскости. По оси ординат откладывать абсолютные значения времени в логарифмическом масштабе ($\lg t_{cp}$), а по оси абсцисс – относительные значения токов перегрузки ($I_{QF1}/I_{ном}$). Для сравнения с паспортными данными полученной характеристики нанести пунктиром характеристики с рис. 10.2.

8. Рассчитать полные мощности и сопротивления автоматов QF1 и QF2 (последнего – на момент срабатывания). Результаты расчётов свести в табл. 10.5.

10.5. Результаты расчётов

Относительное значение тока перегрузки, $I_{QF2}/I_{ном}$	Автомат QF1		Автомат QF2	
	S, В·А	Z, Ом	S, В·А	Z, Ом
1	2	3	4	5
1,5...1,7				
2				
3				
3,5				
...				

9. По данным табл. 10.5 построить зависимости $S (I_{QF2} / I_{ном})$ и $Z (I_{QF2} / I_{ном})$ для автоматов QF1 и QF2.

10. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по выполненной работе.

Отчётный материал

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Перечень электроизмерительных приборов и оборудования.
3. Таблица технических данных электроизмерительных приборов.
4. Электрическая схема.
5. Заполненные табл. 10.3 – 10.5.
6. Графическая и расчётная части.
7. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение автоматических выключателей.
2. Понятие о времени срабатывания автомата.
3. Основные узлы автоматов и их назначение.
4. Функции и виды расцепителей.
5. Принцип гашения дуги в автомате.
6. Вид защитных характеристик теплового и электромагнитного расцепителей.
7. Основные параметры воздушных выключателей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА СЕРИИ M840, DT890B⁺, DT890C⁺, DT890D, DT-830B, M838

Указанные мультиметры предназначены для измерения постоянного и переменного токов, постоянного и переменного напряжений, сопротивления, параметров диодов и транзисторов, а также частоты и температуры.

На передней панели прибора расположены:

- 1) переключатель функций и диапазонов. Этот переключатель используется как для выбора функций и желаемого предела измерений, так и для выключения прибора (например, прибор серии DT-830B). В приборе серии M890G для включения и выключения предусмотрена специальная кнопка «AUTO OFF POWER». Для продления срока службы батареи переключатель (кнопка) должен быть в положении «OFF», когда прибор не используется;
- 2) дисплей;
- 3) разъём «COMMON» (общий). Разъём для чёрного (отрицательного) провода – щупа;
- 4) разъёмы «V/Ω/f», «mA», «20 A»; разъёмы для красного (положительного) провода – щупа.

Измерение постоянного напряжения:

- 1) подключить красный щуп к входу «V, Ω, mA» или «V/Ω/f», а чёрный к «COM»;
- 2) установить переключатель пределов измерений на требуемый предел DC V; если измеряемое напряжение заранее неизвестно установить переключатель на наибольший предел, а затем уменьшить до тех пор, пока не получите необходимую точность измерений;
- 3) подсоединить щупы к исследуемой схеме или устройству;
- 4) включить питание исследуемой схемы или устройства, на дисплее возникнут полярность и значение исследуемого напряжения.

Измерение переменного напряжения:

- 1) подключить красный щуп к входу «V, Ω, mA» или «V/Ω/f», а чёрный к «COM»;

2) установить переключатель пределов измерений на требуемый предел АС V;

3) подсоединить щупы к исследуемой схеме или устройству;

4) считать показания с дисплея.

Измерение постоянного тока:

1) подключить красный щуп к входу «V, Ω, mA» или «mA», а чёрный на вход «COM»; для измерений в диапазоне между 200 mA и 10 (20) A красный щуп подсоединить к входу «10 (20) A»;

2) переключатель пределов установить на требуемый предел DC A;

3) разомкнуть исследуемую цепь и подсоединить щупы прибора последовательно с нагрузкой, в которой измеряется ток;

4) считать показания с дисплея.

Измерение переменного тока:

1) подключить красный щуп на вход «mA» или «10 (20) A», а чёрный на вход «COM»;

2) переключатель пределов установить на требуемый предел АС A;

3) разомкнуть исследуемую цепь и подсоединить щупы прибора последовательно с нагрузкой, в которой измеряется ток;

4) считать показания с дисплея.

Измерение сопротивлений:

1) подключить красный щуп на вход «V, Ω, mA» или «V/Ω/f», а чёрный на вход «COM»;

2) переключатель пределов установить на требуемый предел измерения Ω;


3) если измеренное сопротивление находится в цепи, то перед измерениями выключить питание цепи и разрядить все конденсаторы;

4) если значение измеряемого сопротивления превышает максимальное значение диапазона, на котором проводится измерение, индикатор высветит «1»; выбрать больший предел измерений. Для сопротивлений 1 МОм и выше время установлений показаний составит несколько секунд. Это нормально для измерения больших сопротивлений. Когда цепь разомкнута, на дисплее будет показана «1»;

5) считать показания с дисплея.

Диодный тест:

1) подключить красный щуп на вход «V, Ω, mA» или «V/Ω/f», а чёрный на вход «COM»;

2) переключатель пределов установить в положение «»;

3) подсоединить красный щуп к аноду, а чёрный щуп к катоду исследуемого диода;

4) на дисплее появится значение величины прямого падения напряжения на диоде в мВ; если диод включён наоборот, то на дисплее будет «1».

Измерение температуры (M838, DT890C⁺):

1) установить переключатель функций в положение «TEMP» или «°t», на дисплее появится значение комнатной температуры со значком °C;

2) подключить термопару К-типа к входам «V, Ω, mA» и «COM» или к специальному разъёму прибора;

3) плотно прижать термопару к измеряемому объекту;

4) считать показания с дисплея в °C.

Звуковая прозвонка:

1) подключить красный щуп на вход «V, Ω, mA» или «V/Ω/f», а чёрный на вход «COM»;

2) установить переключатель диапазонов в положение « d)»;

3) подсоединить щупы к двум точкам исследуемой цепи; если сопротивление между точками меньше 1 кОм (30 Ом), то раздастся звуковой сигнал.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОТЧЁТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

Кафедра «Электрооборудование и автоматизация»

Лабораторная работа № ____

(название лабораторной работы)

140211

Дисциплина «Электрические аппараты»

Группа _____

Студент

(личная подпись)

(ФИО)

(дата)

Преподаватель

(личная подпись)








(ФИО)

(дата)


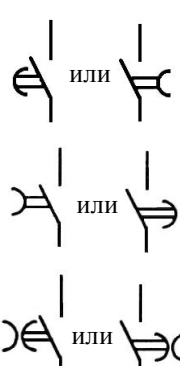
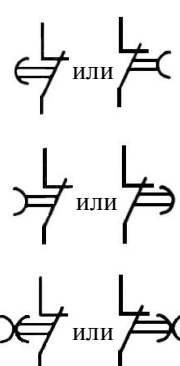
Тамбов – 2012


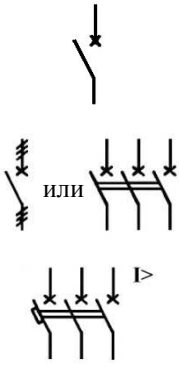


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

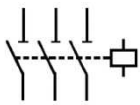

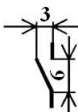
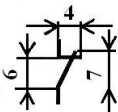
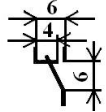
ПЗ.1. Обозначения условные графические в электрических схемах.
Устройства коммутационные и контактные соединения

Наименование	Обозначение
<i>Квалифицирующие символы, поясняющие принципы работы коммутационных устройств</i>	
1. Функция: контактора выключателя разъединителя Выключателя-разъединителя	
2. Автоматическое срабатывание	
3. Функция путевого или концевого выключателя	
4. Самовозврат	
5. Отсутствие самовозврата	
6. Дугогашение	
<i>Примечание.</i> Обозначения, приведённые в п. 1, 4 – 6 таблицы, помещают на неподвижных контакт-деталях, а обозначения – п. 2, 3 – на подвижных контакт-деталях	
Контакты коммутационного устройства:	
замыкающий	
размыкающий	
переключающий	
переключающий с нейтральным центральным положением	

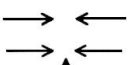



Наименование	Обозначение
<i>Примеры построения обозначений контактных соединений</i>	
Контакт контактора:	
замыкающий	
размыкающий	
замыкающий дугогасительный	
размыкающий дугогасительный	
замыкающий с автоматическим срабатыванием	
Контакт:	
выключателя	
разъединителя	
выключателя-разъединителя	

Наименование	Обозначение
<p>Контакт концевого выключателя:</p> <p>закрывающий</p> <p>размыкающий</p>	
<p>Контакт замыкающий с замедлением, действующим:</p> <p>при срабатывании</p> <p>при возврате</p> <p>при срабатывании и возврате</p>	
<p>Контакт размыкающий с замедлением, действующим:</p> <p>при срабатывании</p> <p>при возврате</p> <p>при срабатывании и возврате</p>	

Наименование	Обозначение
<p>Контакт замыкающий нажимного кнопочного выключателя без самовозврата, с размыканием и возвратом элемента управления:</p> <p>автоматически</p> <p>посредством вторичного нажатия кнопки</p> <p>посредством вытягивания кнопки</p>	
<p>Примеры построения обозначений контактов двухпозиционных коммутационных устройств</p>	
<p>Контакт замыкающий выключателя:</p> <p>однополюсного</p> <p>трёхполюсного</p> <p>трёхполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока</p>	
<p>Разъединитель трёхполюсный</p>	
<p>Выключатель-разъединитель</p>	


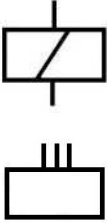
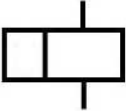
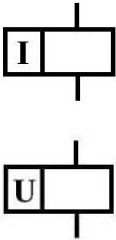
Наименование	Обозначение
Выключатель электромагнитный (реле)	
Перемычка коммутационная на размыкание	
Размеры	
Контакт коммутационного устройства:	
закрывающий	
размыкающий	
переключающий	

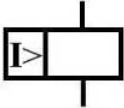
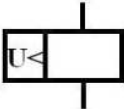
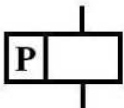
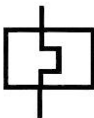
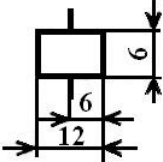
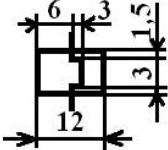
ПЗ.2. Обозначения условные графические в схеме. Разрядники, предохранители

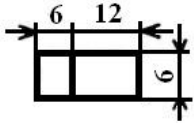
Наименование	Обозначение
Искровой промежуток: двухэлектродный (общее обозначение)	
трёхэлектродный	
Разрядник (общее обозначение)	
<i>Примечание.</i> Если необходимо уточнить тип разрядника, то применяют следующие обозначения:	
разрядник вентильный и магнитовентильный	

Наименование	Обозначение
разрядник шаровой	
Предохранитель пробивной	
Предохранитель плавкий (общее обозначение)	
<i>Примечание.</i> Допускается в обозначении предохранителя указывать утолщённой линией сторону, которая остаётся под напряжением	
Выключатель-предохранитель	
Разъединитель-предохранитель	
Выключатель-разъединитель	
Предохранитель плавкий ударного действия	
Выключатель трёхфазный с автоматическим отключением любым из плавких предохранителей ударного действия	


**ПЗ.3. Обозначения условные графические в электрических схемах.
 Воспринимающая часть электромеханических устройств.
 Реле защиты**

Наименование	Обозначение
<i>Воспринимающая часть электромеханических устройств</i>	
Катюшка электромеханического устройства:	 <p style="text-align: center;">или</p>
с одной обмоткой трёхфазного тока	
Катюшка электромеханического устройства с дополнительным графическим полем	
Катюшка электромеханического устройства с указанием вида обмотки:	

Наименование	Обозначение
обмотка максимального тока	
обмотка минимального напряжения	
Катушка поляризованного реле	
Воспринимающая часть электротеплового реле	
Размеры	
Катушка электромеханического реле	
Воспринимающая часть электротеплового реле	

Наименование	Обозначение
Катушка электромеханического устройства с дополнительным полем	

Реле защиты, комплект реле

Общее обозначение	
-------------------	---

Примечания.

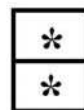
1. Звёздочку заменяют одним или более квалифицирующим символом, характеризующим вид реле (комплекта реле), помещенным в следующей последовательности: техническая характеристика измерительного реле и вид её изменения, направление энергии, диапазон уставок, срабатывание с выдержкой времени. Допускается помещать диапазоны уставок и/или другие данные вне прямоугольника.

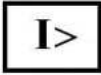








2. Общее обозначение можно дополнить цифрой, определяющей число измерительных элементов.







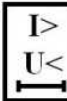
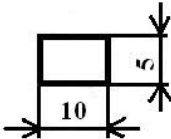
3. Высота обозначения зависит от объёма информации, определяющей вид реле или комплект реле.

4. Поле прямоугольника допускается разделять горизонтальными линиями на поля, содержащие информацию, касающуюся отдельных реле (элементов), комплекта реле.





5. Квалифицирующие символы приведены в ГОСТ 2.767–89



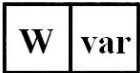
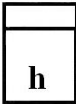

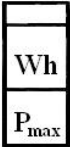
Наименование	Обозначение
Примеры условных графических обозначений	
Реле максимального тока	
Реле максимального тока с выдержкой времени	 или 
Реле максимального тока с зависимой от тока выдержкой времени	
Реле токовой отсечки	
Реле, срабатывающее в определённом диапазоне тока	
Реле максимального напряжения	
Реле минимального напряжения	
Реле нулевое (срабатывающее при потере напряжения)	





Наименование	Обозначение
	
Реле симметричных составляющих	
	
Реле тока, срабатывающее при замыкании на землю	
Реле активной мощности	
Реле сопротивления	
Комплект реле: реле максимального тока, реле минимального напряжения, реле времени с независимой от тока выдержкой времени	
Размеры	

ПЗ.4. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные





Наименование	Обозначение
<p>Прибор электроизмерительный:</p> <p>показывающий</p> <p>регистрирующий</p> <p>интегрирующий (например, счётчик электрической энергии)</p>	  
<p><i>Примечания.</i></p> <p>1. При необходимости изображения нестандартизованных электроизмерительных приборов следует использовать сочетания соответствующих основных обозначений, например, комбинированный прибор (показывающий и регистрирующий).</p> <p>2. Для указания назначения электроизмерительного прибора в его обозначение вписывают условные графические обозначения, установленные ЕСКД, а также буквенные обозначения единиц измерения или измеряемых единиц, которые помещают внутри графического обозначения электроизмерительного прибора</p>	

Наименование	Обозначение
Обозначения приборов	
Амперметр	A
Вольтметр	V
Вольтметр дифференциальный	ΔV
Вольтамперметр	VA
Ваттметр	W
Ваттметр суммирующий	ΣW
Варметр	var
Микроамперметр	μA
Миллиамперметр	mA
Милливольтметр	mV
Омметр	Ω
Мегомметр	M Ω
Частотометр	Hz
Волномер	V
Фазометр:	
измеряющий сдвиг фаз	φ
измеряющий коэффициент мощности	cos φ
счётчик ампер-часов	Ah
счётчик ватт-часов	Wh

Наименование	Обозначение
счётчик вольт-ампер-часов реактивный	varh
термометр, пирометр	t°
индикатор полярности	±
<i>Примечание.</i> В обозначения электроизмерительных приборов допускается вписывать необходимые данные согласно действующим стандартам на электроизмерительные приборы	
Самопишущий комбинированный ваттметр и варметр	
Индикатор максимальной активной мощности, имеющий обратную связь с ваттметром	
Счётчик времени	
Счётчик ватт-часов, измеряющий энергию, передаваемую в одном направлении	
Счётчик ватт-часов с регистрацией максимальной активной мощности	


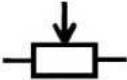


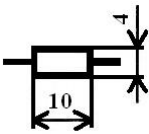
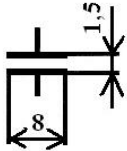

Наименование	Обозначение
<i>Примечание.</i> При изображении обмоток измерительных приборов разнесённым способом используют следующие обозначения:	
токовая	
напряжения	
Обмотки в схемах измерительных приборов, отражающих их взаимное расположение в измерительном механизме:	
обмотка токовая	
обмотка напряжения	

Примеры


Механизм измерительный:	
Амперметр однообмоточный	
Вольтметр однообмоточный	
Ваттметр однофазный	
Ваттметр трёхфазный одноэлементный с двумя токовыми обмотками	

Примечание. Выводные контакты обмоток допускается не изображать, если это не приводит к недоразумению

ПЗ.5. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы, токосъёмники

Наименование	Обозначение
Резисторы, конденсаторы	
Резистор постоянный	
Резистор переменный	
<i>Примечания.</i>	
1. Стрелкой обозначается подвижный контакт.	
2. Неиспользованный вывод допускается не изображать	
Конденсатор постоянной мощности	
<i>Примечание.</i> Для указания поляризованного конденсатора используют обозначение	
Размеры	
Резистор	
Конденсатор	
Токосъёмники	
Токосъёмник троллейный	





**ПЗ.6. Обозначения условные графические в схемах.
Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы,
автотрансформаторы, магнитные усилители**





Наименование	Обозначение	
	Форма 1	Форма 2
Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя, магнитного усилителя		

Примечания.







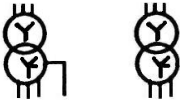
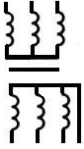

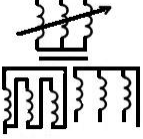
1. Число полуокружностей в изображении обмотки и направление выводов не устанавливаются.




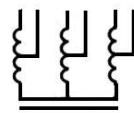

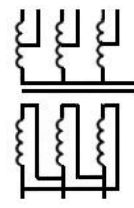


2. При изображении магнитных усилителей, трансдукторов разнесённым способом используются следующие обозначения:

рабочая обмотка		
управляющая обмотка		
магнитопровод		
3. Для указания начала обмотки используется точка		

Магнитопровод:		
ферромагнитный		
ферромагнитный с воздушным зазором		
ферритовый (изображают толстой линией)		
магнитодиэлектрический		

Примечание. Число штрихов в обозначении магнитопровода не устанавливается

Наименование	Обозначение	
	Форма 1	Форма 2
Катушка индуктивности		
Реактор. Обозначение устанавливается для схем энергоснабжения		
Дроссель с ферромагнитным магнитопроводом		
Трансформатор без магнитопровода		
Трансформатор с магнито-диэлектрическим магнитопроводом		
Трансформатор трёхфазный с ферромагнитным магнитопроводом с соединением обмоток звезда-звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой	 или	
Трансформатор трёхфазный трёхобмоточный с ферромагнитным магнитопроводом с соединением обмоток звезда с регулированием под нагрузкой – треугольник-звезда с выведенной нейтралью		

Наименование	Обозначение	
	Форма 1	Форма 2
Автотрансформатор однофазный с регулированием напряжения		
Автотрансформатор трёхфазный с ферромагнитным магнитопроводом с соединением обмоток в звезду		
Автотрансформатор трёхфазный с ферромагнитным магнитопроводом с соединением обмоток в звезду с выведенной нейтралью и третичной обмоткой, соединённой в треугольник		
Трансформатор тока: с одной вторичной обмоткой		

Наименование	Обозначение	
	Форма 1	Форма 2
с одним магнитопроводом и двумя вторичными обмот- ками		
с двумя магнитопроводами и двумя вторичными обмот- ками		
Трансформатор напряжения измерительный		
Трансформатор напряжения измерительный с двумя вто- ричными обмотками		

**ПРИМЕРЫ БУКВЕННЫХ КОДОВ ДЛЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ**

**П4.1. Буквенные коды,
определяющие вид электрических элементов**

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры электрических элементов	Двухбуквенный код
А	Устройства (общее обозначение)	Усилители, приборы телеуправления, лазеры, мазеры	
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот, аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговоритель Магнитострикционный элемент Детектор ионизирующих излучений Сельсин – приёмник Телефон (капсуль) Сельсин – датчик Тепловой датчик	ВА ВВ ВД ВЕ ВF ВС ВК
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот, аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукосниматель Датчик скорости	ВL ВМ ВР ВQ ВR BS BV
С	Конденсаторы		

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры электрических элементов	Двухбуквенный код
D	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная цифровая, логический элемент Устройство хранения информации Устройство задержки	DA DD DS DT
E	Элементы разные (осветительные устройства, нагревательные элементы)	Нагревательный элемент Лампы осветительные Пиропатрон	EK EL T
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия Дискретный элемент защиты по току инерционного действия Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FA FP FU FV
G	Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор световой сигнализации	HA HG HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	KA KH KK KM KT KV

Продолжение табл. 4.1

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры электрических элементов	Двухбуквенный код
L	Катушка индуктивности, дроссели	Дроссели люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели постоянного и переменного тока		
P	Приборы, измерительное оборудование (сочетание PE применять не допускается)	Амперметр Счётчик импульсов Частотометр Счётчик активной энергии	PA PC PF PI
P	Приборы, измерительное оборудование (сочетание PE применять не допускается)	Счётчик реактивной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени действия Вольтметр Ваттметр	PK PR PS PT PV PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	QF QK QS
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор	RK RP RS RU

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры электрических элементов	Двухбуквенный код
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительные (Обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей)	Выключатель или переключатель	SA
		Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматический	SF
		Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
		уровня;	SL
		давления;	SP
положения (путевой);	SQ		
частоты вращения;	SR		
температуры	SK		
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Электромагнитный стабилизатор	TS
		Трансформатор напряжения	TV
U	Устройства связи Преобразователи электрических величин в электрические	Модулятор	UB
		Демодулятор	UR
		Преобразователь частотный, генератор частоты, выпрямитель	UI
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон	VD
		Прибор электровакуумный	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры электрических элементов	Двухбуквенный код
W	Линии и элементы СВЧ	Ответвитель Короткозамыкатель Вентиль	WE WK WS
	Антенны	Трансформатор, неоднородность, фазовозвращатель Аттенюатор Антенна	WT WU WA
X	Соединения контактные	Токосъёмник, контакт скользящий Штырь	XA XP
X	Соединения контактные	Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный	XS XT XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом Электромагнитный патрон или плита	YA YB YC YH
Z	Устройства конечные, фильтры, ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ

ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Человек является проводником электрического тока, и его электрическое сопротивление зависит от состояния кожного покрова (тонкая, грубая, сухая, потная кожа и т.д.), душевного состояния человека и других факторов. Среднее значение электрического сопротивления человеческого тела находится в пределах 100...200 000 Ом. При неблагоприятных условиях (мокрая кожа; влажный, токопроводящий пол и т.д.) значение его сопротивления может уменьшиться до 100 Ом и ниже.

Человеческий организм способен пропускать через себя без опасных последствий незначительные токи. Поэтому их возрастание свыше допустимых значений может привести к тяжёлым последствиям. Установлено, что при токах в 0,01...0,02 А у человека появляются болезненные судороги. Токи в 0,05...0,1 А опасны для человека, а свыше 0,1 А их можно считать смертельными.

Поражение людей электрическим током может произойти как при высоком, так и при низком напряжении. При этом большое значение имеют окружающие условия.

Прикосновение человека к токоведущим частям вызывает судорожное сокращение мышц пострадавшего. Поэтому пострадавший не может самостоятельно освободиться от действия тока. Если после поражения электрическим током пострадавший находится в соприкосновении с частями, находящимися под напряжением, его необходимо освободить от действия тока, соблюдая меры предосторожности, так как оказывающий помощь сам может попасть под напряжение.

Освобождение пострадавшего от действия тока

Для освобождения пострадавшего от действия тока необходимо немедленно отключить ту часть установки, к которой прикоснулся пострадавший. Если отключение электрической установки нельзя произвести быстро, необходимо отделить пострадавшего от частей, находящихся под напряжением. Для этого можно воспользоваться сухой доской или палкой, сухой одеждой или другими токонепроводящими предметами для воздействия либо на токоведущую часть, либо на пострадавшего с целью обеспечения разрыва цепи тока. При освобождении пострадавшего от действия тока надо избегать прикосновения

к окружающим предметам и частям тела пострадавшего, не покрытым одеждой. Не следует также прикасаться к обуви пострадавшего, находящегося под напряжением, так как она может оказаться токопроводящей.

Необходимо пользоваться резиновыми перчатками, галошами и другими защитными средствами. Для отделения пострадавшего от токоведущих частей при низком напряжении (до 250 В) можно воспользоваться, например, сухой доской, подсунув её под тело пострадавшего и изолировав таким образом его от токоведущих частей. При необходимости для разрыва цепи тока, протекающего через пострадавшего, можно воспользоваться острым изолированным инструментом (ножом, топором и т.д.).

Меры первой помощи

Поражённого электрическим током укладывают на спину, на валик из одежды, чтобы голова откинулась назад, а шея вместе с подбородком составляла примерно прямую линию. Оказывающий помощь становится на колени сбоку от пострадавшего, удерживая одной рукой его голову в запрокинутом назад положении и слегка оттягивая её другой рукой книзу. На рот пострадавшего накладывается кусочек марли или бинта, затем оказывающий помощь делает глубокий вдох и, прижав через марлю свои губы ко рту пострадавшего, с усилием вдвывает ему в легкие выдыхаемый воздух. При этом происходит вдох. При выдохе оказывающий помощь отводит свою голову и оттягивает одной рукой нижнюю губу пострадавшего. При этом выдыхаемый воздух выходит из легких пострадавшего. Искусственное дыхание можно производить аналогичным образом, подавая воздух через нос пострадавшего. При этом частота вдохов и выдохов должна соответствовать частоте дыхания человека (10 – 20 раз/мин).

Искусственное дыхание необходимо делать до тех пор, пока пострадавший не начнет дышать самостоятельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2005.
2. Чунихин, А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – М. : Энергоатомиздат, 1988.
3. Казаков, В.А. Электрические аппараты / В.А. Казаков. – М. : ИП РадиоСофт, 2009.
4. Жукова, Г.А. Лабораторные работы по электрическим аппаратам / Г.А. Жукова, М.А. Золина. – М. : Высшая школа, 1986.
5. Электрические аппараты : лабораторные работы / В.В. Афонин, К.А. Набатов, И.Н. Акулинин, А.К. Паньков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005.
6. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФА-М, 2009.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
1. Правила внутреннего распорядка и техники безопасности при выполнении лабораторных работ	5
2. Подготовка к лабораторным работам	6
3. Сборка и включение электрической цепи	7
4. Выполнение лабораторной работы	8
5. Подбор электроизмерительных приборов	9
6. Оформление отчёта по лабораторным работам	10
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	13
Лабораторная работа 1. Исследование нагревания катушек электри- ческих аппаратов	13
Лабораторная работа 2. Изучение зависимости переходного сопро- тивления от контактного нажатия и материала контакта	22
Лабораторная работа 3. Снятие механической характеристики элект- рического аппарата	31
Лабораторная работа 4. Снятие тяговой характеристики электромаг- нита постоянного тока	37
Лабораторная работа 5. Изучение магнитного пускателя	46
Лабораторная работа 6. Изучение электромагнитного реле тока	66
Лабораторная работа 7. Изучение электромагнитного реле времени ...	80
Лабораторная работа 8. Изучение теплового реле	90
Лабораторная работа 9. Изучение плавких предохранителей	100
Лабораторная работа 10. Изучение автоматического воздушного выключателя	109
ПРИЛОЖЕНИЯ	123
Приложение 1. Руководство по эксплуатации цифрового мультиметра серии M840, DT890B ⁺ , DT890C ⁺ , DT890D, DT-830B, M838	123
Приложение 2. Титульный лист отчёта по лабораторной работе	126
Приложение 3. Условные обозначения в электрических схемах	127
Приложение 4. Примеры буквенных кодов для обозначения элементов электрических схем	147
Приложение 5. Первая помощь при поражении электрическим током	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	154

Учебное издание

АФОНИН Владимир Васильевич,
НАБАТОВ Константин Александрович,
АКУЛИНИН Игорь Николаевич,
РОЖНОВА Лидия Ивановна

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Лабораторный практикум

Редактор З.Г. Чернова
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. Зотова

Подписано в печать 20.03.2012
Формат 60 × 84/16. 9,07 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 107

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14