

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Лабораторный практикум  
для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»,  
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»  
и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Минск  
БНТУ  
2011

УДК 621.31.027.2 (076.5)

ББК 31.264я7

Э 45

Составитель  
*В.Н. Сацукевич*

Рецензенты:  
*М.И. Фурсанов, В.Н. Мазуркевич*

Э 45      Электрические аппараты: лабораторный практикум для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» / сост. В.Н. Сацукевич. – Минск: БНТУ, 2011. – 68 с.

Лабораторный практикум предназначен для студентов дневной и заочной форм обучения и соответствует учебным программам курса «Электрические аппараты» для специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы». Лабораторные работы позволяют студентам лучше усвоить основные разделы курса «Электрические аппараты» и приобрести определенные практические навыки в работе, обслуживании и наладке электрических аппаратов.

## В в е д е н и е

Лабораторный практикум содержит описание восьми лабораторных работ, семь из которых расположены на лабораторных стендах, разработанных сотрудниками научно-технического предприятия «Центр». Одна лабораторная работа, посвященная изучению магнитных усилителей, расположена на отдельном стенде. Приведенные лабораторные работы охватывают основные аппараты низкого напряжения, изучаемые в курсе «Электрические аппараты» для названных в титуле специальностей. При написании лабораторного практикума использована информация, приведенная в методических указаниях по выполнению лабораторных работ на стенде «Электрические аппараты» НТП «Центр». Назначение лабораторных работ заключается в том, чтобы ознакомить студентов с основными типами низковольтных аппаратов, широко применяемых на производстве, изучить их устройство, принцип действия и приобрести навыки в снятии основных характеристик. В процессе изучения лабораторных работ студент должен научиться читать и собирать электрические схемы, анализировать их работу и развивать инженерный подход к изучаемым вопросам.

Каждая лабораторная работа содержит: цель работы, т. е. вопросы, которые необходимо изучить; методические указания – сведения теоретического и практического характера, поясняющие принцип действия аппарата; план выполнения работы показывает, в какой последовательности необходимо выполнять данную работу, какие собирать схемы и снимать характеристики; содержание отчета – какие вопросы должны быть отражены в отчете; контрольные вопросы ориентируют студента в нужном направлении и помогают в проработке теоретических вопросов.

В конце практикума приведена основная литература, необходимая при подготовке к выполнению лабораторных работ.

## *Лабораторная работа № 1*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ**

#### *Цель работы*

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими данными низковольтных предохранителей типов ПР-2, ПН-2, НПН-63.
2. Снять времятоковую характеристику плавкой вставки и сравнить ее с расчетной.

#### *Методические указания*

**Плавкий предохранитель** – это электрический аппарат, предназначенный для защиты электрических цепей от токовых перегрузок и токов короткого замыкания. Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая последовательно с защищаемой цепью, и корпус предохранителя с дугогасительным устройством.

По конструктивному исполнению предохранители могут быть разборными (например ПР-2, ПН-2) и неразборными (НПН-63), с наполнителем или без него. В качестве наполнителя в предохранителях используется кварцевый песок. В предохранителях с наполнителем дуга гасится в канале, образованном песчинками кварцевого песка, а в предохранителях без наполнителя – вследствие высокого давления газов в корпусе.

Материалы для плавких вставок должны иметь малое удельное сопротивление, небольшую температуру плавления и, кроме того, 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, окислы серебра имеют электропроводность, близкую к электропроводности чистого серебра, что обуславливает высокую стабильность пограничных токов серебряных вставок. Температура

плавления серебра 960 °С. В предохранителях с медными или серебряными вставками при небольших токах перегрузки, когда температура плавкой вставки достигает больших значений, но меньших, чем ее температура плавления, возможен значительный нагрев контактов и корпуса предохранителя и их 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 вставки током перегрузки шарик плавится и растворяет в себе металл вставки, что приводит в конечном счете к изменению сечения вставки и ее расплавлению в этом месте. Металлургический эффект способствует заметному снижению времени перегорания вставок при небольших токах перегрузки.

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

Основными параметрами предохранителей являются:

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

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

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

Полное время отключения цепи предохранителем  $t_{\text{откл}}$  складывается из времени нагрева вставки до температуры плавления  $t_{\text{нагр}}$ , времени перехода из твердого состояния в жидкое  $t_{\text{пл}}$  (время плавления) и времени горения  $t_{\text{дуги}}$  (гашения) дуги:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{нагр}} + t_{\text{пл}} + t_{\text{дуги}}.$$

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

Предохранитель будет защищать объект лишь в том случае, если его времятоковая характеристика (кривая 1) располагается несколько ниже времятоковой характеристики, защищаемого объекта (кривая 2) при любом значении тока в цепи (рис. 1.1).

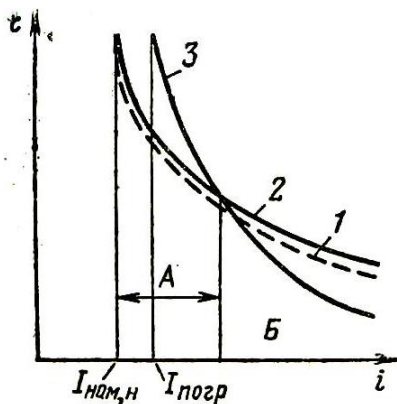


Рис. 1.1

Однако реальная характеристика предохранителя (кривая 3) пересекает кривую 2. Если характеристика предохранителя будет соответствовать кривой 1, то он будет перегорать при пуске двигателя или из-за старения плавкой вставки. Поэтому ток плавления вставки выбирается больше номинального тока нагрузки  $I_{ном.н}$ . При этом кривые 2 и 3 пересекаются. В области больших перегрузок (область Б) предохранитель защищает объект. В области А предохранитель объект не защищает.

Крутизна защитной характеристики предохранителя определяет быстрдействие срабатывания предохранителя и, следовательно, надежность защиты.

Наибольший ток, при котором вставка предохранителя не перегорает в течение длительного времени (более 1 ч), называют пограничным или плавящим током  $I_{погр}$ .

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 быстрдействия защиты, созданы специальные быстрдействующие 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.

Каждый тип предохранителя изготавливают на определенный номинальный наибольший ток, а номинальные токи плавких вставок к

нему могут иметь несколько значений. Так, например, предохранитель НПН-63 на номинальный ток 63А комплектуется плавкими вставками на токи: 6, 10, 16, 20, 25, 31, 40 и 63 А. Предохранитель НПН-63 представляет собой стеклянный цилиндр, заполненный кварцевым песком. Внутри предохранителя находится медная плавкая вставка. Предохранитель является неразборным и после перегорания плавкой вставки подлежит утилизации.

Предохранитель ПР-2 является разборным предохранителем (рис. 1.2), корпус которого выполнен из фибры. Предохранители на токи от 15 до 60 А имеют упрощенную конструкцию [1]. Плавкая вставка 1 прижимается к латунной обойме 4 колпачком 5, который является внешним контактом (рис. 1.2, а) предохранителя. Плавкая вставка 1 штампуется из цинка, являющегося легкоплавким и стойким к коррозии материалом. Показанная на рис. 1.2, в форма плавкой вставки позволяет получить благоприятную времятоковую характеристику предохранителя. В предохранителе ПР-2 на токи более 60 А плавкая вставка 1 присоединяется к контактным ножам 2 с помощью болтов (рис. 1.2, б). С контактными ножами жестко связаны диски 6. Вставка располагается в герметичном трубчатом патроне, который состоит из фибрового цилиндра 3, латунной обоймы 4 и латунного колпачка 5.

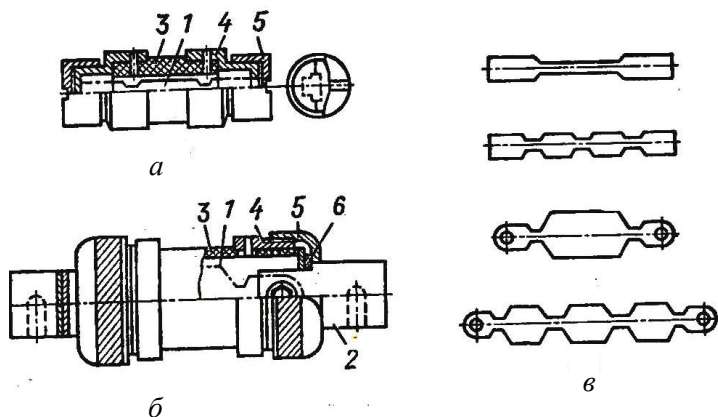


Рис. 1.2

При срабатывании предохранителя сгорают суженные перешейки плавкой вставки и возникает электрическая дуга. Под действием вы-

сокой температуры дуги фибровые стенки дуги выделяют газ, в результате чего давление в патроне за доли полупериода возрастает до 4–8 МПа. За счет увеличения давления поднимается вольт-амперная характеристика дуги, что способствует ее быстрому гашению. Плавкая вставка может иметь от одного до четырех сужений (рис. 1.2, в) в зависимости от номинального напряжения [1]. Суженные участки вставки способствуют быстрому ее плавлению при коротком замыкании и создают эффект токоограничения. Дуга гасится за 0,002 с. Однако надо знать, что чем больше номинальный ток плавкой вставки, тем меньше эффект токоограничения. При токе 600 А токоограничение отсутствует, так как дуга горит весь полупериод.

Предохранители ПН-2 – это предохранители с мелкозернистым наполнителем, и они являются более совершенными, чем предохранители ПР-2. Корпус предохранителя ПН-2 квадратного сечения 7 (рис. 1.3) изготавливается из прочного фарфора или стеатита [1]. Внутри корпуса расположены ленточные плавкие вставки 2 и наполнитель – кварцевый песок 3. Плавкие вставки привариваются к диску 4, который крепится к пластинам 5, связанным с ножевыми контактами 9. Пластины 5 крепятся к корпусу винтами. В качестве наполнителя используется кварцевый песок с содержанием  $\text{SiO}_2$  не менее 98 %, с зернами размером  $(0,2-0,4) \cdot 10^{-3}$  м и влажностью не более 3 %. Песок должен быть тщательно просушен перед засыпкой.

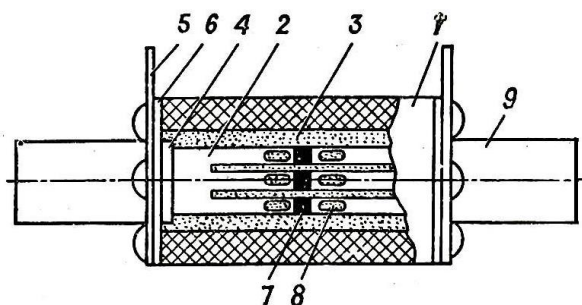


Рис. 1.3

Плавкая вставка выполняется из медной ленты толщиной 0,1–0,2 мм, которая имеет суженные участки 8. Для снижения температуры плавления на вставки наносятся оловянные полоски 7, обеспечивающие металлургический эффект. Плавкая вставка разделена на три парал-



лельные ветви для более полного использования кварцевого песка и при перегорании плавкой вставки дуга горит в узком канале, образованном зернами наполнителя. Этим обеспечивается гашение дуги за несколько миллисекунд.

После срабатывания предохранителя плавкая вставка вместе с диском 4 заменяется, патрон засыпается высушенным кварцевым песком. Для герметизации корпуса предохранителя под пластины 5 кладется асбестовая прокладка 6, что предохраняет песок от увлажнения.

Предохранители ПН-2 выпускаются на номинальный ток до 630 А. Малые габариты, высокая токоограничивающая способность являются достоинствами этого предохранителя [1].

Выбор предохранителя производится:

а) по номинальному напряжению сети

$$U_{\text{ном.пр}} \geq U_{\text{сети}},$$

где  $U_{\text{ном.пр}}$  – номинальное напряжение предохранителя.

Рекомендуется номинальное напряжение предохранителей выбирать по возможности равным номинальному напряжению сети;

б) по длительному расчетному току линии  $I_{\text{длит}}$ :

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{длит}},$$

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

в) по условиям пуска асинхронных двигателей (с короткозамкнутым ротором):

$$I_{\text{ном.вст}} = I_{\text{пуск}} / \alpha,$$

где  $I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном.дв}} \cdot k_{\text{пуск}}$  – пусковой ток двигателя, А;

$k_{\text{пуск}}$  – коэффициент кратности пускового тока;

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от условий пуска,  $\alpha = 1,6-2,5$ .

Если пуск легкий, т. е. не более 1 с, коэффициент  $\alpha = 2,5$ , а если тяжелый, т. е. пуск затягивается до 10 с, – коэффициент  $\alpha = 1,6$ .

Для двигателей с фазным ротором, если

$$I_{\text{пуск}} \leq 2I_{\text{ном.дв}},$$

плавкую вставку можно выбирать по условию

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1-1,25)I_{\text{НОМ.ДВ}}.$$

Для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, за номинальный принимается ток в режиме ПВ = 25 % [1];

г) проверка по условиям короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з}} / I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq 3-4,$$

где  $I_{\text{к.з}}$  – ток короткого замыкания на клеммах двигателя, А.

При меньших кратностях  $I_{\text{к.з}} / I_{\text{НОМ.ВСТ}}$  нагрев провода при небольших перегрузках может быть очень большим и приводить к разрушению изоляции провода [1].

д) выбор предохранителей по условию селективности.

Между источником энергии и потребителем устанавливается несколько предохранителей, которые должны отключать поврежденные участки по возможности селективно, т. е. избирательно. При коротком замыкании должен срабатывать предохранитель, ближайший к месту повреждения. Все остальные предохранители, расположенные ближе к источнику питания, должны сохранить работоспособность. Поэтому номинальные токи двух последовательно включенных плавких вставок должны отличаться не менее чем на две ступени [1].

Учитывая вышеизложенное можно сформулировать требования, предъявляемые к предохранителям:

1. Времятоковая характеристика предохранителя должна проходить ниже, но возможно ближе к времятоковой характеристике защищаемого объекта.

2. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимальным, особенно при защите полупроводниковых приборов. Предохранители должны работать с токоограничением [1].

3. При коротком замыкании в защищаемой цепи предохранители должны обеспечивать селективность.

4. Характеристики предохранителей должны быть стабильными, а технологический разброс параметров не должен сказываться на надежности защиты.

5. Предохранители должны обладать высокой отключающей способностью.

6. Конструкция предохранителя должна обеспечивать возможность быстрой замены плавкой вставки при ее перегорании.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения и конструкции низковольтных предохранителей по имеющимся образцам, плакатам и справочной литературе.

2. Снять времятоковую характеристику медной круглой вставки для различных сечений вставок.

Для снятия данной характеристики необходимо собрать схему (рис. 1.4).

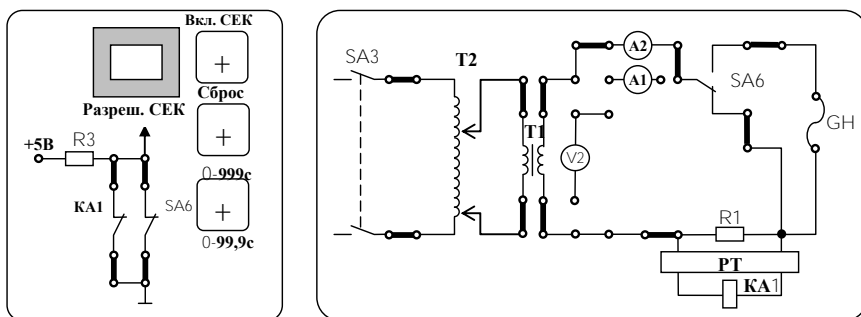


Рис. 1.4

В держатель предохранителя установить плавкую вставку на 0,5–1,0 А (при отсутствии последних рекомендуется напаять отрезки одножильного медного провода необходимого сечения на неисправную плавкую вставку). Включить секундомер тумблером Вкл. СЕК. При ненулевых показаниях секундомера произвести сброс одноименной кнопкой. Тумблер SA6 должен находиться в нижнем положении, при котором ток нагрузки через предохранитель не протекает. Включить тумблером ЛАТР и, постепенно увеличивая напряжение, подаваемое на понижающий трансформатор Т1, установить необходимую величину тока. Зафиксировать показания приборов. Затем тумблером SA6 переключить цепь на исследуемый предохранитель Пр. Секундомер начнет отсчет и остановится при перегорании нити предохранителя. Записать показания секундоме-

ра и затем обнулить индикаторы кнопкой «Сброс». Повторить опыт при различных величинах тока. Данные занести в табл. 1.1 и рассчитать время плавления по формуле

$$t_{пл} = (q^2 / I^2) \cdot 10^5, \text{ с,}$$

где  $q$  – сечение вставки, мм<sup>2</sup>;

$I$  – значение устанавливаемого тока по шкале, А.

Таблица 1.1

### Результаты опыта

Ток нагрузки $I_n$ , А				
Показание секундомера $t$ , с				
Расчетное время плавления $t_{пл}$ , с				

### Содержание отчета

1. Рисунки предохранителей ПР-2 и ПН-2, пояснение их устройства и паспортные данные предохранителей.

2. По данным проведенного опыта построить в одном масштабе расчетную и действительную времятоковые характеристики плавкой вставки, сравнить их и сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Назначение предохранителей.
2. Требования к материалу для плавких вставок.
3. Назначение металлургического эффекта в предохранителях.
4. Особенности работы предохранителя при «пограничном» токе.
5. Основные параметры предохранителей.
6. Схема включения предохранителей в защищаемую цепь.

## *Лабораторная работа № 2*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

#### *Цель работы*

1. Ознакомиться с техническими данными и изучить конструкцию контакторов постоянного и переменного тока и магнитных пускателей переменного тока.
2. Исследовать магнитные пускатели переменного тока.

#### *Методические указания*

Контакторы – это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений основных силовых электрических цепей до 1000 В при нормальных режимах работы. В зависимости от рода привода различают контакторы:

- 1) электромагнитные, контактная схема которых приводится в действие при помощи электромагнита;
- 2) пневматические, контактная схема которых приводится в действие при помощи сжатого воздуха;
- 3) гидравлические, контактная схема которых приводится в действие при помощи жидкости.

Электромагнитные контакторы получили наибольшее распространение и являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного электропривода. Они предназначены для работы в сетях:

- 1) постоянного тока – силовые и ускорения;
- 2) переменного тока промышленной частоты (50–60 Гц);
- 3) переменного тока повышенной частоты (до 10000 Гц).

Магнитная система (привод) контактора может по роду тока отличаться от тока главных контактов. Например, она может быть постоянного тока у контакторов переменного тока промышленной частоты или постоянного тока у контакторов на повышенную частоту. По характеру размыкания цепи различают контакторы линейные, которые осуществляют замыкание и размыкание различных элементов цепей, и контакторы ускорения, которые служат для переключения ступеней пускового реостата.

Контакты состоят из системы главных контактов, дугогасительной и электромагнитной систем и вспомогательных контактов. В контакторах ускорения с выдержкой времени имеется ещё устройство для создания этой выдержки.

Главные контакты осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи. Они должны быть рассчитаны на длительное протекание номинального тока и большое число включений и отключений при большой частоте. В зависимости от нормального положения главных контактов различают контакторы с замыкающими, размыкающими и смешанными контактами. Нормальным считают положение контактов, когда втягивающая катушка контактора не находится под напряжением и освобождены все имеющиеся механические защелки.

Главные контакты могут быть рычажного или мостикового типа. Рычажные контакты предполагают поворотную подвижную систему, мостиковые – прямоходовую. Принцип действия контакторов заключается в следующем: при подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги. Вспомогательный блок-контакт используется для согласования работы контактора с другими аппаратами. Наибольшее распространение для гашения дуги в контакторах постоянного тока получил способ электромагнитного дутья (рис. 2.1).

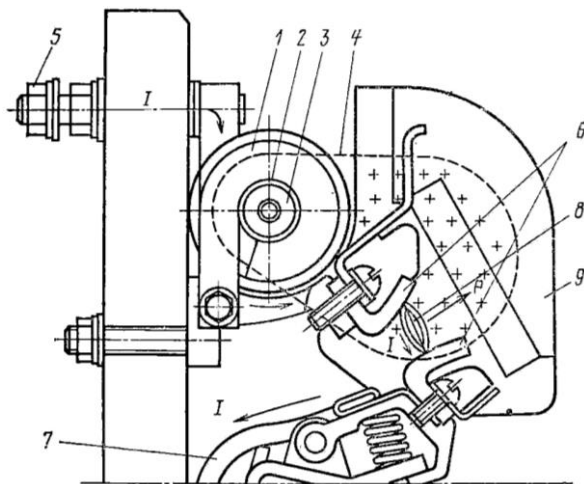


Рис. 2.1. Принцип электромагнитного дутья

Сущность способа электромагнитного дутья заключается в следующем: электрическая дуга, возникающая между размыкающими контактами и представляющая собой поток заряженных частиц, перемещается под действием магнитного поля, создаваемого электромагнитной дугогасительной катушкой 1, питаемой отключаемым током. Внутри катушки размещен сердечник 3, соединенный с ферромагнитными полюсами в виде пластин 4. Между катушкой и сердечником размещается изоляционный цилиндр 2. При протекании тока по катушке создается магнитное поле. Ток протекает от входного контакта 5 по катушке 1, замкнутым контактам 6 и гибкой связи 7 ко второму выходному контакту аппарата. При размыкании контактов 6 между ними возникает вначале жидкий металлический мостик, а затем электрическая дуга 8. Под действием магнитного поля катушки возникает сила  $P$ , которая перемещает дугу в керамическую камеру 9. Опорные точки дуги быстро перемещаются на скобу, соединенную с неподвижным контактом, и на защитный рог подвижного контакта. В результате увеличения длины дуги и её интенсивного охлаждения за счет быстрого движения в воздухе сопротивление дуги резко возрастает, что ведет к быстрой деионизации дугового промежутка и гашению дуги. В значительной степени гашению дуги способствует ее обдувание и, как следствие, охлаждение потоками воздуха, возникающими в дугогасительной камере под действием высокой температуры дуги.

Для гашения дуги переменного тока используют:

- 1) электромагнитное гашение дуги с помощью катушки тока и дугогасительной камеры с продольной или лабиринтной щелью;
- 2) дугогасительную камеру с деионной решеткой из стальных пластин.

В первом случае, как и в контакторах постоянного тока, гашение дуги происходит из-за растягивания дуги, увеличения ее сопротивления, охлаждения её воздухом. Недостатками этого метода гашения дуги являются: увеличение потерь в стали магнитной системы дугогашения, что ведет к повышению температуры контактов, расположенных вблизи дугогасительного устройства, и возникновение больших перенапряжений из-за принудительного обрыва тока. Система гашения дуги магнитным дутьем получила распространение в контакторах, работающих в тяжелых режимах (при большой частоте включений).

Широкое распространение получила дугогасительная камера с деионной решеткой из стальных пластин. Дуга, возникающая после расхождения контактов, втягивается в клиновидный паз параллельно расположенных стальных пластин. В верхней части дуга пересекается пластинами и разбивается на ряд коротких дуг. При вхождении дуги в решетку возникают силы, тормозящие движение дуги. Для уменьшения этих сил дуга, смещенная относительно середины решетки, вначале пересекает пластины с нечетными номерами, а потом уже с четными. После того как дуга втянется в решетку и разобьется на ряд коротких дуг, в цепи возникает дополнительное падение напряжения на каждой паре электродов. Это падение напряжения составляет 20–30 В, что приводит к уменьшению восстанавливающегося напряжения. Для того чтобы пластины решетки не подвергались коррозии, они покрываются тонким слоем меди или цинка. При частых включениях и отключениях пластины сильно нагреваются и возможно даже их прогорание. Поэтому число включений и отключений для таких контактов ограничивается до 600 в час.

В новых контакторах для повышения их отключающей способности наряду с магнитным дутьем и деионной решеткой применяется двукратный (иногда больше) разрыв на фазу. Такие способы обеспечивают надежную работу контакторов переменного тока на напряжении 660 В.

Контакторы выполняют свои функции удовлетворительно, если напряжение на зажимах катушки

$$U = (0,85-1,1) U_{\text{ном}}.$$

Снижение напряжения ниже  $0,85 U_{\text{ном}}$  уменьшает силу, удерживающую якорь, в результате чего при некотором напряжении отпущения  $U_{\text{отп}}$  происходит отпадание якоря от полюсов. Наименьшее напряжение, при котором происходит включение контактора, называют напряжением срабатывания  $U_{\text{ср}}$ .

Отношение

$$K_{\text{в}} = U_{\text{отп}} / U_{\text{ср}}$$

называют коэффициентом возврата.

Тяговая характеристика электромагнита переменного тока близко подходит к противодействующей характеристике, в результате



контакторы переменного тока обладают высоким коэффициентом возврата (0,6–0,7), что дает возможность осуществить защиту двигателя от снижения напряжения. Для контакторов постоянного тока коэффициент возврата мал (0,2–0,3), что не дает возможности использовать контактор постоянного тока для защиты двигателя от снижения напряжения.

Магнитный пускатель – это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети и токов перегрузки асинхронных двигателей малой и средней мощности.

Основным узлом магнитного пускателя как контактора является электромагнит переменного тока, приводящий в действие систему с контактами.

Обычно в магнитных пускателях применяют трехполюсный контактор переменного тока, имеющий три главных замыкающих контакта и от одного до четырех вспомогательных, блокировочных или блок-контактов.

В кожух магнитного пускателя кроме контактора часто встраивается тепловое реле, выполняющее токовую защиту с выдержкой времени, зависящей от величины тока.

Выбор магнитного пускателя и контакторов производится:

а) по номинальному напряжению сети  $U_{\text{сети}}$ :

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{сети}},$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение катушки магнитного пускателя;

б) по номинальному току нагрузки  $I_{\text{ном. н.}}$ :

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном. н.}}$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток магнитного пускателя или контактора для конкретного режима работы;

в) по мощности двигателя исполнительного механизма;

г) по режиму работы;

д) по числу включений в час;

е) по времени включения и отключения.

Для контакторов постоянного тока с номинальным током 100 А собственное время включения составляет 0,14 с, а для контакторов с током 630 А оно увеличивается до 0,37 с. Собственное время от-

ключения контакторов постоянного тока с номинальным током 100 А составляет 0,07 с, а контакторов с током 630 А – 0,23 с [1]. Собственное время срабатывания контакторов переменного тока составляет 0,03–0,05, а время отпущения – 0,02 с.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство, назначение и принцип работы контактора постоянного тока и его дугогасительной системы. Ознакомиться с устройством контактора переменного тока, магнитного пускателя и их систем.

2. Для исследования свойств магнитного пускателя переменного тока ПМЛ-110 с номинальным напряжением катушки 110 В, 50 Гц необходимо собрать схему согласно рис. 2.2.

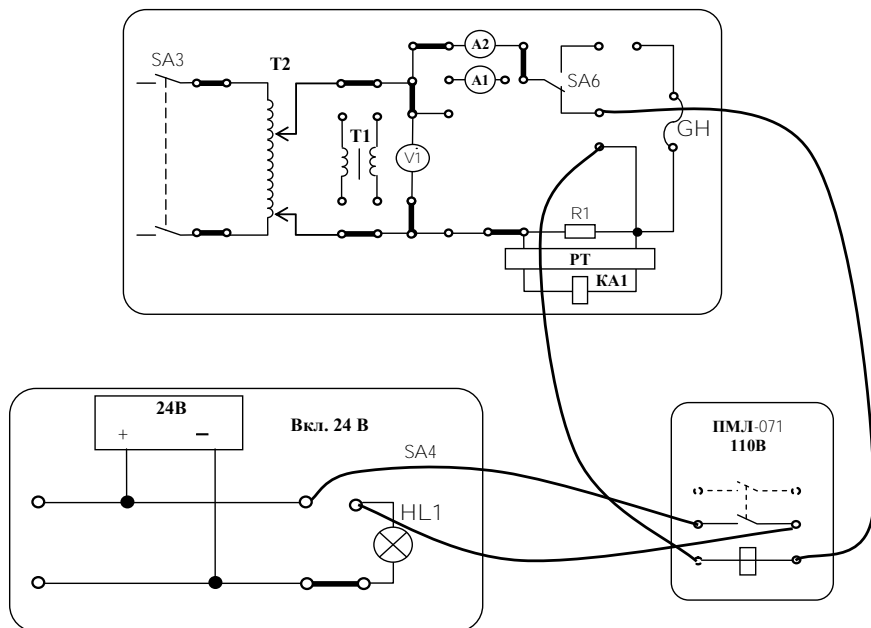


Рис. 2.2

Включить стенд, затем включить источник питания 24 В и далее ЛАТР. Увеличивая величину подаваемого напряжения контролировать показания приборов и зафиксировать их в момент, когда якорь

втянется в катушку. Зафиксировать максимальную величину тока до его резкого уменьшения. Это и будет ток срабатывания  $I_{ср}$ . Затем довести напряжение до номинальной величины 110 В и вновь замерить ток в катушке. Это будет номинальный ток втягивающей катушки  $I_{ном}$ . Отключить ЛАТР. Застопорить якорь магнитного пускателя, введя немагнитную прокладку между якорем и магнитопроводом, и включить ЛАТР, подав на катушку номинальное напряжение. По катушке будет протекать ток срабатывания номинальный  $I_{ср. ном}$ , который во много раз превышает номинальный. Поэтому необходимо быстро зафиксировать показания амперметра и отключить ЛАТР. Удалить немагнитную прокладку, опять включить ЛАТР и после этого начать уменьшать напряжение на катушке пускателя до момента отпускания якоря.

Зафиксировать величину тока возврата  $I_{в}$  и напряжения возврата  $U_{в}$  в этот момент (в моменты переключения ЛАТРа придерживать пальцем кнопку якоря пускателя, обеспечивая его притянутое положение на момент кратковременного обесточивания катушки). Данные занести в табл. 2.1. Повторить опыт несколько раз. Во избежание перегрева катушки пускателя не допускать длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также необходимо делать паузы между опытами.

Таблица 2.1

Результаты опыта

Измеряемые параметры	ПМЛ-071 110 В	ПМЛ-071 220 В	РП-21 24 В
Напряжения срабатывания $U_{ср}$ , В			
Ток при невтянутом якоря в опыте на включение $I_{ср}$ , А			
Ток при втянутом якоря в опыте на включение при $U_{ном}$ , $I_{ном}$ , А			
Ток при заторможенном якоря в опыте на включение при $U_{ном}$ , $I_{ср. ном}$ , А			
Напряжение возврата $U_{в}$ , В			
Коэффициент возврата $K_{в}$			
Кратность пускового тока к номинальному $K = I_{ср. ном} / I_{ном}$			

3. Произвести расчет параметров пускателя по следующим формулам:

Коэффициент возврата

$$K_B = U_B / U_{cp}.$$

Кратность пускового тока к номинальному

$$K = I_{cp, ном} / I_{ном}.$$

Номинальная активная мощность втягивающей катушки

$$P_{ном} = I_{ном}^2 \cdot R, \text{ Вт.}$$

Полная номинальная мощность втягивающей катушки

$$S_{ном} = I_{ном} \cdot U_{ном}, \text{ ВА.}$$

Полная мощность втягивающей катушки при включении

$$S_{cp, ном} = I_{cp, ном} \cdot U_{ном}, \text{ ВА.}$$

4. Для исследования свойств магнитного пускателя переменного тока ПМЛ с номинальным напряжением катушки 220 В, 50 Гц необходимо собрать схему согласно рис. 2.3.

Далее работа выполняется аналогично приведенной выше схеме. Включить стенд, затем включить источник питания 24 В и далее ЛАТР. Увеличивая величину подаваемого напряжения контролировать показания приборов и зафиксировать их в момент, когда якорь втянется в катушку. Зафиксировать величину резко изменившегося тока. Затем довести напряжение до номинальной величины 220 В и вновь замерить ток в катушке. Отключить ЛАТР. Застопорить якорь магнитного пускателя, введя немагнитную прокладку между якорем и магнитопроводом, и включить ЛАТР, подав на катушку номинальное напряжение. По катушке будет протекать ток срабатывания номинальный  $I_{cp, ном}$ , который во много раз превышает номинальный. Затем уменьшать напряжение до момента отпускания якоря (в моменты переключения ЛАТРа придерживать пальцем кнопку якоря пускателя, обеспечивая его притянутое положение на момент кратко-

временного обесточивания катушки). Зафиксировать величину тока и напряжения в этот момент. Данные занести в табл. 2.1. Повторить опыт несколько раз и произвести расчеты, как и в предыдущем опыте.

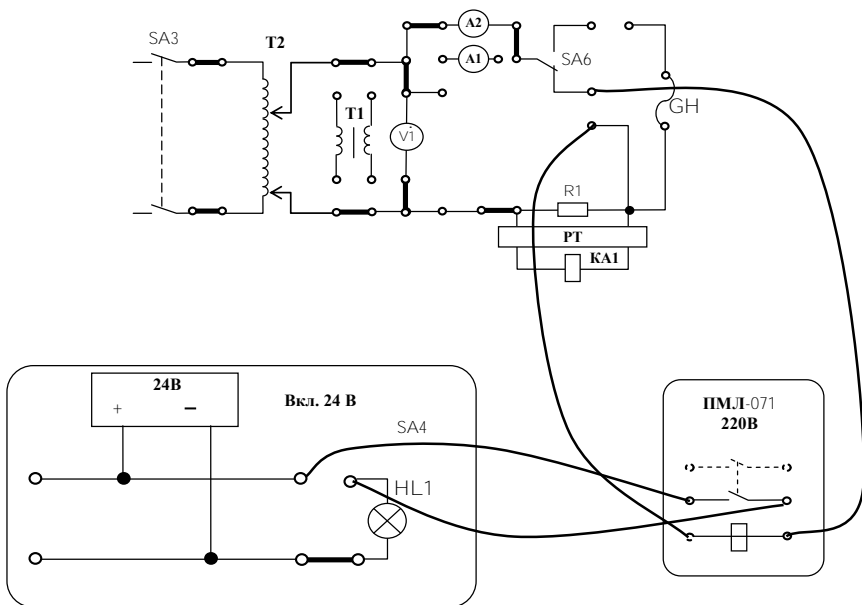


Рис. 2.3

Во избежание перегрева катушки пускателя не допускать длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также необходимо делать паузы между опытами.

5. На лабораторном стенде не смонтирован контактор постоянного тока и для определения параметров срабатывания и отпускания электромагнитных механизмов постоянного тока используется промежуточное реле РП-21 с номинальным напряжением 24 В.

Для определения параметров промежуточного реле постоянного тока с номинальным напряжением катушки 24 В необходимо собрать схему согласно рис. 2.4.

Далее работа выполняется в той же последовательности, как и для пускателей (напряжение, подаваемое на катушку реле изменяется ЛАТРом и НЕ ДОЛЖНО ПРЕВЫШАТЬ 24 В!).

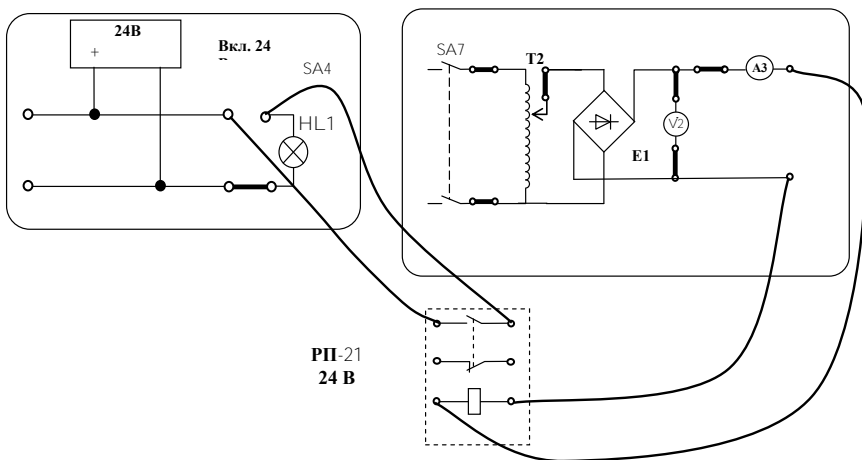


Рис. 2.4

Результаты измерений занести в табл. 2.1 и произвести расчеты, как и в предыдущем опыте (кроме номинальной и полной мощности при включении).

6. Определить зависимость тока, потребляемого катушкой контактора, пускателя от величины воздушного зазора. Величина зазора меняется за счет немагнитных прокладок, помещаемых в рабочий зазор магнитной системы пускателя, контактора. Опыт провести для разных толщин немагнитных прокладок. Результаты опытов занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты опыта

Толщина прокладки, мм						
Ток, потребляемый катушкой пускателя ПМЛ-071 110 В, А						
Ток, потребляемый катушкой пускателя ПМЛ-071 220 В, А						
Ток, потребляемый катушкой реле РП-21 24 В, А						

### *Контрольные вопросы*

1. Назначение контакторов и магнитных пускателей.
2. Конструкции контакторов и магнитных пускателей.
3. Назначение теплового реле в магнитном пускателе.
4. Нарисовать схему управления пуском асинхронного двигателя с помощью магнитного пускателя.
5. Пояснить принцип электромагнитного дутья при гашении дуги постоянного тока.

### *Лабораторная работа № 3*

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И ЦИФРОВОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ**

### *Цель работы*

1. Изучить конструкцию и принцип действия электромагнитного реле времени.
2. Освоить способы настройки реле времени на заданную выдержку времени.
3. Исследовать влияние напряжения на работу реле времени.

### *Методические указания*

При работе схем защиты и автоматики часто требуется создавать выдержку времени между срабатыванием двух или нескольких аппаратов. При автоматизации технологических процессов также может возникнуть необходимость производить операции в определенной временной последовательности. Для создания выдержки времени служат аппараты, называемые реле времени. В зависимости от назначения к реле времени предъявляются различные требования.

Для схем автоматизированного электропривода с большой частотой включения требуются реле с высокой механической износостойкостью – до  $(5-10) \cdot 10^6$  срабатываний. Диапазон выдержек времени находится в пределах 0,25–10 с. К этим реле не предъявляются требования относительно высокой стабильности выдержки времени, и разброс времени срабатывания может достигать 10 % [1].

Реле для защиты энергосистем должны иметь большую точность выдержки времени. Эти реле работают относительно редко, поэтому к ним не предъявляются особые требования по износостойкости, которая составляет  $(5-10) \cdot 10^3$  срабатываний. Выдержка времени таких реле составляет 0,1–20 с.

Для автоматизации технологических процессов необходимы реле с большой выдержкой времени – от нескольких минут до нескольких часов. В этом случае используются, как правило, моторные реле времени. В настоящее время созданы также полупроводниковые реле с таким же большим диапазоном выдержки времени.

Реле времени по принципу действия можно разделить на электромагнитные, полупроводниковые и цифровые.

Электромагнитные реле времени обеспечивают выдержку времени с момента подачи сигнала управления на реле времени и моментом замыкания или размыкания его контактов.

В электромагнитных реле времени серии РЭ и РЭВ полное время срабатывания состоит из времени трогания и времени движения якоря

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{тр}} + t_{\text{дв}},$$

где  $t_{\text{тр}}$  – время трогания. Это время с момента подачи напряжения на обмотку реле до начала движения якоря;

$t_{\text{дв}}$  – время движения якоря при срабатывании.

В большинстве случаев основную часть времени срабатывания составляет время трогания.

Ток, при котором начинается движение якоря, называется током трогания  $i_{\text{тр}}$ , а время нарастания тока от нуля до  $i_{\text{тр}}$  – временем трогания  $t_{\text{тр}}$ .

Время отпускания реле состоит из времени спадания потока до потока отпускания, при котором сила электромагнита становится равной противодействующей силе пружины и времени движения при отпускании:

$$t_{\text{отп}} = t_{\text{сп}} + t_{\text{дв}},$$

где  $t_{\text{сп}}$  – время с момента снятия напряжения с обмотки реле до начала отпадания якоря;

$t_{\text{дв}}$  – время движения якоря при отпускании.



Для создания выдержки времени в электромагнитных реле применяется короткозамкнутая обмотка или гильза. Эскиз такого реле показан на рис. 3.1.

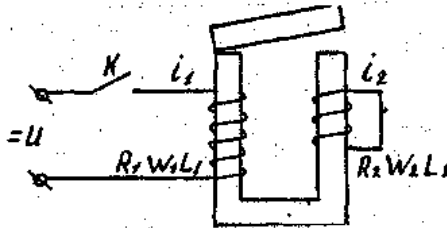


Рис. 3.1

При включении питающей обмотки в магнитной цепи нарастает поток. Этот поток наводит в короткозамкнутой обмотке ЭДС. Последняя вызывает ток такого направления, при котором поток короткозамкнутой обмотки направлен встречно с намагничивающим. Результирующий поток равен разности этих потоков. Это приводит к уменьшению скорости нарастания потока в магнитной цепи, а следовательно, к увеличению времени трогания. Поток в системе нарастает по экспоненте с суммарной постоянной времени  $T_1 + T_2$ :

$$\Phi = \Phi_y \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_1 + T_2}} \right),$$

где  $\Phi_y = \frac{U}{R} \cdot W_1 \cdot \sigma_6$  – установившийся поток;

$T_1 = \frac{L_1}{R_1}$  – постоянная времени основной обмотки;

$T_2 = \frac{L_2}{R_2}$  – постоянная времени короткозамкнутой обмотки или

гильзы.

Ввиду того, что при отпущенном якоре проводимость воздушного зазора  $\sigma_6$  мала, суммарная постоянная времени  $T_1 + T_2$  невелика и замедление электромагнита получается небольшим.

При отключении электромагнита ток в первичной обмотке практически мгновенно падает до нуля из-за быстрого нарастания сопротивления дугового промежутка в отключающем аппарате К.

Изменение потока определяется процессом затухания тока в короткозамкнутой обмотке. При спадании потока в короткозамкнутой обмотке наводится ЭДС и возникает ток, направленный так, что поток, создаваемый обмоткой  $I/2$ , препятствует уменьшению потока в системе. Замедление спада потока создает выдержку времени при отпуске.

Величина потока при этом будет определяться следующим выражением:

$$\Phi = \Phi_y \cdot e^{-\frac{t}{T}}.$$

Благодаря тому, что воздушный зазор в притянутом состоянии якоря в десятки раз меньше, чем в отпущенном, время трогания при отпуске значительно больше (10 с), чем при срабатывании (0,7 с).

При этом выдержка времени также зависит от приложенного напряжения. Для того чтобы сделать выдержку времени реле независимой от напряжения, магнитная цепь делается сильно насыщенной. В схемах автоматики напряжение на питающую катушку может подаваться кратковременно. Чтобы выдержка времени при отпуске была стабильной, необходимо, чтобы длительность приложения напряжения к питающей катушке была достаточной для достижения потоком установившегося значения, в противном случае выдержка времени уменьшается. В реле РЭВ-800 минимальное время приложения напряжения составляет примерно 1 с.

Магнитная цепь электромагнитных реле серии РЭВ состоит из магнитопровода, якоря и немагнитной прокладки. Магнитопровод укрепляется на плите с помощью литого алюминиевого цоколя. Этот же цоколь служит для крепления контактной системы.

На ярме прямоугольного сечения магнитопровода устанавливается короткозамкнутая обмотка в виде сплюсненной гильзы. Намагничивающая обмотка устанавливается на цилиндрическом сердечнике. Якорь вращается относительно сердечника на призме. Усилие, развиваемое возвратной пружиной, может изменяться с помощью корончатой гайки, которая фиксируется после регулировки с помощью шплинта.

Литое основание из алюминия создает дополнительный короткозамкнутый виток, увеличивающий время действия реле.

Время срабатывания реле можно плавно регулировать с помощью изменения натяжения возвратной пружины. С увеличением степени сжатия возвратной пружины увеличивается сила, необходимая для трогания якоря. Эта сила определяется потоком в магнитной цепи. При большом натяжении пружины поток трогания возрастает, а следовательно, возрастает и время срабатывания.

Регулирование выдержки времени при отпускании может производиться плавно и скачком. Плавное регулирование выдержки времени может производиться с помощью изменения силы, развиваемой возвратной пружиной. С увеличением силы натяжения пружины поток, при котором происходит отпадание якоря, увеличивается, а следовательно, время отпускания уменьшается.

Грубо выдержка времени может регулироваться изменением толщины немагнитной прокладки, установленной на торце якоря. Поскольку магнитная цепь в замкнутом положении насыщена, то толщина немагнитной прокладки мало сказывается на величине установившегося потока. При уменьшении толщины немагнитной прокладки возрастает индуктивность катушки в насыщенном состоянии сердечника и уменьшается скорость спадания потока. В результате при неизменной силе возвратной пружины выдержка времени увеличивается. Толщина прокладки берется от 0,1 мм и выше.

Выдержка времени может грубо регулироваться путем изменения количества короткозамкнутых гильз, их материала и сечения.

Плавный способ регулирования выдержки времени заключается в изменении натяжения возвратной пружины. Оба способа позволяют изменять выдержку времени от нескольких десятых долей секунды до нескольких секунд с относительной погрешностью не более 10 %.

Реле описанного типа могут использоваться в схемах автоматики как реле тока, напряжения и промежуточные реле.

В заключение следует отметить, что электромагнитные реле времени имеют простой механизм, который не боится ударов и вибраций, обладают большой износоустойчивостью. Допустимое число включений в час равно 600. Точность установок выдержки времени  $\pm 10\%$ . Они позволяют получать выдержки времени до 10 с.

Полупроводниковые реле времени благодаря большому диапазону выдержек времени (от 0,1 с до 100 ч), высокой надежности и

точности, а также малым габаритам получили в настоящее время широкое распространение. Принцип действия простейшего полупроводникового реле времени поясняет рис. 3.2.

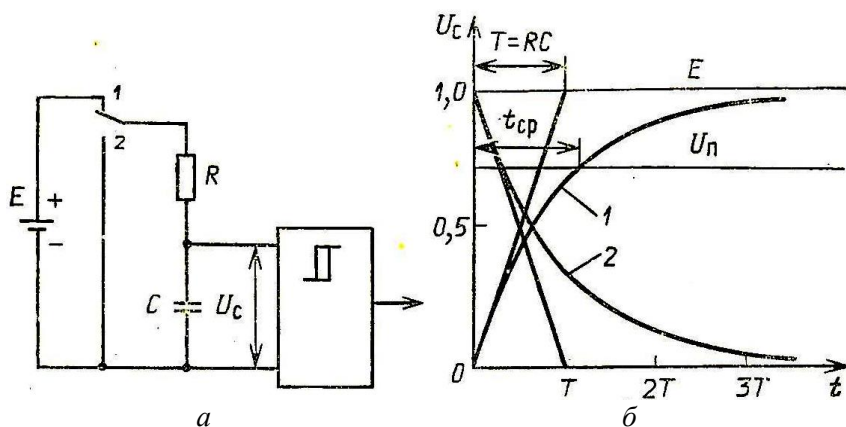


Рис. 3.2

При замыкании контакта 1 напряжение на конденсаторе  $C$  растет по экспоненте с постоянной времени  $T = R \cdot C$ . Напряжение  $U_c$  подается на пороговый элемент. При равенстве  $U_c$  пороговому напряжению  $U_n$  пороговый элемент срабатывает и с выдержкой времени  $t_{cp}$  выдает сигнал на усилитель мощности, который управляет выходным электромагнитным реле. Возможно использование разряда конденсатора (закрывается контакт 2). Процесс разряда идет по кривой 2 (рис. 3.2, б). Такие реле работают на начальных участках кривых 1 и 2. Выдержку времени регулируют плавно за счет изменения сопротивления  $R$  и скачкообразно – за счет изменения емкости конденсатора  $C$ . Предельная выдержка времени – до 10 с [1]. При больших выдержках времени погрешность реле возрастает, т. к. экспонента становится полой. Этим ограничивается выдержка времени таких реле. Для повышения точности выдержки времени заряд конденсатора производят через токостабилизирующее устройство. С целью увеличения выдержки времени используется заряд конденсатора от источника импульсного напряжения (рис. 3.3).

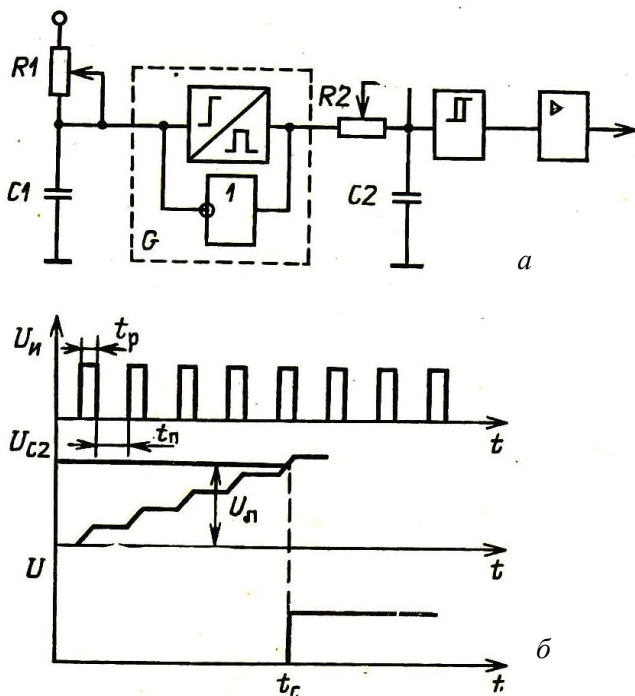


Рис. 3.3

На цепочку  $R2, C2$  подается напряжение прямоугольной формы. При каждом импульсе напряжение на конденсаторе поднимается на небольшую величину, а во время паузы остается неизменным. Напряжение  $U_{C2}$  приложено к пороговому элементу. В момент когда  $U_{C2} = U_n$ , реле срабатывает. Такое реле позволяет увеличить выдержку времени, т. к. во время паузы напряжение на емкости  $U_{C2}$  не меняется и время паузы входит в выдержку времени реле. Чем больше скважность импульса  $t_n/(t_n + t_p)$ , тем большая выдержка времени может быть получена.

Цифровые реле времени серии ВЛ (рис. 3.4) состоят из выпрямителя 1, низковольтного стабилизатора напряжения 2 для питания внутренних схем реле, стабилизатора напряжения 3 для питания выходного реле 6, программно-управляемого делителя частоты со встроенным кварцевым генератором 4, цифрового переключателя

задания временного интервала 5, переключателя масштаба временных интервалов 7, переключателя выбора функций 8.

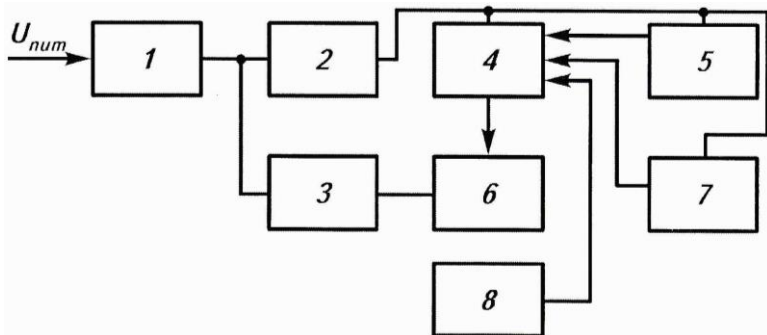


Рис. 3.4

При подаче напряжения питания встроенный кварцевый генератор формирует импульсы с частотой 12 МГц, которая делится в программно-управляемом делителе. В зависимости от значения заданного временного интервала на цифровом переключателе 5 делитель формирует заданный интервал времени. В соответствии с состоянием переключателя функций 8, программный делитель формирует сигнал на включение (отключение) выходного реле 6.

Реле времени ВЛ-64 (рис. 3.5) состоит из выпрямителя (диоды VD1 – VD4) с фильтром (резистор R1 и конденсатор C1), стабилизатора напряжения (резистор R3 и стабилитрон VD5), генератора импульсов G1, счетчика D1, схемы установки счетчика в исходное состояние, выполненной на транзисторе VT1, выходного усилителя на транзисторе VT2 с электромагнитным реле KL. Выдержка времени в реле регулируется путем изменения частоты задающего генератора G1 и коэффициента пересчета счетчика импульсов D1. Работа реле начинается после подачи напряжения питания. При этом снимается сигнал установки исходного состояния и разрешается работа счетчика D1. Счетчик начинает пересчитывать поступающие на его счетный вход импульсы генератора G1. При заполнении счетчика появляется положительный сигнал на его выходе и открывается транзистор VT2, выдавая выходной сигнал на реле KL. В реле времени ВЛ-64 выходной сигнал появляется через заданное время после подачи напряжения питания и сохраняется до момента его снятия.

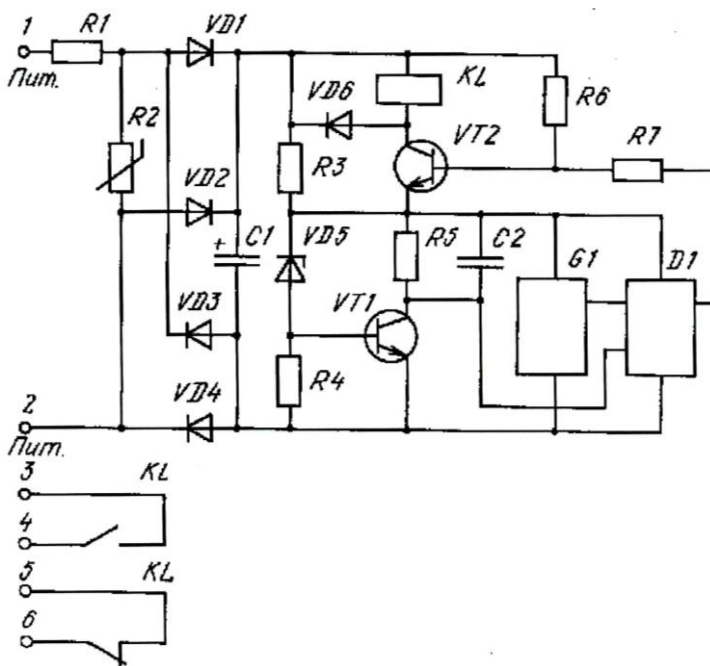


Рис. 3.5

Реле времени серии ВЛ выпускают:

- на напряжение 24, 110, 220 В постоянного и переменного тока частотой 50 Гц;
- ток, коммутируемый контактами, до 5 А;
- диапазон регулирования выдержки времени от 0,1 с до 99 ч;
- мощность, потребляемую катушкой, 9 Вт;
- количество и исполнение контактов в зависимости от исполнения реле.

### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить конструкцию и принцип действия реле времени РЭ-100 и ВЛ-64.

2. Для исследования свойств реле времени ВЛ-64 необходимо собрать схему согласно рис. 3.6. Тумблер SA4 служит для одновременного запуска электронного секундомера и самого реле времени.

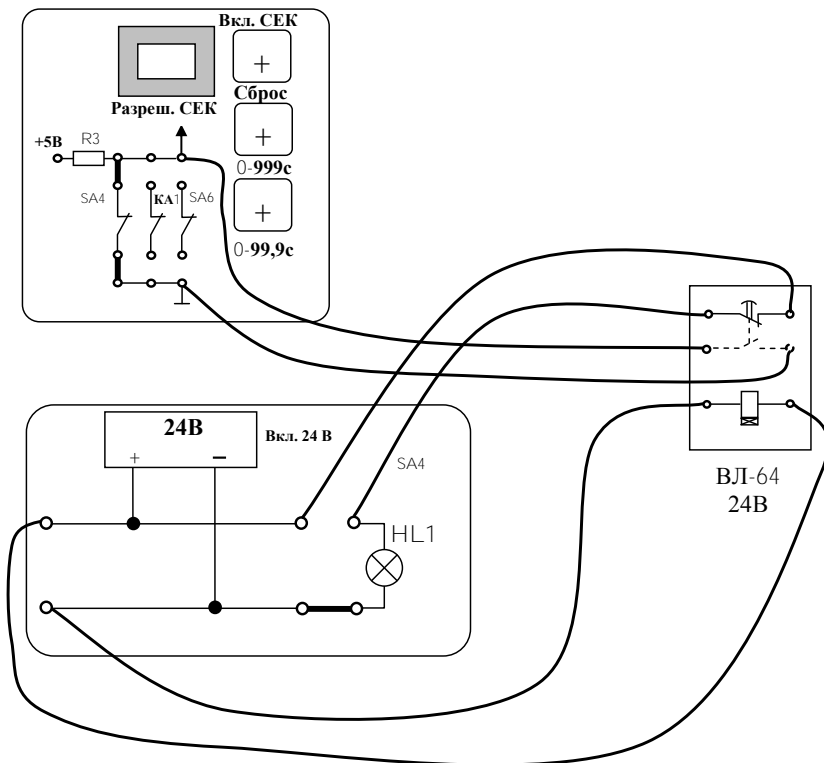


Рис. 3.6

После включения стенда схема готова к пуску. Произвести включение схемы тумблером SA4. Секундомер будет производить отсчет времени до момента срабатывания реле времени. Занести показания секундомера в табл. 3.1, выключить тумблер SA4, обнулить показания секундомера и повторить опыт при различных уставках времени (устанавливаются потенциометром на лицевой панели реле времени ВЛ-64).

Таблица 3.1

Результаты опыта

Уставка времени $t_{уст}, с$					
Время срабатывания $t_{ср}, с$					
Погрешность срабатывания $\Delta t, с$					
Относительная погрешность $\Delta, \%$					



3. По результатам измерений произвести расчет погрешности времени срабатывания реле по формуле

$$\Delta t = t_{\text{уст}} - t_{\text{ср}}, \text{ с.}$$

Рассчитать относительную погрешность по формуле

$$\Delta = \frac{t_{\text{уст}} - t_{\text{ср}}}{t_{\text{уст}}} \cdot 100\%.$$

Определить среднюю относительную погрешность по формуле

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{\sum \Delta_n}{n},$$

где  $n$  – число измерений.

4. Произвести измерения и расчеты по пп. 2 и 3 при пониженном напряжении питания катушки реле времени ВЛ. Для этого необходимо собрать схему согласно рис. 3.7. Пониженное напряжение получить с помощью ЛАТРа Т2 и выпрямителя Е1. В схеме использовать контакты тумблера SA6 для питания реле ВЛ-64 и цепей секундомера. Напряжение на реле ВЛ-64 не должно превышать 24 В! Тумблер SA6 служит для одновременного запуска электронного секундомера и самого реле времени.

Перед включением стенда переключатели ЛАТРа Т2 установить в нулевое положение. После включения стенда включить тумблеры SA4 и SA7 – и схема готова к пуску. Переключателями ЛАТРа установить пониженные напряжения на реле ВЛ-64 от 20 до 23 В. Произвести включение схемы тумблером SA6. Секундомер будет производить отсчет времени до момента срабатывания реле времени. Занести показания секундомера в табл. 3.2, выключить тумблер SA6, обнулить показания секундомера и повторить опыт при различных уставках времени (устанавливаются потенциометром на лицевой панели реле времени ВЛ-64).

Данные измерений занести в табл. 3.2.

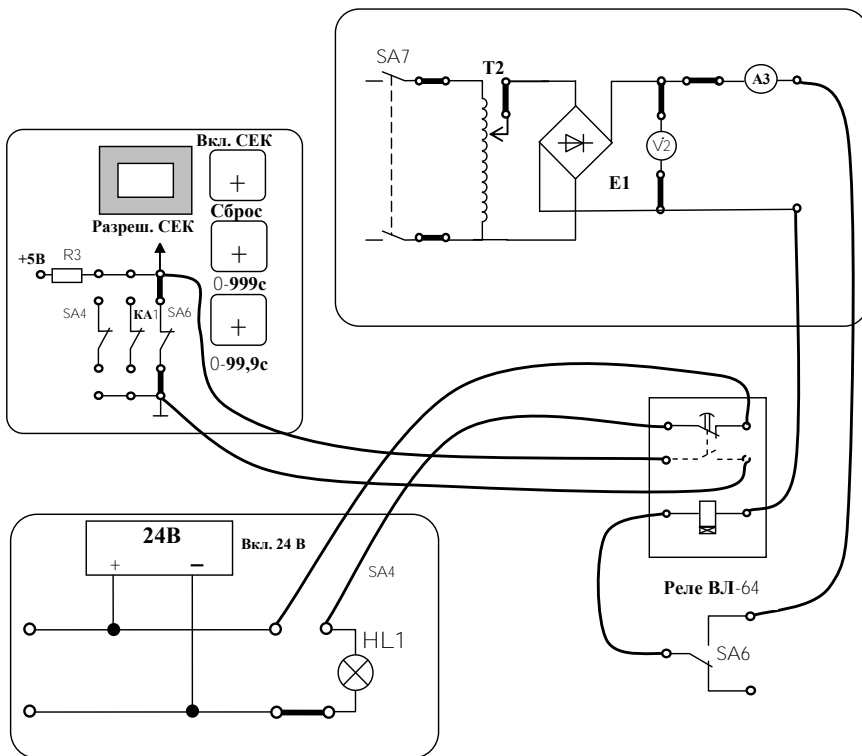


Рис. 3.7

Таблица 3.2

### Результаты опыта

Уставка времени $t_{уст}, c$					
Время срабатывания $t_{ср}, c$					
Погрешность срабатывания $\Delta t, c$					
Относительная погрешность $\Delta, \%$					

### Контрольные вопросы

1. Что такое время трогания электромагнита?
2. В чем заключается принцип магнитного демпфирования?

3. С какой целью магнитная цепь реле выполняется сильно насыщенной?

4. Каково назначение массивной гильзы?

5. Каким образом можно регулировать выдержку времени срабатывания реле времени?

6. Поясните устройство и принцип работы полупроводникового реле времени. Как регулируется выдержка времени в полупроводниковом реле времени?

7. Поясните устройство и принцип работы цифрового реле времени. Как регулируется выдержка времени в цифровом реле времени?

### *Лабораторная работа № 4*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ**

### *Цель работы*

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

### *Методические указания*

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей.

Как правило, автоматические выключатели выполняют функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменениях направления передачи мощности или тока и т. п.

Независимо от назначения автоматы состоят из следующих основных узлов:

- а) контактной системы;
- б) дугогасительной системы;
- в) привода;
- г) механизма свободного расцепления;
- д) расцепителей;
- е) коммутатора с блок-контактами.

Контактная система автоматов должна находиться под нагрузкой не отключаясь весьма длительное время и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Широкое распространение получили двухступенчатые (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные и дугогасительные) контактные системы.

Дугогасительная система должна обеспечивать гашение дуги больших токов короткого замыкания в ограниченном объеме пространства. Задача дугогасительного устройства заключается в том, чтобы ограничить размеры дуги и обеспечить ее гашение в малом объеме. Распространение получили камеры с широкими щелями и камеры с дугогасительными решетками.

Привод в автомате служит для включения автомата по команде оператора.

Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен:

а) для исключения возможности удерживать контакты автомата во включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;

б) обеспечения моментального отключения, т. е. не зависящую от операторов, рода и массы привода скорость расхождения контактов.

Механизм представляет собой систему шарнирно-связанных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые связаны с отключающей пружиной. Механизм свободного расцепления позволяет автомату отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения, когда включающая сила воздействует на подвижную систему автомата.

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток переходит в параллельную цепь дугогасительных контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорали. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая поднимается вверх и гасится в дугогасительной камере.

Расцепители – элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

В зависимости от выполняемых функций защиты расцепители бывают:

а) максимальные токовые – мгновенного или замедленного действия;

б) минимального напряжения – для отключения автомата при снижении напряжения ниже определенного уровня;

в) обратного тока – срабатывают при изменении направления тока;

г) тепловые – работают в зависимости от величины тока и времени его протекания (применяются обычно для защиты от перегрузок);

д) комбинированные – срабатывают при сочетании ряда факторов.

Блок-контакты служат для производства переключения в цепях управления, блокировки, сигнализации в зависимости от коммутационного положения автомата. Блок-контакты выполняются нормально разомкнутыми (закрывающими) и нормально замкнутыми (размыкающими).

В современных автоматических выключателях широко применяются полупроводниковые расцепители. Они обеспечивают более высокую точность срабатывания по времени и току. Кроме того, позволяют производить регулировку параметров и характеристик защиты при эксплуатации автоматического выключателя. Структурная схема полупроводникового расцепителя приведена на рис. 4.1.

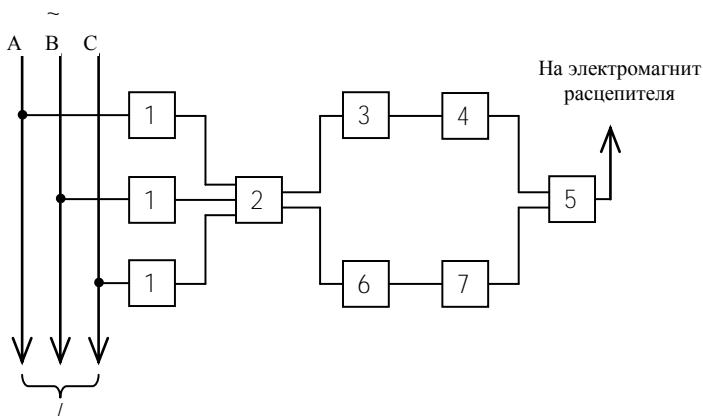


Рис. 4.1

Блок 1 измеряет ток защищаемой цепи и на его выходе появляется напряжение, пропорциональное измеряемому току. В автомати-

ческих выключателях переменного тока – это специальные трансформаторы тока, а в выключателях постоянного тока – магнитные усилители. Блок 1 осуществляет заряд конденсатора, который обеспечивает отключение выключателя при срабатывании расцепителя. Блок 2 анализирует сигнал от блока 1, и если этот сигнал соответствует току перегрузки, то сигнал поступает в блок 3, включающий полупроводниковое реле времени 4, создающее зависимость от тока выдержку времени.

При токе короткого замыкания сигнал с блока 2 достаточен для включения блока 6, который является токовой отсечкой. Блок 7 создает выдержку времени, не зависящую от тока. Блок 5 является усилителем сигналов от блоков 4 или 7 и создает цепь разряда заряженного конденсатора на независимый расцепитель, воздействующий на механизм свободного расцепления выключателя.

Номинальный ток защищающего от перегрузки теплового расцепителя  $I_{н.р}$ , электромагнитного  $I_{н.э}$  или комбинированного расцепителя автоматов выбирается по длительному расчетному току линии  $I_{дл}$ :

$$I_{н.э} = I_{дл}; \quad I_{н.р} = I_{дл};$$

ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя  $I_{ср.э}$  определяется из соотношения

$$I_{ср.э} = 1,25 I_{кр},$$

где  $I_{кр}$  – максимальный кратковременный ток линии, который при ответвлении к одиночному электродвигателю равен его пусковому току. Коэффициент 1,25 учитывает неточность в определении максимального кратковременного тока линии и разброс характеристик расцепителей.

Автоматические выключатели в пластмассовом корпусе выпускаются на номинальные токи до 1600 А. Различные серии этих выключателей (АП50, АК63, АЗ100, АЕ2000, АЗ700) имеют аналогичные конструкции и в настоящее время заменяются выключателями третьего поколения серии ВА50, которые имеют лучшие технико-экономические показатели. Масса ВА50 снижена в среднем в 2,4 раза, а габариты – в 3,3 раза. Уставки токов срабатывания выключателей составляют десятикратную величину их номинальных токов.

## Порядок выполнения работы

1. Для исследования свойств автоматического выключателя необходимо собрать схему рис. 4.2 и снять времятоковую характеристику теплового расцепителя.

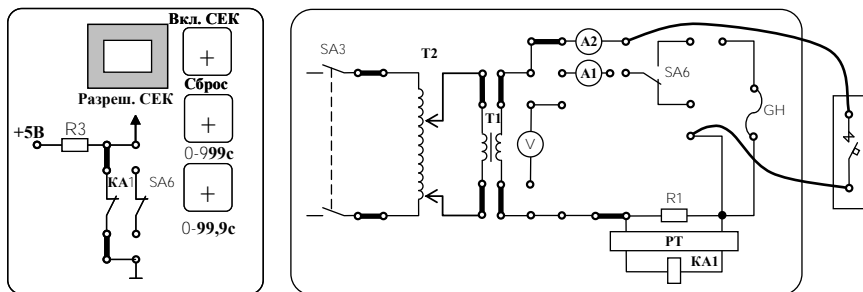


Рис. 4.2

2. Включить ЛАТР и установить ток нагрузки через автомат, равный  $1,5 I_{н.р.}$ . Отключить ЛАТР, дать остыть теплому расцепителю (3 минуты) и установить секундомер на ноль. Вновь включить ЛАТР и дождаться срабатывания теплового расцепителя и отключения автоматического выключателя. Зафиксировать время по секундомеру и «сбросить» его показания. Отключить ЛАТР и после паузы (5 мин) включить ЛАТР, автоматический выключатель, установить новое значение тока и повторить опыт. Полученные значения занести в таблицу 4.1 и построить времятоковую характеристику теплового расцепителя.

Таблица 4.1

### Результаты опыта

Ток нагрузки $I_{нагр}$ , А						
Время срабатывания $t_{ср}$ , с						

### Контрольные вопросы

1. Назначение воздушных 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 характеристики теплового расцепителя.
7. Основные параметры воздушных выключателей.

### *Лабораторная работа № 5*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА**

### *Цель работы*

1. Ознакомиться с конструкциями электромагнитного реле максимального тока.
2. Произвести проверку и снятие основных характеристик реле максимального тока.

### *Методические указания*

Плавкие предохранители (лабораторная работа № 1) – простые, но не совершенные аппараты защиты. Изменение тока срабатывания возможно только ступенчатое, путем замены плавкой вставки, а регулирование времени срабатывания вообще невозможно. В этом отношении более совершенным аппаратом токовой защиты электрических приемников и цепей являются максимальные токовые реле.

Максимальным токовым реле называют реле, реагирующее на увеличение тока в защищаемой цепи. С помощью таких реле осуществляются максимальные токовые защиты, отключающие электроустановки при сверхтоках, возникающих при перегрузках и коротких замыканиях.

Устройство одного из видов реле максимального тока представлено на рис. 5.1.

Катушку 1 включают последовательно в контролируемую цепь с током нагрузки  $I_n$ . Когда этот ток достигает величины заданного тока срабатывания, при котором электромагнитная сила в зазоре становится выше противодействующей силы пружины 12, якорь 3 притягивается к полюсному наконечнику 2. Происходит размыкание контактов 10–11 и замыкание контактов 6–7. Подвижные кон-



такты 7 и 10 закреплены на якоре 3 с помощью пластмассовых колодок 9. Сила нажатия в контактах создается пружинами 8.

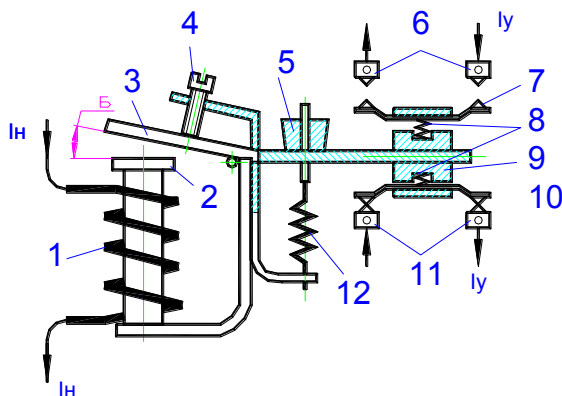


Рис. 5.1

Ток срабатывания электромагнитного реле можно регулировать изменением числа витков катушки 1. Силу натяжения возвратной пружины 12 изменяют с помощью гайки 5 и рабочего воздушного зазора, который устанавливают с помощью винта 4. Диапазон регулирования тока срабатывания таких реле достигает четырех и настраивается бесступенчато, что весьма важно для достижения высокой точности работы. Время срабатывания электромагнитного токового реле обычно не превышает 0,03 с при  $I_H = 2,0 I_{уст}$  и 0,1 с при  $I_H = 1,3 I_{уст}$ . На таком принципе работают и реле минимального тока, а также реле минимального и максимального напряжения. Максимальные токовые реле электромагнитного принципа действия могут работать в цепях как переменного, так и постоянного тока.

Минимальный ток, при котором срабатывает реле, называют током срабатывания  $I_{ср}$ .

Максимальный ток, при котором якорь реле возвращается в исходное положение, называют током возврата  $I_{в}$ .

Отношение тока возврата к току срабатывания реле называют коэффициентом возврата:

$$K_{в} = I_{в} / I_{ср}.$$

Коэффициент возврата всегда меньше единицы: чем ближе  $K_{в}$  к единице, тем выше чувствительность максимальной токовой защиты.

К группе электромагнитных токовых реле относится токовое реле типа РТ-40 (рис. 5.2).

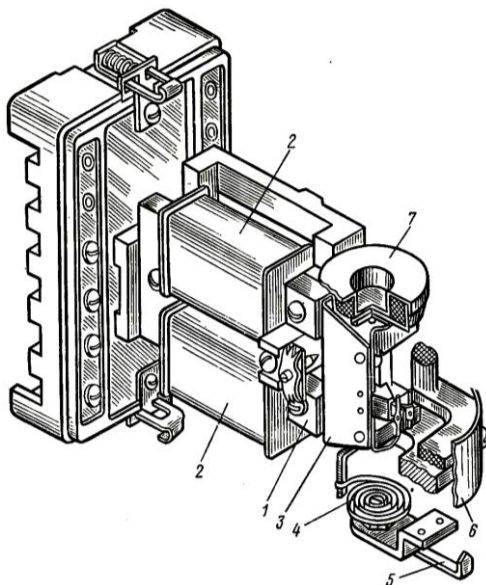


Рис. 5.2

Составными частями реле максимального тока типа РТ-40 являются: магнитопровод – П-образный шихтованный сердечник 1, выполненный из пластин электротехнической стали; две обмотки 2, расположенные на полюсах магнитопровода, которые могут включаться последовательно или параллельно; якорь 3 Г-образной формы, выполненный из тонкого листа электротехнической стали. С осью якоря связаны два мостиковых контакта (закрывающий и размыкающий) с серебряными накладками. Ток срабатывания регулируется изменением натяжения спиральной противодействующей пружины 4. Натяжение пружины и значение тока уставки (тока срабатывания) фиксируются указателем 5 по шкале 6. За счет изменения натяжения пружины уставка по току срабатывания изменяется в четыре раза. При переключении последовательного соединения обмоток на параллельное ток срабатывания увеличивается в два раза.

С осью якоря связан демпфер  $\gamma$  в виде тороида, заполненного кварцевым песком. При любом ускорении якоря и связанной с ним подвижной системы часть кинетической энергии тратится на преодоление сил трения между песчинками. С помощью демпфера уменьшаются вибрации как всей подвижной системы, так и контактов при их включении.

При протекании тока по катушкам реле образуется магнитный поток, замыкающийся через магнитопровод электромагнита, воздушные зазоры и стальной якорь. Якорь, находясь в магнитном поле, намагничивается и стремится повернуться так, чтобы его концы приблизились к полюсам. Этому противодействует спиральная пружина, создающая противодействующий момент  $M_{\text{мех}}$  и стремящаяся повернуть ось в противоположном направлении. Электромагнитный момент  $M_{\text{эл}}$  пропорционален квадрату тока, протекающего по обмотке реле. Он зависит от величины тока  $I_p$ , числа витков обмотки  $W$  и угла поворота якоря:

$$M_{\text{эл}} = \alpha \cdot (I_p \cdot W)^2 = k \cdot I_p^2.$$

$$\text{Вращающий момент реле } M_{\text{вр}} = k \cdot I_p^2 - M_{\text{мех}}.$$

Коэффициент  $k$  зависит от конструктивных данных реле. При перемещении якоря изменяется магнитное сопротивление цепи, которое вызывает изменение магнитного потока и электромагнитного момента реле. Подбирая форму полюсов и якоря, можно получить различные зависимости электромагнитного момента от угла поворота якоря. Поэтому работа реле должна происходить в пределах определенных углов поворота якоря, при которых обеспечивается достаточное нажатие в контактах.

При увеличении тока в обмотках реле электромагнитный момент  $M_{\text{эл}}$  возрастает. Когда он превысит противодействующий момент пружины  $M_{\text{мех}}$ , якорь поворачивается вместе с осью и замыкает контакты. Момент замыкания контактов является моментом срабатывания реле.

Условие срабатывания реле

$$M_{\text{сп}} = k \cdot I_{\text{сп}}^2 - M_{\text{мех}} \geq 0.$$

$$\text{Ток срабатывания реле } I_{\text{сп}} \geq \sqrt{\frac{M_{\text{мех}}}{k}}.$$

Током срабатывания реле называется наименьший ток (при данной уставке) в обмотках реле, при котором реле срабатывает, замыкая свои контакты.

При прекращении или уменьшении величины тока в обмотках реле якорь под действием пружины возвращается в исходное положение и контакты размыкаются. Наибольшее значение тока (при данной уставке), при котором якорь возвращается в начальное положение, называется током возврата реле  $I_B$ . Отношение тока возврата реле к току срабатывания реле называется коэффициентом возврата реле:

$$K_B = \frac{I_B}{I_{cp}}$$

У реле, реагирующих на возрастание тока (максимальных реле), коэффициент возврата меньше единицы. Величина коэффициента возврата зависит от конструкции реле и его состояния.

Плавное изменение тока срабатывания реле производится передвижением указателя по шкале. При этом происходит изменение натяжения пружины (ее момента сопротивления), а следовательно, и тока срабатывания реле. При передвижении указателя из одного крайнего положения в другое ток уставки реле изменяется в два раза. Концы обмоток реле выведены к зажимам, и с помощью перемычек обмотки можно соединять последовательно или параллельно.

При последовательном соединении обмоток (рис. 5.3, а) токи срабатывания реле соответствуют шкале уставок.

При параллельном соединении обмоток (рис. 5.3, б) по каждой катушке протекает половина тока, поэтому ток срабатывания реле при одном и том же положении указателя будет в два раза больше, чем при последовательном соединении.

Используя оба вида регулировки, можно изменять уставку реле в четыре раза. Наибольшая уставка, которая может быть при параллельном соединении обмоток реле и крайнем правом положении указателя, приводится в знаменателе дроби в полном наименовании реле. Например, РТ-40/0,2 имеет наибольший ток уставки, равный 0,2 А.

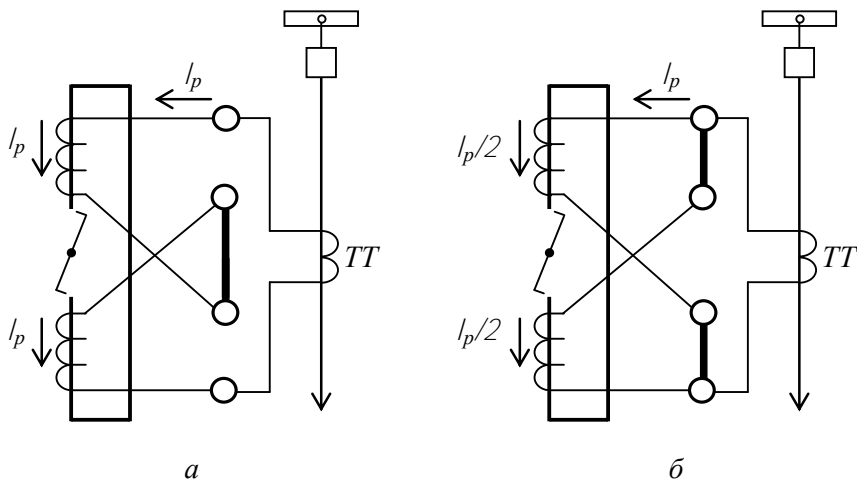


Рис. 5.3

Реле серии РТ исполняются для цепей переменного тока частотой 50–60 Гц. Коэффициент возврата  $K_v$  реле не менее 0,85 на первой уставке и не менее 0,8 на остальных. Дополнительная регулировка обеспечивает  $K_v$  не менее 0,85 на любой уставке шкалы.

Все реле РТ-40 имеют один замыкающий и один размыкающий контакты. У реле серии РТ-40 коэффициент возврата не менее 0,85 на первой уставке (минимальной) и не менее 0,8 на остальных уставках шкалы.

Время срабатывания  $t_{ср} = 0,1$  с при токе в катушках реле равном  $1,2 I_{ср}$  и  $0,03$  с при  $3 I_{ср}$  и выше.

Контакты реле способны коммутировать в цепи постоянного тока индуктивную нагрузку мощностью 60 Вт, а в цепи переменного тока – нагрузку мощностью 300 ВА при напряжении 220 В и токе до 2 А.

Потребляемая мощность при токе  $I_{ср}$  находится в пределах 0,2–0,8 ВА. Причем меньшую величину имеют реле с уставкой до 2 А, большую величину – реле с уставкой до 200 А.

При защите асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором ток уставки  $I_{уст}$  реле максимального тока выбирается по пусковому току двигателя  $I_{пуск.дв.}$ :

$$I_{уст} \geq (1,3-1,5) I_{пуск.дв.}$$

При защите асинхронных двигателей с фазным ротором от короткого замыкания ток уставки реле определяется по формуле

$$I_{уст} \geq (2,25-2,5) I_{ном.дв.}$$

Схема включения токовых электромагнитных реле приведена на рис. 5.4.

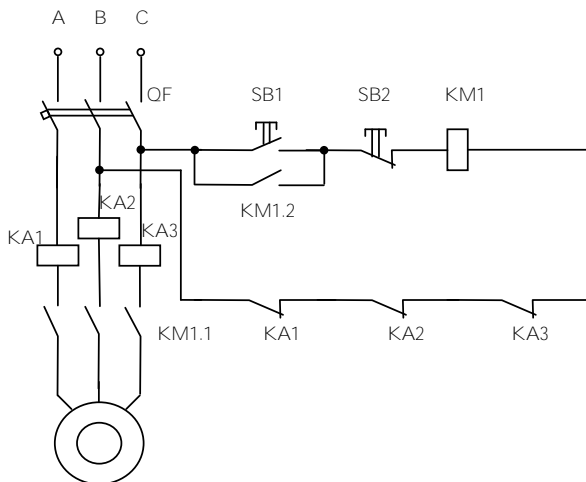


Рис. 5.4

### *Порядок выполнения работы*

Собрать схему для исследования реле максимального тока типа РТ-40 (рис. 5.5). Установить требуемую величину тока уставки  $I_{уст}$ , перемещая регулятор реле. Включить стенд, затем включить источник питания 24 В одноименным тумблером. Включить ЛАТР и увеличивать ток нагрузки до момента срабатывания реле максимального тока (индикатор загорится), зафиксировать величину тока срабатывания  $I_{ср}$ . Затем уменьшить величину тока до момента отпускания реле (индикатор вновь погаснет). Зафиксировать показания амперметра – это будет ток возврата  $I_{в}$ . Повторить опыт несколько раз при одном значении тока уставки и затем, так же при других значениях тока уставки. Данные занести в табл. 5.1.

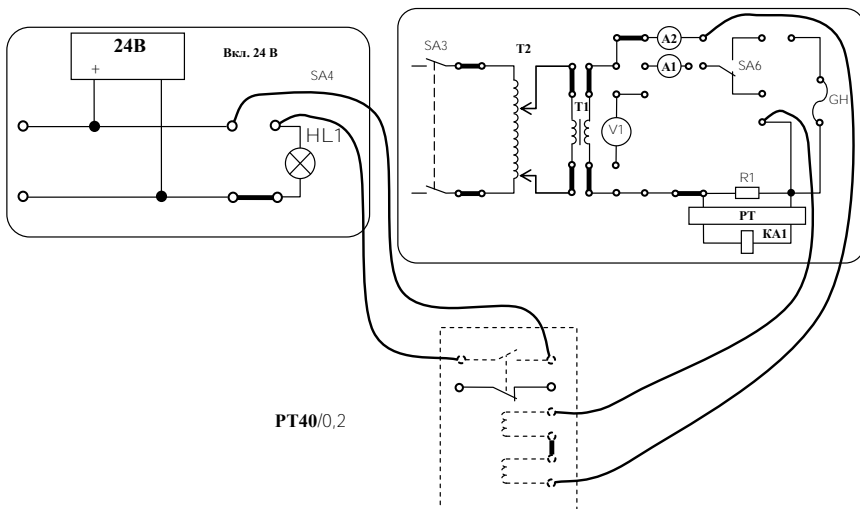


Рис. 5.5

Таблица 5.1

### Результаты опыта

$I_{уст}$	$I_{ср}$			$I_{ср.ср}$	$I_{в}$			$I_{в.ср}$	$K_B$
	1	2	3		1	2	3		

$I_{ср.ср}$  – средняя по трем измерениям величина тока срабатывания:

$$I_{ср.ср} = \frac{I_{ср.1} + I_{ср.2} + I_{ср.3}}{3}, \text{ А};$$

$I_{в.ср}$  – средняя по трем измерениям величина тока возврата:

$$I_{в.ср} = \frac{I_{в.1} + I_{в.2} + I_{в.3}}{3}, \text{ А}.$$

### *Контрольные вопросы*

1. Для чего предназначены максимальные токовые реле?
2. Каким образом регулируется ток срабатывания у электромагнитных максимальных токовых реле?
3. Какие реле имеют коэффициент возврата меньше единицы, а какие – больше единицы?
4. Рассказать принцип действия реле максимального тока.
5. Пояснить работу схемы с реле максимального тока для защиты асинхронного двигателя от токов короткого замыкания.

### *Лабораторная работа № 6*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЛЕ**

### *Цель работы*

1. Ознакомиться с конструкциями тепловых реле.
2. Изучить принцип действия тепловых реле.

### *Методические указания*

При незначительных длительных перегрузках в электродвигателях, электромагнитах и других токоприемниках, возникающих при возрастании момента сопротивления на рабочем органе машины или за счет витковых замыканий в обмотках, протекает ток, превышающий допустимое значение на 20–50 %. Такой режим работы приводит к перегреву обмоток и электродвигателя в целом, а следовательно, к преждевременному выходу его из строя. Для защиты электрооборудования от таких перегрузок служат тепловые реле, которые включают последовательно в контролируемую цепь.

Тепловые реле работают в цепях переменного и постоянного тока. Их используют как самостоятельно, так и в составе магнитных пускателей.

Основным элементом теплового реле является биметаллическая пластина, состоящая из двух металлов с различными коэффициентами линейного расширения. Широкое распространение в тепловых реле получили такие материалы, как инвар (малое значение коэф-



фициента линейного расширения  $\alpha$ ) и хромоникелевая сталь (большое значение  $\alpha$ ).

Нагрев биметаллического элемента может производиться за счет тепла, выделяемого в пластине током нагрузки. Очень часто нагрев биметалла производится от специального нагревателя, по которому протекает ток нагрузки. Лучшие характеристики получаются при комбинированном нагреве, когда пластина нагревается как за счет тепла, выделяемого специальным нагревателем, так и протекаемым через пластину током нагрузки. Прогибаясь, биметаллическая пластина своим свободным концом воздействует на контактную систему, обеспечивая срабатывание реле. Если с пластиной непосредственно связать подвижный контакт реле, то малая скорость его движения не обеспечит гашение дуги при отключении цепи. Поэтому воздействие пластины на контакт передается, как правило, через ускоряющие устройства, наиболее совершенным из которых является «прыгающий» контакт (рис. 6.1).

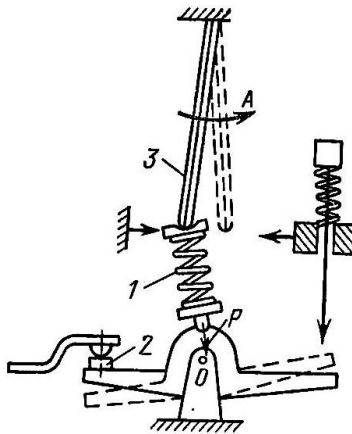


Рис. 6.1

В холодном состоянии биметаллическая пластина 3 занимает крайнее левое положение. Пружина 1 создает силу  $P$ , которая замыкает контакт 2. При нагреве пластины 3 она изгибается вправо (по стрелке). В момент, когда пластина 3 направлена на ось вращения контакта 0, пружина 1, сжимаясь, развивает максимальную силу. При дальнейшем нагреве пластины пружина 1 быстро переходит в крайнее

правое положение и контакты 2 размыкаются с большой скоростью, обеспечивая надежное гашение дуги. Современные контакторы и магнитные пускатели комплектуются с однофазными (ТРП) или двухфазными (ТРН) тепловыми реле. Реле типа ТРП (рис. 6.2) имеет комбинированную систему нагрева. Биметаллическая пластина 1 нагревается как за счет прохождения через нее тока, так и за счет нагревателя 5. При прогибе конец биметаллической пластины воздействует на прыгающий контактный мостик 3. Реле допускает плавную ручную регулировку тока срабатывания в пределах  $\pm 25\%$  номинального тока уставки. Эта регулировка осуществляется ручкой 2, меняющей первоначальную деформацию биметаллической пластины. Возврат реле в исходное положение после срабатывания производится кнопкой 4. Высокая температура срабатывания (выше  $200^\circ\text{C}$ ) уменьшает зависимость работы реле от температуры окружающей среды.

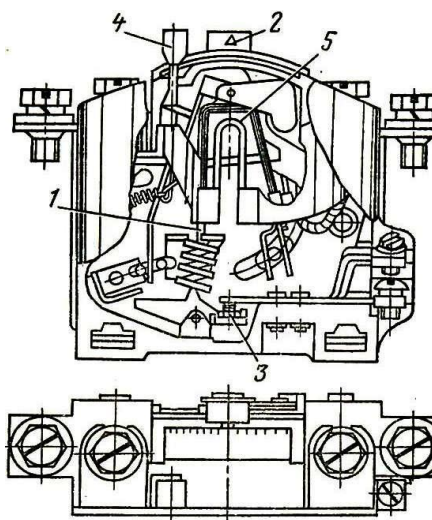


Рис. 6.2

Основной характеристикой теплового реле является зависимость времени срабатывания от тока нагрузки (времятоковая характеристика). На рис. 6.3 показаны времятоковые характеристики двигателя (кривая 1) и двух тепловых реле с различными токами срабатывания. У одного реле (кривая 2) ток срабатывания равен номиналь-

ному току двигателя, у другого – на 20 % больше (кривая 3). Лучшее согласование характеристик реле и двигателя во втором случае. Для обеспечения надежной защиты времятоковая характеристика реле должна проходить во всем диапазоне изменения токов перегрузки ниже времятоковой характеристики защищаемого оборудования, что достигается правильным выбором теплового реле по току. Номинальный ток реле выбирается равным номинальному току защищаемого объекта. Срабатывание реле происходит при  $(1,2-1,3) I_{\text{ном}}$ . Время срабатывания реле составляет 20 мин. Современные контакторы и магнитные пускатели комплектуются с однофазными (ТРП) и двухфазными (ТРН) тепловыми реле. Номинальный ток 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 до 30 % от номинального значения, а некоторые типы реле (ТРН) имеют предел регулирования от 0,75 до  $1,25 I_{\text{ном}}$ .

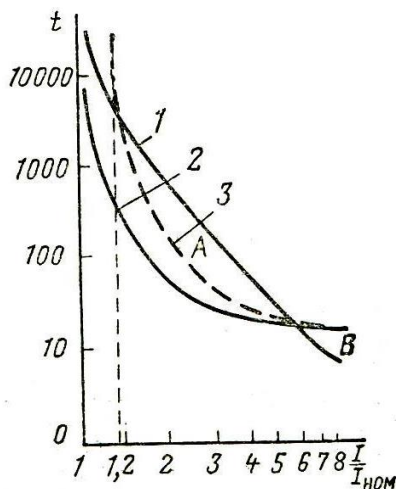


Рис. 6.3

Тепловые реле выбираются по номинальному току теплового элемента и номинальному току двигателя:

$U_{\text{ном.реле}} \geq U_{\text{сети}}$ ;  $I_{\text{ном.реле}} = I_{\text{ном.дв}}$  – для двигателей, работающих в длительном режиме работы.

Для двигателей, работающих в кратковременном режиме, тепловая защита не используется, за исключением случаев возможной работы двигателя на упор.

### Порядок выполнения работы

В качестве исследуемого применяется реле ТРН-10 с номинальным током нагревательного элемента 0,8 А. Для исследования необходимо собрать схему, как показано на рис. 6.4.

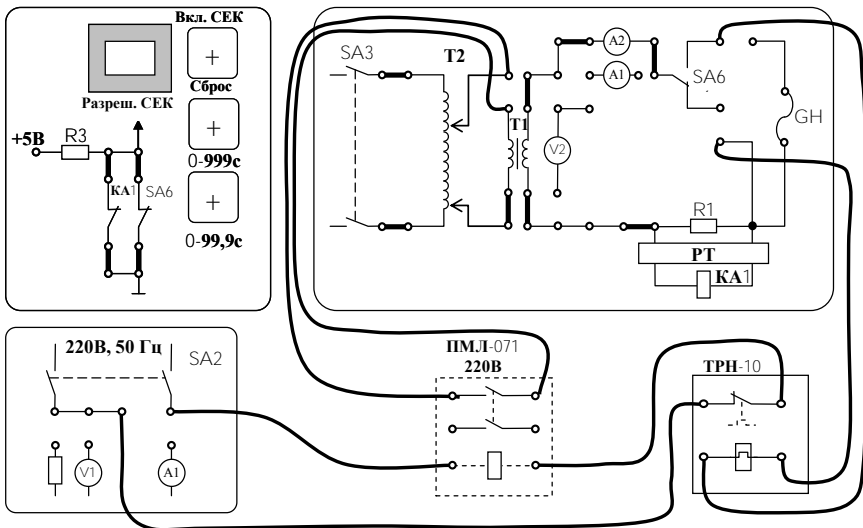


Рис. 6.4

Работу начинают с включения тумблеров SA3 и SA6 и подачи напряжения 220 В на катушку пускателя (тумблер SA2). ЛАТРом устанавливают необходимую величину тока нагрузки. Затем отключают тумблер SA2, обнуляют показания секундомера и после паузы (3–5 мин), необходимой для остывания биметаллического элемента, тумблер SA2 вновь включают. Секундомер начинает отсчет времени и останавливается после срабатывания теплового реле.

Перед повторением эксперимента необходимо сделать паузу для полного остывания биметаллического элемента реле и затем вер-

нуть его в исходное состояние нажатием возвратной кнопки. Затем устанавливают другую величину тока нагрузки и повторяют вышеприведенные действия. Данные, полученные по показаниям приборов, заносят в таблицу и строят зависимость времени срабатывания теплового реле от тока нагрузки.

Ток нагрузки $I_{\text{нагр}}, \text{A}$						
Время срабатывания $t_{\text{ср}}, \text{с}$						

### *Контрольные вопросы*

1. Что представляет собой биметаллическая пластина, применяемая в тепловых реле?
2. Как регулируется ток срабатывания теплового реле с непосредственным и косвенным нагревом?
3. Как зависит величина прогиба биметаллической пластины от ее длины и толщины?
4. Защищает ли тепловое реле от коротких замыканий?

### *Лабораторная работа № 7*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ**

### *Цель работы*

1. Изучить принцип действия тиристорного регулятора напряжения (ТРН).
2. Исследовать схему управления тиристорного регулятора напряжения.
3. Исследовать свойства тиристорного регулятора напряжения как электрического аппарата.

### *Методические указания*

Схема тиристорного регулятора напряжения дана на рис. 7.1.

Силовая часть представляет собой тиристорную пару, в которой тиристоры включены встречно. Управление величиной напряжения на нагрузке (вольтметр  $V1$ ), а следовательно и током нагрузки (ам-

перметр А1) достигается управлением угла отпираания тиристоров. При этом осциллограмма, снимаемая с нагрузки, имеет вид, представленный на рис. 7.2. При  $\alpha = \pi$  тиристоры практически закрыты и на нагрузке нет напряжения, а при  $\alpha = 0$  – полностью открыты и напряжение на нагрузке имеет вид полных полувольт и соответствует максимальному значению, получаемому от выпрямителя.

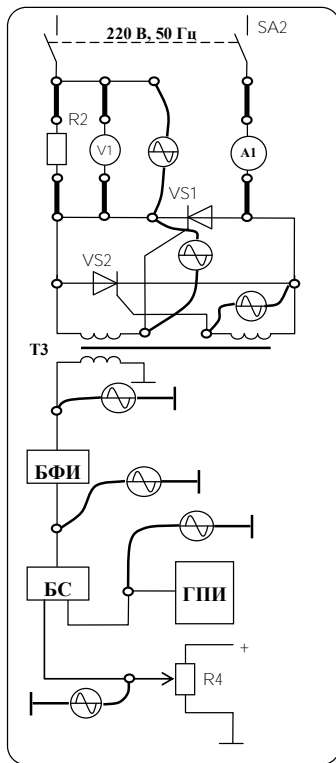


Рис. 7.1

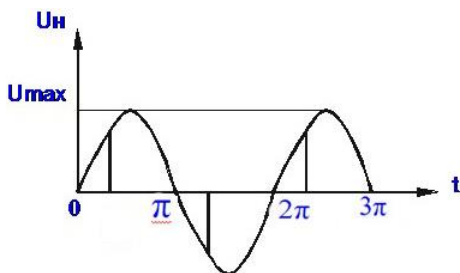


Рис. 7.2

Управление углом отпирания тиристоров осуществляет схема управления, формирующая синхронизированные с сетевым напряжением импульсы управления, передаваемые на управляющие электроды тиристоров через импульсные трансформаторы, позволяющие произвести гальваническую развязку силовых цепей преобразователя от цепей управления. Синхронизация импульсов управления с сетевым напряжением достигается путем формирования в блоке ГПИ из пониженного синусоидального напряжения импульсов пилообразной формы (рис. 7.3).

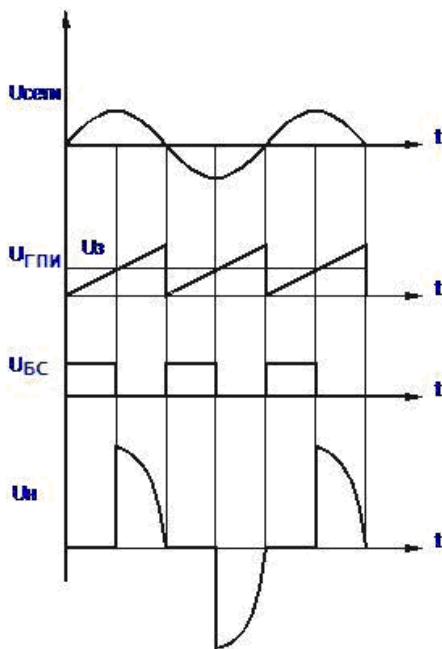


Рис. 7.3

Последние поступают в блок сравнения БС, равно как и напряжение задания, снимаемое с потенциометра R4. В результате сравнения этих величин блок БС формирует прямоугольные импульсы, скважность которых зависит от положения движка потенциометра R4, что показано на рис. 7.3. Последние и управляют углом отпира-ния тиристоров, преобразуясь в блоке БФИ для передачи через обмотки импульсного трансформатора ТЗ.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Собрать схему согласно рис. 7.1.
2. Включить сетевой выключатель SA1, проверить наличие напряжения в сети по свечению индикаторной лампы. Затем включить напряжение питания ТРН тумблером SA2.
3. Снять осциллограммы сигналов на выходе блоков ГПИ, БС, БФИ и на нагрузке в нескольких положениях потенциометра R4, в том числе при минимальном и максимальном напряжении на нагрузке (точки подключения осциллографа показаны на рис. 7.1; подключение осциллографа к нагрузке следует производить через делитель напряжения). Напряжение на движке R4 измерять тестером либо осциллографом. По осциллограммам определить соответствующие углы отпира-ния тиристоров.
4. Снять регулировочную характеристику тиристорного регулятора напряжения  $U_n = f(U_3)$ .  $U_3$  измерять с помощью тестера.
5. Для двух-трех значений  $U_3$  по двум точкам снять выходные характеристики  $U_n = f(I_n)$ .
6. По окончании опыта отключить тумблер SA2 и сетевой выключатель SA1.

#### *Контрольные вопросы*

1. Пояснить принцип действия тиристорного регулятора напряжения.
2. Пояснить принцип действия системы управления тиристорным регулятором напряжения.
3. С какой целью применяется гальваническая развязка силовых и управляющих цепей?



4. Для чего необходима синхронизация управляющих импульсов с сетевым напряжением?

### *Лабораторная работа № 8*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОССЕЛЬНОГО МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ И МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ С САМОПОДМАГНИЧИВАНИЕМ**

### *Цель работы*

1. Изучить назначение, конструкцию и принцип действия дроссельного магнитного усилителя (ДМУ) и магнитного усилителя с самоподмагничиванием (МУС).
2. Снять нагрузочные характеристики усилителей.

### *Методические указания*

**Простейший магнитный усилитель (МУ) на одном сердечнике.** МУ являются ферромагнитными устройствами, предназначенными для увеличения мощности нагрузки относительно малой мощности управления. МУ отличаются от других типов электрических усилителей своей надежностью, большой механической прочностью, простотой конструкции, удобством эксплуатации и практически неограниченным сроком службы. Благодаря своим положительным качествам МУ получили широкое распространение в приборах и устройствах автоматики, телемеханики и вычислительной техники. Особое значение МУ имеют при использовании в бортовых устройствах летательных аппаратов и кораблей.

В отличие от электронных усилителей, у которых управляемыми элементами служат электровакуумные или полупроводниковые приборы, в МУ роль управляемых элементов выполняют катушки ин-

дуктивности с ферромагнитными сердечниками. Изменение индуктивности катушки зависит от величины подмагничивающего тока, создаваемого управляющим сигналом.

Схема простейшего МУ (дроссель с подмагничиванием) показана на рис. 8.1.

Здесь на ферромагнитном сердечнике имеются две обмотки:  $W_y$  – обмотка управления;  $W_p$  – рабочая обмотка или обмотка переменного тока, которая включается в цепь нагрузки  $R_H$ .

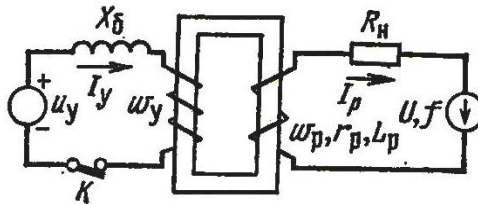


Рис. 8.1

В обмотку  $W_y$  подается управляющий постоянный ток  $I_y$ . Кривая намагничивания материала магнитопровода приведена на рис. 8.2.

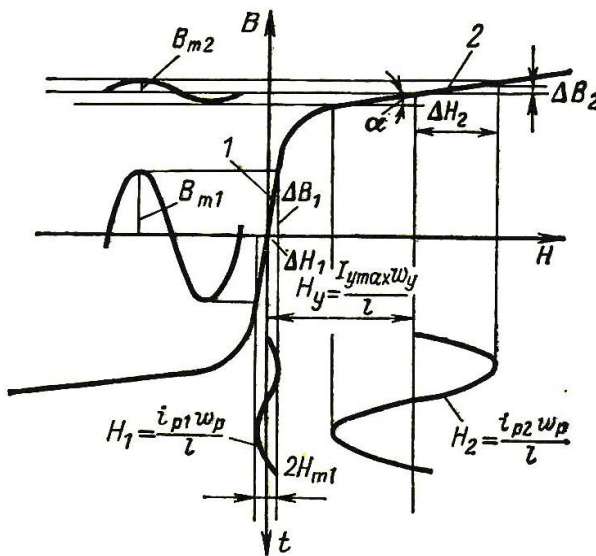


Рис. 8.2

При прохождении переменного тока по обмотке  $W_p$  в обмотке  $W_y$  наводится переменная ЭДС. Эта ЭДС будет создавать переменный ток в цепи управления, для ограничения которого включается балластный дроссель  $X_b$ .

Ток в рабочей цепи (цепи нагрузки)

$$I_{н\sim} = \frac{\sim U}{\sqrt{X_p^2 + R^2}},$$

где  $X_p$  – индуктивное сопротивление рабочей обмотки  $W_p$ :

$$X_p = \omega L_p = 2\pi f L_p = 2\pi f \frac{W_p^2 S_c \mu}{l_{cp}},$$

где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота рабочей цепи;

$L_p$  – индуктивность  $W_p$ ;

$S_c$  – площадь поперечного сечения сердечника, м<sup>2</sup>;

$\mu$  – магнитная проницаемость материала сердечника, Гн/м;

$l_{cp}$  – средняя длина пути магнитного потока в сердечнике, м;

$R = R_n + r_p$  – полное активное сопротивление (нагрузки –  $R_n$  и рабочей обмотки –  $r_p$ ).

Так как  $W_p$ ,  $S_c$  и  $l_{cp}$  – величины постоянные для данного МУ, то изменять значение  $L_p$ , а следовательно и  $X_p$  можно лишь путем изменения магнитной проницаемости материала сердечника  $\mu$ .

В качестве материалов для сердечников в МУ применяются железокремниевые, железоникелевые сплавы и оксидные ферромагнетики (ферриты). В таких материалах  $\mu$  в большой степени зависит от величины напряженности магнитного поля –  $H$ . При токе управления  $I_y = 0$  состояние магнитопровода характеризуется ненасыщенной зоной 1. В этой зоне магнитная проницаемость велика и индуктивное сопротивление обмотки  $W_p$  максимально. Обычно  $R_n \ll X_p$  и ток в цепи рабочей обмотки имеет минимальное значение. При подаче в обмотку управления постоянного тока  $I_{y \max}$ , который переместит рабочую зону в область 2, магнитная проницаемость сердечника и индуктивное сопротивление рабочей обмотки резко уменьшаются. В этой зоне  $X_p \ll R_n$  и ток в рабочей обмотке определяется только

сопротивлением нагрузки. Так, подмагничивая сердечник постоянным током, можно управлять  $L_p$  или  $X_p$ , а следовательно и переменным током в этой цепи. Характеристика управления ДМУ приведена на рис. 8.3.

По оси абсцисс отложен ток управления, приведенный к рабочей обмотке:  $I'_y = I_y \cdot W_y / W_p$ . Идеальная характеристика управления 1 является прямой, идущей из начала координат под углом  $45^\circ$  к оси  $I'_y$ . Реальная характеристика 2 отличается от идеальной током холостого тока  $I_{H0}$  и плавным переходом от линейной части характеристики к току  $I_{H \max}$ . В линейной зоне характеристики соблюдается равенство средних значений МДС:

$$I_p \cdot W_p = I_y \cdot W_y \quad \text{или} \quad I_p = I'_y.$$

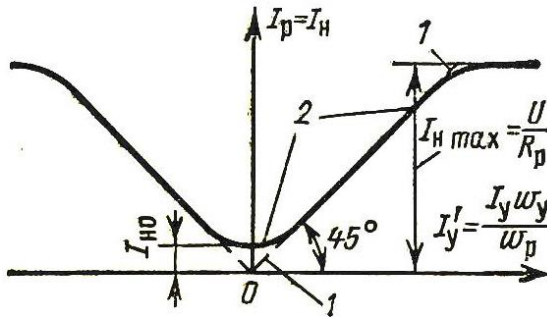


Рис. 8.3

Рассмотренная простейшая схема МУ на одном сердечнике имеет следующие недостатки:

1. В обмотке управления  $W_y$  индуцируется ЭДС, наводимая из рабочей обмотки  $W_p$ .
2. Искажается форма кривой тока в нагрузке (наличие четных и нечетных гармоник).

Первый недостаток можно частично устранить, если в цепь обмотки управления  $W_y$  включить большую индуктивность  $X_6$  (см. рис. 8.1). Однако возрастает инерционность МУ и уменьшается коэффициент усиления. Поэтому МУ, выполненные на одном сердечнике, имеют очень ограниченное применение.

Для устранения вышеуказанных недостатков применяется схема МУ на двух сердечниках. Здесь рабочие обмотки имеют одинаковое число витков и намотаны каждая на свой сердечник, а обмотка управления ( $W_y$ ) охватывает оба сердечника. Рабочие обмотки ( $W_{p1}$ ,  $W_{p2}$ ) должны быть соединены так, чтобы создаваемые ими магнитные потоки ( $\Phi_{p1}$  и  $\Phi_{p2}$ ) были направлены встречно в сердечнике в каждом полупериоде (рис. 8.4).

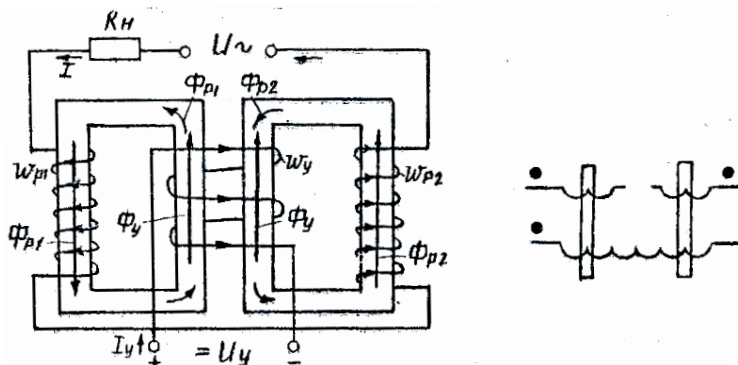


Рис. 8.4

МУ конструктивно могут выполняться в различных вариантах, например, рабочие обмотки включают параллельно (при большой величине нагрузочного сопротивления) или последовательно-встречно, а обмотки управления – согласно. В ряде случаев применяются МУ, выполненные на трёхстержневом Ш-образном сердечнике с утолщенным средним стержнем.

**Промышленная серия МУ.** В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются МУ серии ТУМ и УМ. Серия ТУМ (тороидальный) предназначена для работы в системах автоматического регулирования в качестве входных усилителей, обеспечивающих усиление и суммирование нескольких управляющих сигналов. Суммирование сигналов осуществляется с помощью семи управляющих обмоток.

Усилители серии УМ предназначены для использования в качестве бесконтактных реле и выходных каскадов для питания маломощных серводвигателей. МУ серии ТУМ изготавливаются пяти габаритов в зависимости от размеров сердечника – ТУМ-А1 – ТУМ-А5. Все усилители этой серии выполняются на двух ленточных кольце-

вых сердечниках, изготовленных из холоднокатаной текстурованной электротехнической стали. На каждом сердечнике имеется по две рабочие обмотки с самостоятельными выводами, которые могут соединяться последовательно или параллельно. Семь обмоток управления охватывают оба сердечника.

МУ серии ТУМ выпускаются на четыре напряжения переменного тока: 36, 100, 127, 220 В.

Усилители серии УМ предназначены для использования в качестве силовых МУ в различных схемах автоматизированного электропривода. Диапазон мощностей УМ 0,07–25 кВт. Они подразделяются на однофазные (УМ-1П) и трехфазные (УМ-3П). Выпускаются на три основных напряжения: 127, 220 и 380 В.

**МУ с обратной связью (ОС).** Для увеличения коэффициентов усиления по току и мощности при малом входном сигнале в МУ применяются обратные связи.

Обратная связь может быть внешней и внутренней.

Для осуществления внешней ОС применяются обмотки ОС. Внешняя обратная связь может осуществляться по току (последовательная) или по напряжению (параллельная).

Последовательная ОС заключается в том, что в нагрузочную цепь последовательно с нагрузкой включают обмотку обратной связи  $W_{oc}$ . В этом случае весь нагрузочный ток будет проходить через обмотку  $W_{oc}$ .

Параллельная ОС (ОС по напряжению) заключается в том, что обмотку  $W_{oc}$  подключают параллельно нагрузке. В этом случае токи  $I_{oc}$  и  $I_n$  будут распределяться обратно пропорционально сопротивлениям обмоток  $R_{oc}$  и  $R_n$ .

Ток в обмотке обратной связи  $W_{oc}$  создает дополнительный магнитный поток обратной связи  $\Phi_{oc}$ . Направление потока  $\Phi_{oc}$  постоянно, а его полярность определяется полярностью  $W_{oc}$ . Если  $\Phi_{oc}$  действует согласно с  $\Phi_y$ , то ОС называется положительной. Если же потоки действуют навстречу друг другу, то МУ имеет отрицательную ОС. Переход от положительной ОС к отрицательной происходит при изменении полярности тока управления  $I_y$ . При наличии нагрузки на переменном токе ее включают до выпрямителя, который нужен для осуществления ОС путем подачи в  $W_{oc}$  только выпрямленного тока  $I_{oc}$ .

МУ с внутренней ОС осуществляется путем включения в цепь  $W_p$  диода  $\nabla D$ , благодаря которому в рабочей цепи будет протекать ток только в одном направлении. Под действием постоянной составляющей выпрямленного тока происходит подмагничивание сердечника. Изменение управляющего тока приводит к изменению  $I_p$ , а следовательно и постоянной составляющей, проходящей по  $W_p$ . Такую схему (рис. 8.5) называют МУ с внутренней ОС или МУ с самонасыщением (МУС). Это название происходит от того, что даже при отсутствии тока управления  $I_y$  на входе МУ постоянная составляющая тока нагрузки в рабочей обмотке  $W_p$  стремится насытить сердечник и ток на выходе МУ достигает значения близкого к максимальному.

Рассматриваемая схема МУ (рис. 8.5) является однополупериодной, так как в ней через нагрузку проходит пульсирующий однополупериодный ток. В моменты, когда ток через диод не проходит, нагрузка как бы отключается от питающего напряжения. Рассмотренная схема является основной для построения более сложных схем МУ.

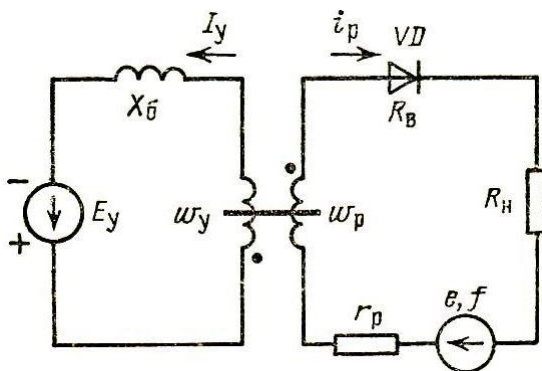


Рис. 8.5

Зависимость тока в цепи нагрузки от тока управления называется нагрузочной характеристикой МУ. Нагрузочная характеристика МУ без ОС симметрична относительно оси ординат, т. е. такой МУ нечувствителен к направлению тока в обмотке управления  $W_y$  (рис. 8.3).

МУ с ОС чувствителен к полярности тока управления  $I_y$ , т. к. при одном направлении тока в  $W_y$  его поле будет совпадать с полем ОС, а при другом направлении они будут противоположны. Нагрузочная характеристика МУ с ОС несимметрична относительно оси ор-

динат (рис. 8.6). Рабочий участок характеристики МУ должен быть прямолинейным.

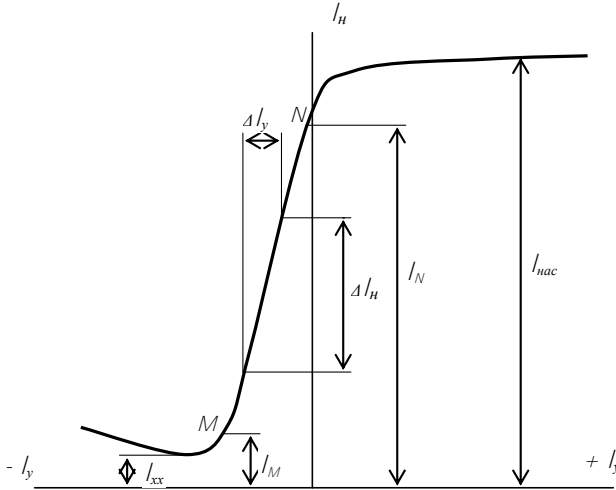


Рис. 8.6

Отношение максимального и минимального значений токов нагрузки на прямолинейном участке характеристики называется коэффициентом кратности тока МУ:

$$K_i = \frac{I_N}{I_M},$$

где  $I_N = 0,85 \cdot I_{нас}$ ,  $I_M = 1,5 \cdot I_{xx}$ .

Отношение приращения мощности в нагрузке к соответствующему приращению мощности в обмотке управления  $W_y$  на прямолинейном участке характеристики называется коэффициентом усиления по мощности:

$$K_P = \frac{\Delta I_H^2 \cdot R_H}{\Delta I_y^2 \cdot R_y},$$



где  $\Delta I_y$  – соответствующее приращение тока в цепи управления;

$R_n$  – сопротивление нагрузки;

$\Delta I_n$  – приращение тока в цепи нагрузки;

$R_y$  – сопротивление обмотки управления.

### *Порядок выполнения работы*

В настоящей работе производится исследование дроссельного МУ типа ТУМ-А5-II. Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Измерить с помощью моста сопротивление обмотки управления  $R_y$ .
2. Измерить сопротивление нагрузки  $R_n$ .
3. Собрать схему (см. рис. 8.1) на стенде. Снять зависимость  $I_n = F(I_y)$  для МУ без обратной связи при различных полярностях  $I_y$ .
4. Собрать схему на рис. 8.2 (см. стенд). Снять зависимость  $I_n = F(I_y)$  для МУ с внешней параллельной ОС (по напряжению) при различных полярностях  $I_y$ .
5. Собрать схему на рис. 8.3 (см. стенд). Снять зависимость  $I_n = F(I_y)$  для МУ с внутренней ОС (МУ с самонасыщением) при различных полярностях  $I_y$ .

### *Содержание отчета*

1. Рабочие схемы и данные измерений.
2. Построить нагрузочные характеристики.
3. Определить коэффициент усиления по току и мощности и коэффициент кратности тока для каждой из схем.

### *Контрольные вопросы*

1. Из чего состоит МУ?
2. Принцип работы простейшего МУ.
3. За счет чего получается усиление в МУ?
4. Принцип работы МУ с самонасыщением.
5. Основные характеристики МУ.
6. Для чего применяется диод в МУ с обратной связью?

## **Литература,**

необходимая при подготовке к выполнению лабораторных работ

### **Основная литература**

1. Чунихин, А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
2. Родштейн, Л.А. Электрические аппараты / Л.А. Родштейн. – 3-е изд. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 303 с.

### **Дополнительная литература**

1. Чунихин, А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1975. – 647 с.
2. Таев, И.С. Электрические аппараты управления / И.С. Таев. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.
3. Основы теории электрических аппаратов / Б.К. Буль [и др.]; под общ. ред. Г.В. Буткевича. – М.: Высшая школа, 1970. – 600 с.
4. Миловзоров, В.П. Электромагнитные устройства автоматики / В.П. Миловзоров. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1983. – 408 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение. ....	3
Лабораторная работа № 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ. ....	4
Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ....	13
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И ЦИФРОВОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ. ....	23
Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ. ....	35
Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА. ....	40
Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ. ....	48
Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ. ....	53
Лабораторная работа № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОССЕЛЬНОГО МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ И МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ С САМОПОДМАГНИЧИВАНИЕМ. ....	57
<b>Л и т е р а т у р а</b> , необходимая при подготовке к выполнению лабораторных работ. ....	66

Учебное издание

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Лабораторный практикум  
для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»,  
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»  
и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Составитель  
САЦУКЕВИЧ Валерий Николаевич

Редактор Н.Н. Грачев  
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 03.01.2011.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,09. Тираж 200. Заказ 1199.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.