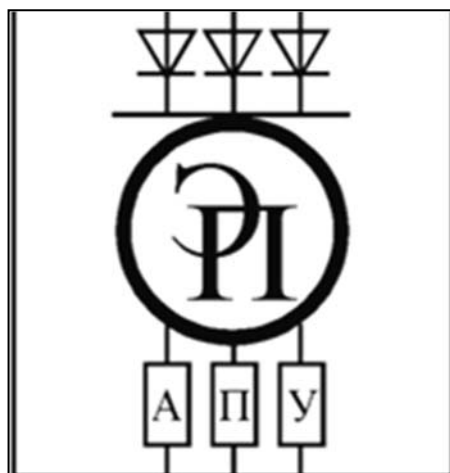


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 62-83
ББК 31.291
Э62

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «14» февраля 2023 г.,
протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. А. С. Коваль

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» очной и заочной форм обучения. В методических рекомендациях изложены программа и порядок выполнения лабораторных работ.

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Ответственный за выпуск	А. С. Коваль
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 81 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Исследование и изучение конструкций предохранителей	4
2 Лабораторная работа № 2. Переходное сопротивление контактов и магнитоуправляемые контакты	7
3 Лабораторная работа № 3. Исследование магнитных пускателей, контакторов переменного тока и тепловых реле	11
4 Лабораторная работа № 4. Изучение конструкций автоматических выключателей	15
5 Лабораторная работа № 5. Исследование электромагнитных реле времени	17
6 Лабораторная работа № 6. Исследование реле максимального тока	20
7 Лабораторная работа № 7. Способы выключения тиристорov	24
8 Лабораторная работа № 8. Тиристорный контактор постоянного тока	30
9 Лабораторная работа № 9. Тиристорный пускатель для управления АД с к. з. ротором	33
10 Лабораторная работа № 10. Тиристорное пусковое устройство для управления АД с к. з. ротором.....	38
Список литературы	45

1 Лабораторная работа № 1. Исследование и изучение конструкций предохранителей

Цель работы: ознакомиться с конструкциями низковольтных предохранителей и экспериментальным снятием времятоковых характеристик плавких вставок.

1.1 Общие сведения

Плавкие предохранители являются аппаратами защиты электроустановок при коротких замыканиях и перегрузках. Защита обеспечивается за счет физического разрушения плавкой вставки при протекании токов перегрузки.

В современных предохранителях для плавких вставок обычно применяются медь и цинк, реже – свинец, а в случаях, когда необходимо обеспечить малое время срабатывания, применяется серебро.

Очевидно, что чем больший ток в цепи, тем быстрее плавкая вставка нагревается до температуры плавления. Зависимость полного времени отключения $t_{откл}$ от тока I , протекающего по защищаемой цепи, называется времятоковой характеристикой предохранителя. Предохранитель будет защищать объект лишь в том случае, если его времятоковая характеристика располагается ниже времятоковой характеристики защищаемого объекта (рисунок 1.1).

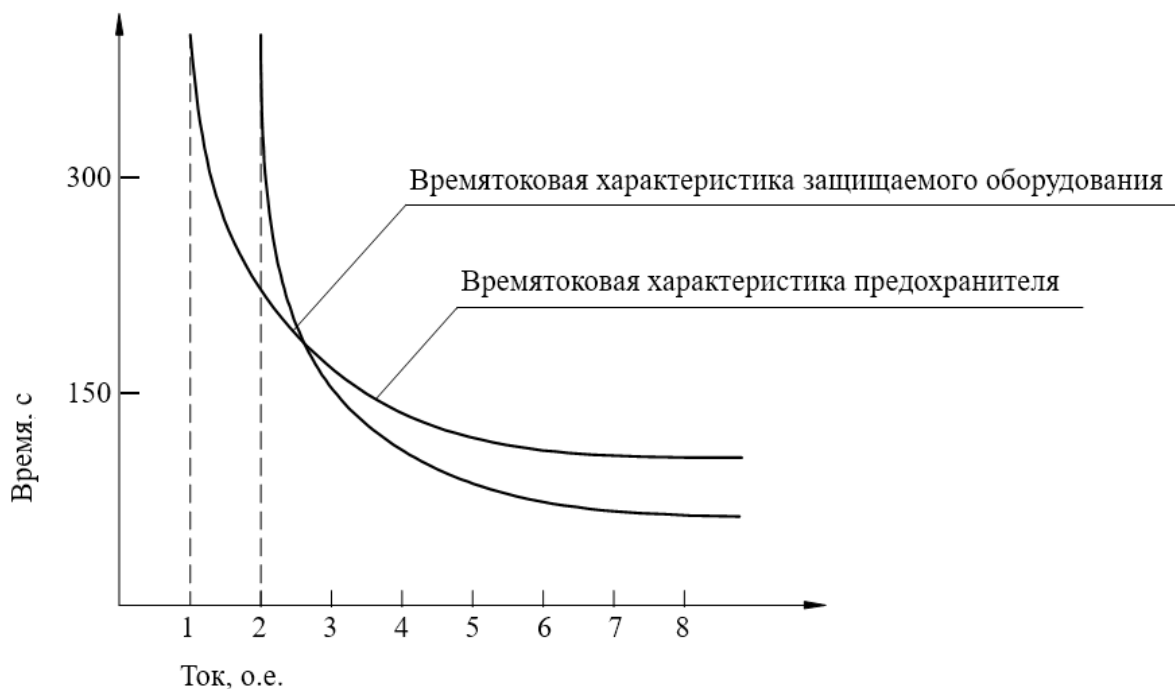


Рисунок 1.1 – Времятоковые характеристики

Основные токовые параметры предохранителя – это номинальный ток $I_{ном}$, пограничный ток $I_{погр}$, предельно отключаемый ток короткого замыкания (к. з.). При номинальном токе температура плавкой вставки не должна превышать

допустимую температуру для конкретного материала, что обеспечивается, в первую очередь, увеличением сечения плавкой вставки.

Пограничный ток – это ток, при котором плавкая вставка сгорает при достижении ею установившейся температуры плавления (минимальный ток, при котором возможно срабатывание предохранителя).

Предельно отключаемый ток – это наибольший ток к. з., который предохранитель может отключить (погасить возникшую электрическую дугу) при возвращающемся напряжении, равном наибольшему рабочему напряжению.

При пограничном токе средняя температура плавкой вставки достигает температуры плавления, а время отключения может быть большим. При этом все детали предохранителя нагреваются до высоких температур. Снизить среднюю температуру плавкой вставки при пограничном токе можно:

1) применением легкоплавких материалов (свинец, цинк, олово). Но большой объем вставки в этом случае затрудняет гашение возникающей дуги и снижает надежность однократного отключения тока к. з.;

2) применением металлургического эффекта, который заключается в следующем: на тонкую медную проволоку наносится шарик олова.

При нагреве вставки сначала плавится олово, имеющее низкую температуру плавления. В месте контакта олова с медной проволокой начинается «растворение» меди и уменьшение сечения вставки. Это вызывает увеличение сопротивления и повышение потерь в этой точке. В результате расплавится медная проволока в месте нанесения олова. При этом средняя температура медных плавких вставок в момент срабатывания снижается до 280 °С.

Стабильность времятоковых характеристик в значительной степени определяется окислением плавкой вставки. Так, пленка окислов медной вставки при изменении температурного режима отслаивается, и сечение вставки постепенно уменьшается. В результате плавкая вставка может перегореть при токе, близком к $I_{ном}$. Для обеспечения стабильности защитных свойств медной плавкой вставки её сечение завышают.

На практике широко распространены вставки с переменным сечением. Наличие участков уменьшенного сечения резко уменьшает время с момента начала к. з. до появления дуги. Процесс гашения начинается еще до момента, когда $I_{к.з.}$ достигает установившегося значения, т. е. предохранитель отключает цепь с токоограничением.

1.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собою стенд НТЦ 08.09 «Электрические аппараты», на котором размещена вся аппаратура управления для снятия токовременных характеристик плавких вставок. Эксперименты проводятся по схеме, представленной на рисунке 1.2. Исследуемая плавкая вставка включается в рассечку цепи на выходе трансформатора $TU2$. Величина тока в этой цепи регулируется автотрансформатором $TU1$. Для измерения времени срабатывания плавких вставок использован электрический секундомер (ЭС), который через контакт токового реле $KA1$ подключен к источнику питания.

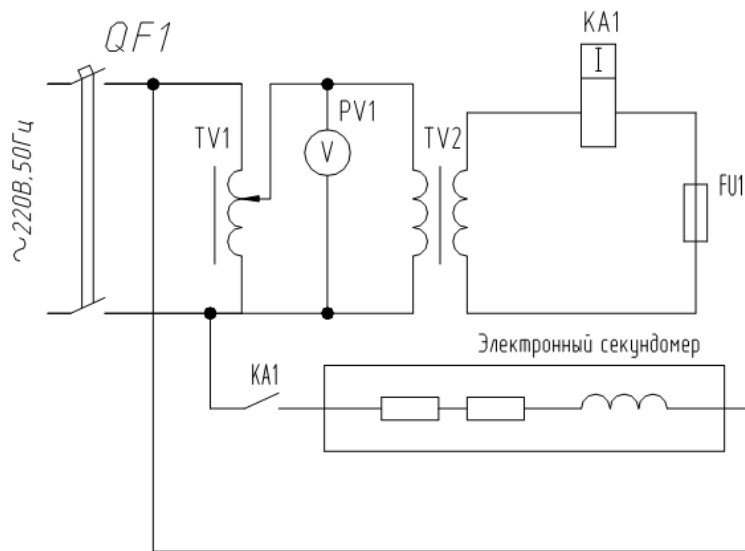


Рисунок 1.2 – Схема электрическая принципиальная установки

Напряжение на стенд подается автоматическим выключателем $QF1$. Для снятия одной токовременной характеристики необходимо сжечь пять-шесть плавких вставок одного диаметра.

1.3 Программа работы

1.3.1 Снять времятоковые характеристики медных плавких вставок различного диаметра ($d_1 = 0,08$ мм; $d_2 = 0,15$ мм; $d_3 = 0,2$ мм) без и с применением металлургического эффекта. Данные опыта занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Снятие времятоковых характеристик плавких вставок

Диаметр плавкой вставки	Без металлургического эффекта		С металлургическим эффектом	
	$t_{откл}$	I	$t_{откл}$	I

1.3.2 По данным опыта п. 1.3.1 построить в одном масштабе времятоковые характеристики, сравнить их и сделать выводы.

1.3.3 Изучить промышленные образцы конструкции предохранителей типов ПР-2, ПН-2, ПП-57, ПБФ-5.

Контрольные вопросы

1 Назначение предохранителей. Требования к материалу для плавких вставок предохранителей.

2 Назначение металлургического «эффекта» в предохранителях.

3 Особенности работы предохранителя при «пограничном» токе.

4 Конструкция предохранителей ПР-2, ПН-2, ПП-57.

2 Лабораторная работа № 2. Переходное сопротивление контактов и магнитоуправляемые контакты

Цель работы: ознакомиться с устройством, принципом действия герконов и устройств, выполненных на их основе, а также исследовать влияние силы нажатия на величину переходного сопротивления контактов.

2.1 Общие сведения

В простейшем виде геркон представляет собой стеклянную трубочку, запаянную с обеих сторон, в которую вводятся с некоторым зазором две ферромагнитные пластины (рисунок 2.1). Если эти пластины поместить в магнитное поле, то между пластинами возникает механическая сила, под действием которой пластины сближаются и замыкают цепь. Геркон заполняется азотом, аргоном, водородом, гелием или смесями этих газов при нормальном или повышенном давлении. Иногда внутри геркона создают вакуум. Без вспомогательных устройств геркон может быть выполнен с контактами на замыкание (см. рисунок 2.1, а, б, в) и на переключение (см. рисунок 2.1 г, д). Простейшее герконовое реле можно получить, если поместить геркон (рисунок 2.2) в соленоид. Герконы могут управлять токами до 4 А, а для некоторых типов герконов допускается рабочее напряжение до 380 В. Герконы нашли широкое применение в устройствах автоматики, телемеханики и вычислительной техники. Важнейшими преимуществами их являются: простота конструкции, надежность в работе, отсутствие потребности в регулировке, высокое быстродействие.

Переходное сопротивление контактов. Наличие контакта всегда приводит к появлению добавочного сопротивления называемого переходным сопротивлением контакта $R_{п}$. Контактные поверхности, как бы они тщательно не были зачищены, представляют собой неровную поверхность с выступами и впадинами (рисунок 2.3). По этой причине соприкосновение контактных поверхностей происходит не по всей поверхности, а в отдельных точках. Вследствие этого происходит стягивание силовых линий тока к точкам соприкосновения и повышение вблизи них плотности тока, что и является основной причиной возникновения переходного сопротивления.

Наличие на контактах пленок различных окислов, которые, как правило, плохо или совсем не проводят электрический ток, тоже приводит к увеличению сопротивления в месте контакта.

Таким образом, электрический ток в месте соединения токоведущих частей протекает в точках, количество которых определяется конструкцией контакта, силой сжатия и самим материалом.

Зависимость $R_{п}$ от F (сжатия) носит гиперболический характер.

Принцип работы герконового выключателя представлен на рисунке 2.4.

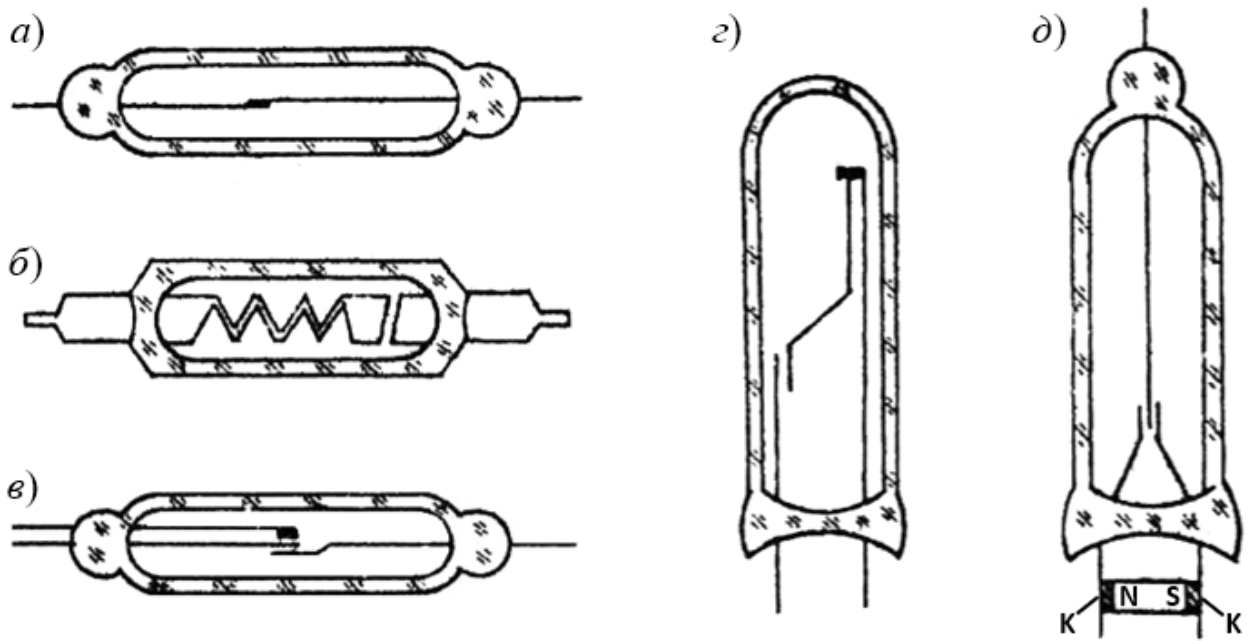


Рисунок 2.1 – Конструкция герконов

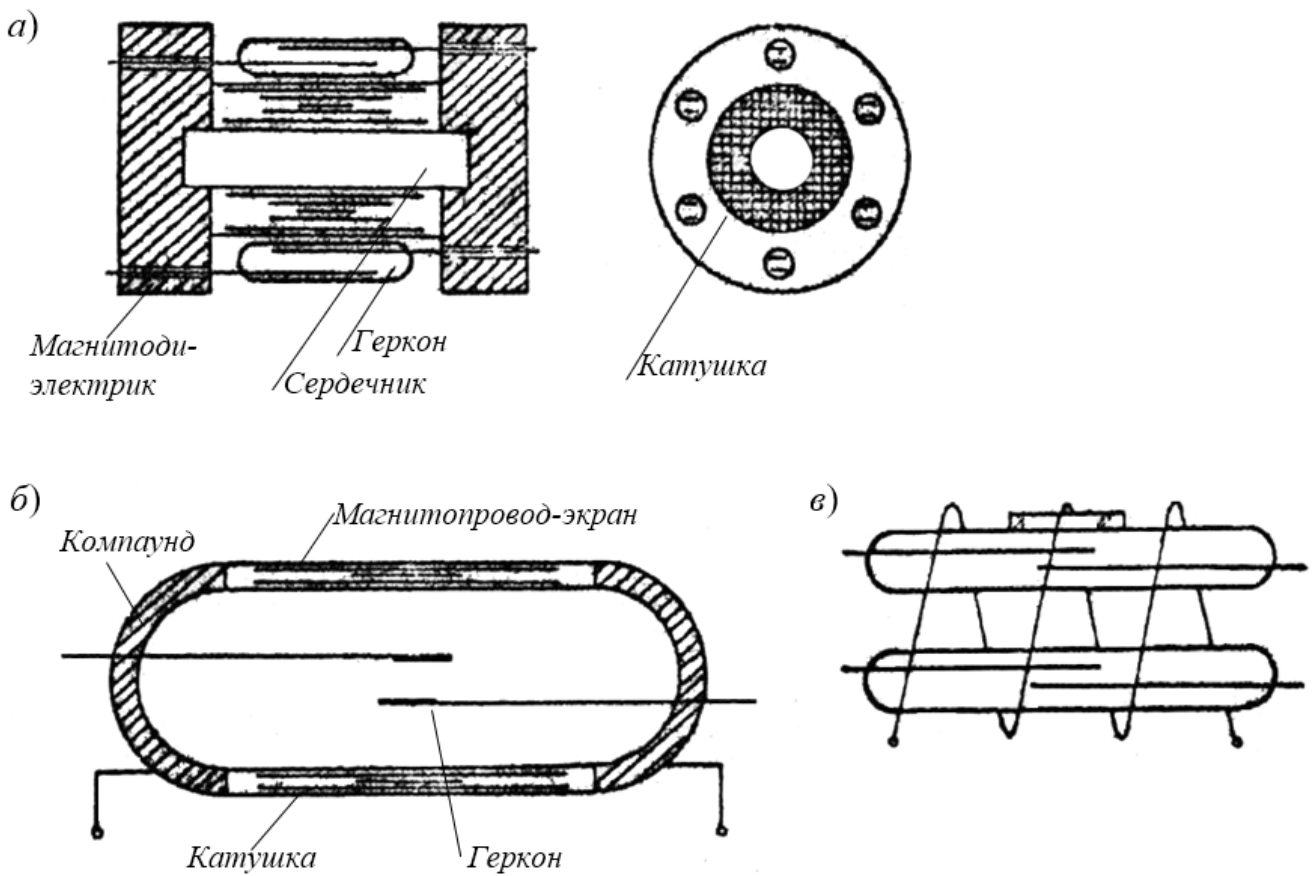


Рисунок 2.2 – Конструкция герконовых реле

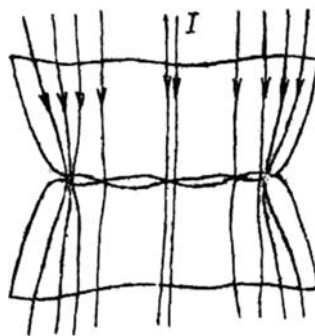


Рисунок 2.3 – Образование переходного сопротивления контактов

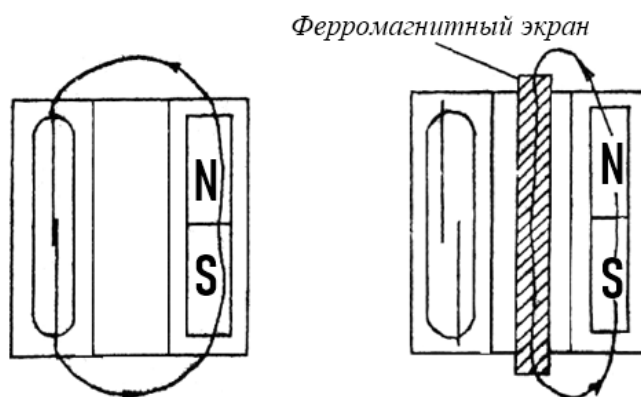


Рисунок 2.4 – Принцип работы герконового выключателя

2.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой стенд, на котором размещена вся аппаратура управления и исследуемые герконовые реле. Исследование герконовых реле и снятие зависимости переходного сопротивления от силы нажатия производится по схеме (рисунок 2.5).

В качестве исследуемых контактов (ИК) при снятии зависимости переходного сопротивления от силы нажатия используются герконы герконного реле *SF1*.

Падение напряжения на контактах ИК замеряется милливольтметром *PV1* в верхнем положении переключателя *S3*, а величина тока I_n , протекающего по ИК, замеряется амперметром *PA1*. Изменяя ток в обмотке реле с помощью потенциометра *R1* и регистрируя его по амперметру *RA2*, можно регулировать силу нажатия на контактах ИК реле *SF1*. При этом будет меняться падение напряжения на ИК. Считая ток в цепи включения ИК неизменным, можно определить переходное сопротивление R_{Π} контактов ИК:

$$R_{\Pi} = \frac{U_{\text{н.к.}}}{I_n}.$$

Для защиты милливольтметра от выхода из строя при больших напряжениях последовательно с ним включены контакты реле *KA1*.

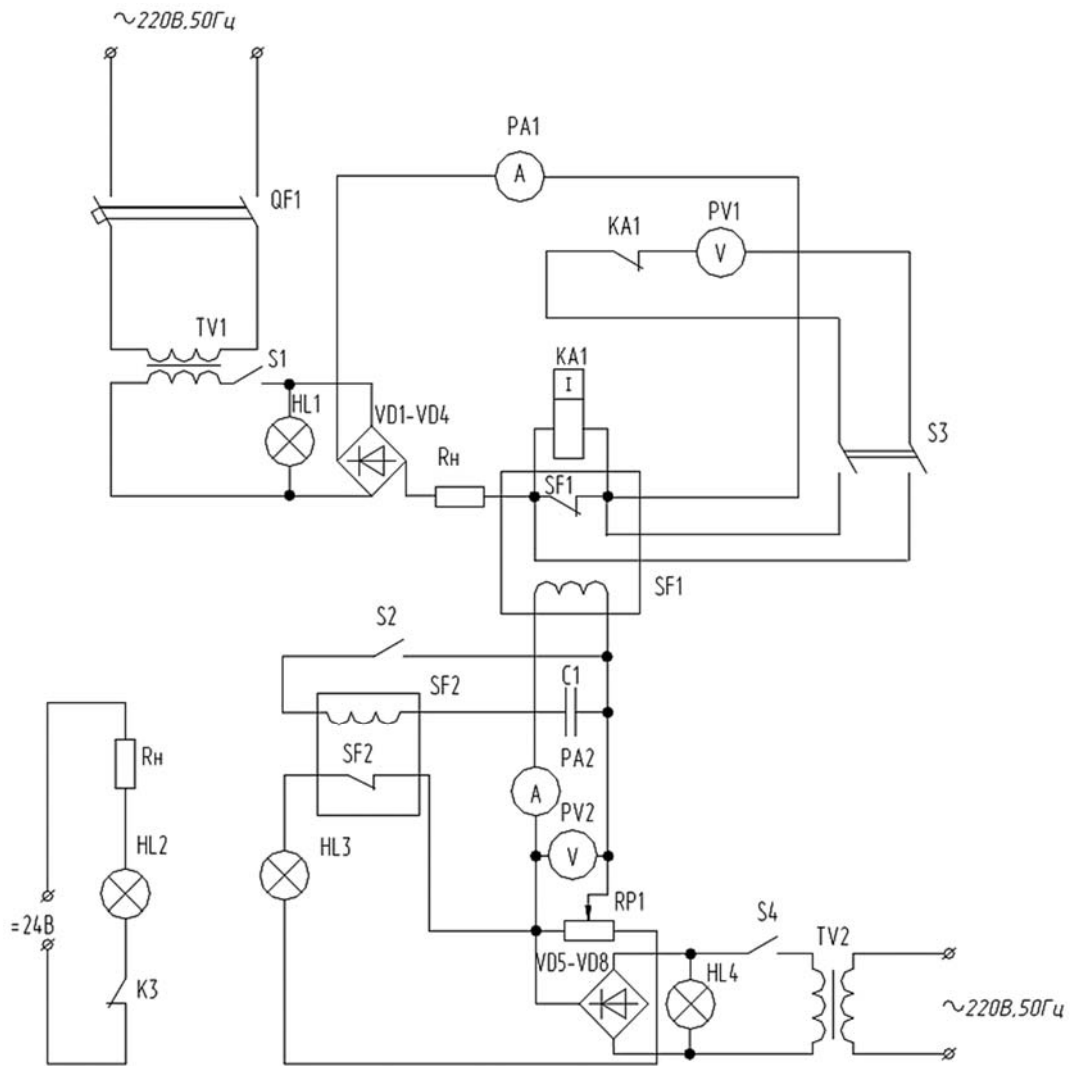


Рисунок 2.5 – Схема электрическая принципиальная установки

2.3 Программа работы

2.3.1 Исследовать влияние силы нажатия на величину переходного сопротивления контактов по схеме (см. рисунок 2.5), для чего изменять напряжение на катушке герконового реле $SF1$ потенциометром $RP1$ и замерять милливольтметром $PV1$ падение напряжения на исследуемых контактах ИК. Провести опыт для пяти-шести значений напряжения на катушке реле $SF1$, данные опыта занести в таблицу 2.1 и по ним построить зависимость $R_{\text{п}} = F_{\text{наж}}$, где $F_{\text{наж}}$ пропорциональна току катушки реле $SF1$ (прибор $PA2$).

Таблица 2.1 – Построение зависимости $R_{\text{п}} = F_{\text{наж}}$

Номер опыта	Ток катушки реле	Напряжение на контакте	Сопротивление контакта

2.3.2 Определить коэффициент возврата герконового реле $SF2$. Для чего включить тумблер $S2$ и $S3$ (тумблер $S1$ отключен) и, изменяя потенциометром $RP1$ напряжение на катушке $SF2$, зафиксировать по амперметру $PA2$ ток срабатывания (загорается лампочка $HL3$) и ток отпускания. Выполнить по три замера, подсчитать средние величины, которые и следует использовать для определения коэффициента возврата:

$$K_B = \frac{I_{\text{отп.}}}{I_{\text{сраб.}}}$$

2.3.3 Ознакомиться со способом управления герконом с помощью ферромагнитного экрана (схема на рисунке 2.5) и с принципом работы этажного переключателя ДПЭ-111 (см. рисунок 2.4).

Контрольные вопросы

- 1 Конструкция геркона.
- 2 Сравнительная характеристика герконов и разрывных контактов.
- 3 Переходное сопротивление контактов и его зависимость от различных факторов.
- 4 Способы управления герконами.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование магнитных пускателей, контакторов переменного тока и тепловых реле

Цель работы: ознакомиться с устройством магнитных пускателей, контакторов переменного тока, а также тепловых реле.

3.1 Общие сведения

Контактор – это двухпозиционный силовой аппарат, предназначенный для частых коммутаций токов, не превышающих токов допустимых перегрузок.

В качестве привода контактов может использоваться электромагнитный, пневматический или гидравлический привод. Наиболее распространены электромагнитные контакторы. Контактторы переменного тока коммутируют цепь переменного тока, а электромагнит может быть выполнен для работы на переменном токе, либо на постоянном токе.

Контактор имеет следующие основные узлы: контактная система, дугогасительная система, электромагнитный механизм, система блок-контактов. Работает следующим образом. При подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает

быстрое гашение дуги. Вспомогательные блок-контакты используются для согласования работы контактора с другими аппаратами.

Электромагнитный механизм контакторов переменного тока выполняется на электромагнитах с Ш-образным и П-образным сердечником.

Для устранения залипания якоря в современных контакторах в магнитную цепь введена немагнитная прокладка. Для устранения вибрации во включенном положении на полюсах магнитной системы устанавливаются короткозамкнутые витки.

Магнитный пускатель – это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети асинхронных двигателей с к. з. ротором. При наличии теплового реле магнитный пускатель обеспечивает защиту от перегрузки асинхронного двигателя.

Бесперебойная работа асинхронных двигателей в значительной степени зависит от надежности пускателя, поэтому к нему предъявляются высокие требования в отношении износостойкости, коммутационной способности.

Тепловые реле предназначены для защиты электрических объектов, в частности электродвигателей, от длительных токовых перегрузок. Наиболее широкое распространение получили тепловые реле с биметаллической пластиной. Нагрев биметаллического элемента производится за счет тепла, выделяемого в специальном нагревателе, по которому протекает ток нагрузки. При нагреве прогибаясь, биметаллическая пластина своим свободным концом воздействует на контактную систему, обеспечивая срабатывание реле.

Основной характеристикой теплового реле является зависимость времени срабатывания от тока нагрузки (времятоковая характеристика), имеющая вид, приведенный на рисунке 3.1.

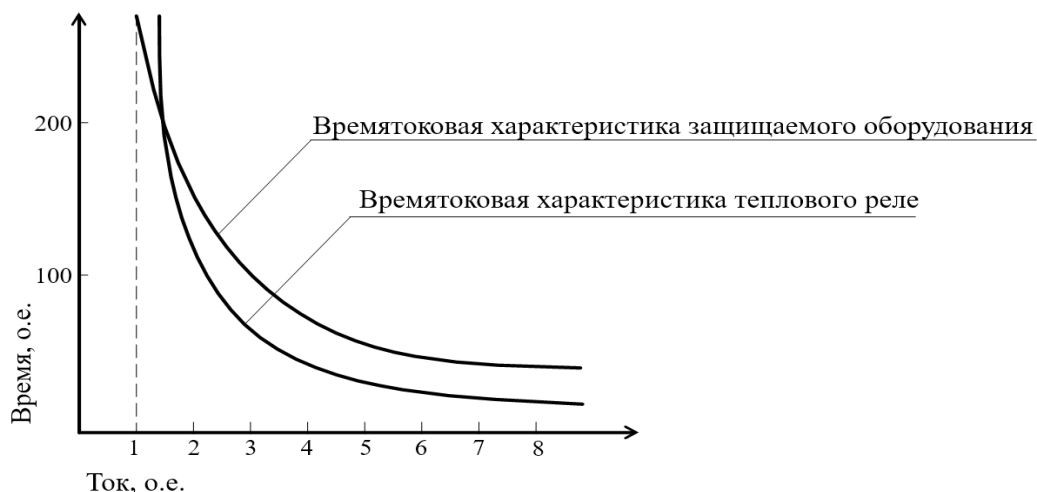


Рисунок 3.1 – Времятоковая характеристика теплового реле

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.

3.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой стенд НТЦ 08.09 «Электрические аппараты», на котором размещена вся аппаратура управления и исследуемые аппараты. Исследование магнитных пускателей и тепловых реле производится по схеме, представленной на рисунке 3.2.

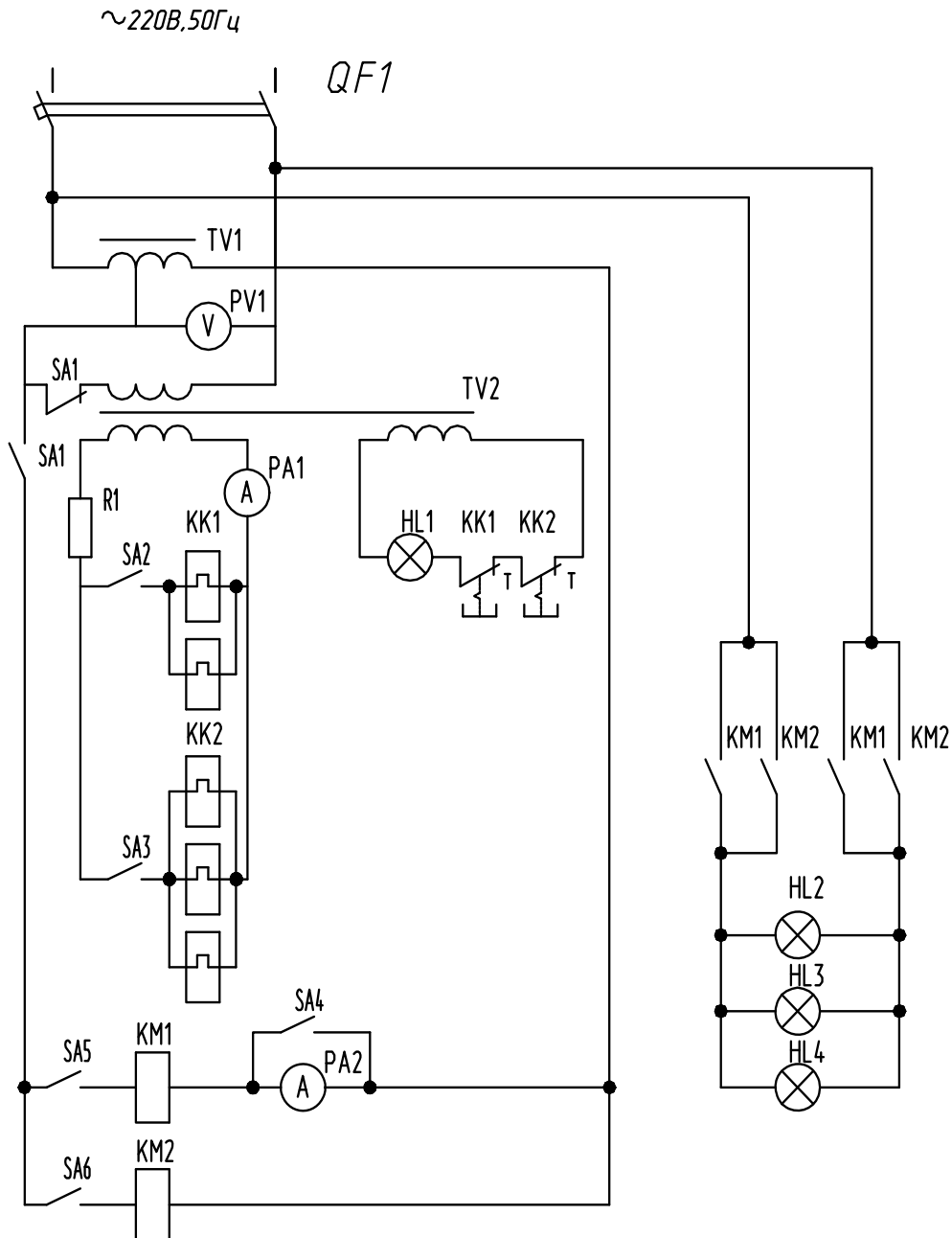


Рисунок 3.2 – Схема электрическая принципиальная установки

В качестве исследуемых используются пускатели серии ПМЛ и тепловые реле РТЛ. Нагрузка для теплового реле при снятии времятоковых характеристик создается ламповым реостатом.

Для определения коэффициента возврата напряжение на катушке пускателя регулируется автотрансформатором и определяется напряжением срабатывания

$U_{\text{ср}}$ пускателя и напряжением отпущения $U_{\text{от}}$. Момент срабатывания пускателя указывается загоранием лампочки *HL2*.

3.3 Программа работы

3.3.1 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторного стенда НТЦ 08.09 «Электрические аппараты».

3.3.2 Определить коэффициент возврата магнитных пускателей ПМЛ и ПАЕ и сравнить их. Катушка пускателя ПМЛ (*KM1*) включается в схему (см. рисунок 3.2) в верхнем положении тумблера *SA5*. В нижнем его положении в схему включена катушка пускателя ПАЕ (*KM2*).

3.3.3 Определить зависимость тока, потребляемого катушкой пускателя ПАЕ (*KM2*) от величины воздушного зазора. Величина воздушного зазора меняется за счет немагнитных прокладок, помещаемых в рабочий зазор магнитной системы пускателя. Опыт проводится для разных толщин немагнитных прокладок. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимость тока катушки от величины воздушного зазора

Толщина прокладки					
Ток, потребляемый катушкой					

3.3.4 Определить зависимость времени срабатывания тепловых реле ТРН и РТЛ от токовой перегрузки и построить токовременные характеристики этих реле. Реле РТЛ (*KK1*) включается в схему тумблером *SA2*, а ТРН (*KK2*) – тумблером *SA3*. Ток нагрузки тепловых реле изменяется в диапазоне $I_{\text{наг}} = (1,2 \dots 6,0)I_{\text{ном}}$ с помощью автотрансформатора *TV1*. Опыт провести для двух уставок регулятора тока реле. Результаты измерений занести в таблицу 3.2 и построить токовременные характеристики теплового реле.

Таблица 3.2 – Зависимость времени срабатывания теплового реле от величины тока перегрузки

Время срабатывания					
Ток перегрузки					

Контрольные вопросы

- 1 Назначение контакторов и магнитных пускателей.
- 2 Конструкция контакторов и магнитных пускателей.
- 3 Назначение теплового реле и конструкции тепловых реле ТРН, РТЛ.

4 Лабораторная работа № 4. Изучение конструкций автоматических выключателей

Цель работы: изучение принципа действия и конструктивных особенностей автоматических выключателей, а также экспериментальное определение рабочих характеристик.

4.1 Общие сведения

Автоматические воздушные выключатели (автоматы) служат для автоматического отключения электрической цепи при перегрузках, коротких замыканиях (КЗ), понижении напряжения питания ниже допустимого, при изменении направления мощности, а также предназначены для нечастых включений и отключений вручную номинальных токов нагрузки.

Автоматические выключатели общепромышленного и бытового применения обычно имеют лишь максимально-токовую защиту, отрегулированную на заводе. Автоматический выключатель состоит из следующих основных узлов:

- токоведущая цепь;
- дугогасительная система;
- привод автоматического выключателя;
- механизм свободного расцепления;
- элементы защиты (расцепители).

На рисунке 4.1 представлена схема автоматического выключателя. Токоведущая цепь имеет главные *1* контакты и дугогасительное устройство *2*. Включение автоматического выключателя может производиться вручную рукояткой *12* или электромагнитом *4*. Звенья *6*, *7* и упор *13* образуют механизм свободного расцепления. Отключение автоматического выключателя может производиться рукояткой *12* или с помощью тепловых и электромагнитных расцепителей *5*, *8*, *10*, *11*. Необходимая скорость расхождения контактов обеспечивается пружиной *9*. Гашение дуги происходит в дугогасительном устройстве *2*.

4.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой стенд НТЦ 08.09 «Электрические аппараты», на котором размещена вся аппаратура управления для экспериментального исследования автоматических выключателей. Эксперименты проводятся по схеме (рисунок 4.2). Исследуемый автоматический выключатель включается последовательно на выходе трансформатора *ТV2*. Величина тока в этой цепи регулируется автотрансформатором *ТV1*. Для измерения времени срабатывания автоматического выключателя использован электрический секундомер ЭС, который подключен к источнику питания через контакт токового реле *КА1*.

4.3 Программа работы

4.3.1 Ознакомиться с электрооборудованием стенда НТЦ 08.09 «Электрические аппараты».

4.3.2 Ознакомиться с автоматическими выключателями серии А-3700, АЕ-2000, ВА-57 и изучить их конструкцию.

4.3.3 Снять токовременную характеристику для автоматического выключателя серии АЕ-2026. Данные занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Построение токовременной характеристики

$I_{ном}$	$I_{тек.}$	$t_{сраб.}$

4.3.4 По данным опыта 4.3.3 построить времятоковые характеристики для теплового расцепителя.

4.3.5 Ознакомиться с работой максимального расцепителя автоматического выключателя. Для этого предварительно выставить в цепи трансформатора $TV2$ ток, превышающий номинальный ток уставки максимального расцепителя исследуемого автоматического выключателя на 20 %. Наблюдать отключение исследуемого автоматического выключателя при подключении его в цепь трансформатора $TV2$.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение автоматических выключателей.
- 2 Основных узлы автоматических выключателей.
- 3 Конструкции расцепителей.
- 4 Работа механизма свободного расцепления и его назначение в автоматическом выключателе.

5 Лабораторная работа № 5. Исследование электромагнитных реле времени

Цель работы: ознакомиться с конструкциями электромагнитного и многопозиционного реле времени, а также исследовать работу этих реле.

5.1 Общие сведения

Для создания выдержек времени в схемах электрических принципиальных используются реле с выдержкой времени или просто реле времени.

Реле времени в зависимости от принципа действия создания выдержки времени можно классифицировать следующим образом:

- электромагнитные реле времени;
- реле времени с механическим замедлением;
- электронные реле времени.

В основу работы электромагнитных реле времени положен электромагнитный принцип. Подвижная часть реле – якорь – перемещается под действием механических сил, создаваемых магнитным полем, возбуждаемым током обмотки реле. Выдержка времени в электромагнитных реле может быть создана либо за счет промежуточного механизма между якорем электромагнита и контактной системой (механический метод), либо за счет замедления срабатывания или отпускания электромагнита (электромагнитный метод) при применении короткозамкнутых (к. з.) обмоток (в виде медной гильзы или наборных медных шайб на магнитопроводе).

При включении или отключении электромагнитных реле времени постоянного тока изменяющийся во времени поток основной катушки пересекает к. з. виток и наводит в нем ЭДС. В результате в к. з. витке появляются вихревые токи, в свою очередь, создающие свой магнитный поток $\Phi_{к.з.}$, который направлен: при включении реле – навстречу потоку основной катушки, а при отключении – согласно. В результате меняется скорость изменения, результирующий поток Φ_{Σ} и создается замедление срабатывания как при притяжении, так и при отпуске якоря.

В электромагнитных реле переменного тока замедление можно получить только увеличением времени движения якоря с помощью механического замедления, т. к. время нарастания потока у этих реле очень мало.

В реле с механическим замедлением в качестве замедляющего (промежуточного) органа применяется анкерный (часовой) или пневматические механизмы.

В реле с большой выдержкой времени (до часов) применяется двигатель постоянного или переменного тока с редуктором в качестве промежуточного механизма (моторные или многопозиционные реле времени).

5.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой стенд НТЦ 08.09 «Электрические аппараты», на котором размещена вся аппаратура управления и исследуемые реле времени.

Исследование моторного реле времени производится по схеме (рисунок 5.1). Лампочки *HL1–HL5* указывают на срабатывание соответствующего контакта реле. Реостатами регулируется напряжение на якоре двигателя реле и на обмотке электромагнита реле. Выдержки времени устанавливаются в соответствии с описанием работы реле.

Исследование электромагнитного реле времени производится по схеме рисунка 5.2. Автотрансформатор *ТVI* служит для плавного регулирования на обмотке электромагнита реле *KT1*. Измерение выдержек времени реле производится при отключении реле с помощью электронного секундомера

последовательно, с обмоткой которого включен контакт реле $KT1$ с выдержкой времени на отпадание. Тумблер $S1$ в одном положении подключает к источнику питания обмотку электромагнита реле, а в другом, обесточивая реле, подключает к питающей сети электронный секундомер.

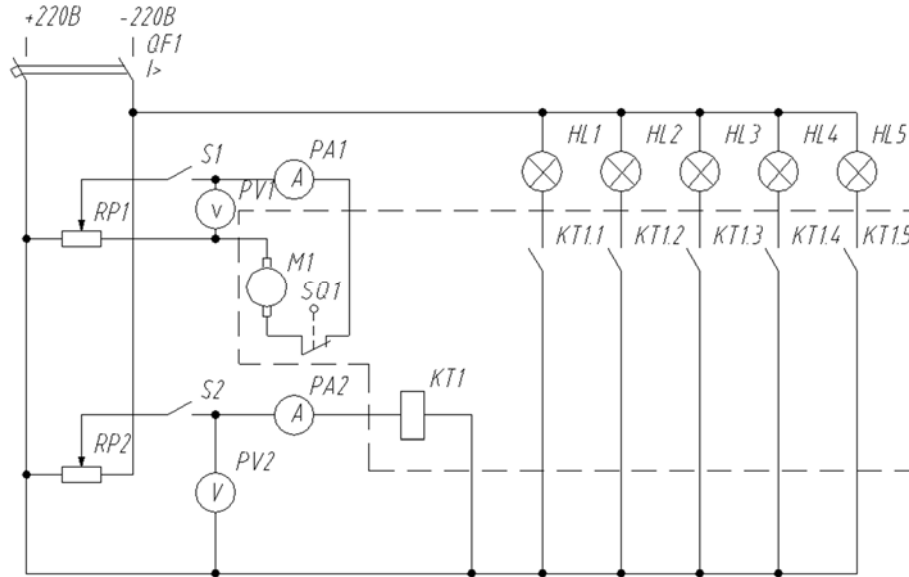


Рисунок 5.1 – Схема принципиальная исследования моторного реле

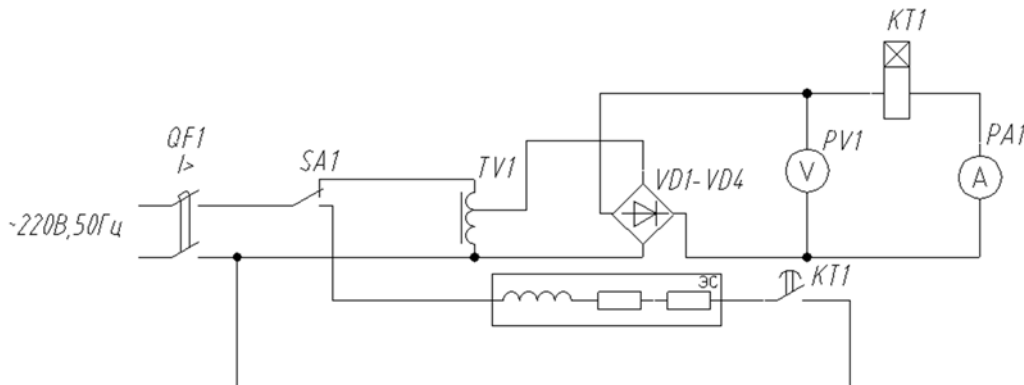


Рисунок 5.2 – Схема исследования электромагнитного реле

5.3 Программа работы

5.3.1 Ознакомиться с электрооборудованием, размещенным на стенде НТЦ 08.09 «Электрические аппараты».

5.3.2 Исследовать работу электромагнитного реле времени типа РЭВ.

Для этого необходимо:

– снять и построить зависимость времени отпускания реле от натяжения противодействующей пружины через каждые три оборота регулировочной гайки. Исследование начинается с минимального натяжения возвратной пружины (к. з. контакты реле ещё замкнуты). Результаты измерений заносятся в таблицу 5.1;

– для среднего значения силы натяжения противодействующей пружины (и соответствующей уставки времени) снять зависимость выдержек времени при отпадании от напряжения на обмотке электромагнита реле, изменяя это напряжение от $0,8U_{\text{ном}}$ до $1,2U_{\text{ном}}$ через каждые 20 В. Напряжение контролируется вольтметром *PV1*. Результаты измерений заносятся в таблицу 5.2;

– по снятым данным построить графики и сделать выводы.

Таблица 5.1 – Зависимость времени отпускания от натяжения противодействующей пружины

Натяжение пружины						
Время отпускания, с						

Таблица 5.2 – Изменение выдержек времени от напряжения на реле

Значение напряжения, В						
Выдержка времени, с						

5.3.3 Исследовать работу моторного реле.

Для исследования реле необходимо:

– настроить реле на произвольно выбранную программу срабатывания контактов. Подать напряжение питания на реле (включить *QF1*) и реостатами выставить номинальные напряжения 220 В на электромагните реле и на якоре двигателя. Затем подать на реле напряжение, одновременно пустив в ход секундомер, и проверить выдержки времени;

– повторить опыт, но при различных напряжениях на якоре двигателя ($U = U_{\text{ном}}$, $U = 0,9U_{\text{ном}}$, $U = 0,7U_{\text{ном}}$), и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1 Классификация реле времени.

2 Принцип создания выдержек времени в электромагнитных реле времени.

3 Конструкция моторного реле времени.

6 Лабораторная работа № 6. Исследование реле максимального тока

Цель работы: ознакомиться с конструкцией индукционных и электромагнитных реле максимального тока.

6.1 Общие сведения

Наиболее опасным аварийным режимом в электрических системах является режим короткого замыкания (к. з.). Ликвидация этого режима обеспечивается

действием максимальной токовой защиты, которая может осуществляться плавкими предохранителями, автоматическими выключателями и реле максимального тока.

Реле максимального тока используется для защиты от токов к. з. и перегрузки, а также для создания релейной защиты. Принцип работы реле максимального тока (РМТ) заключается в автоматическом срабатывании при достижении током защищаемой цепи определенного значения. РМТ бывают электромагнитной и индукционной системы и включаются в защищаемую цепь непосредственно или через трансформатор тока.

Электромагнитное реле максимального тока (рисунок 6.1) состоит из следующих основных частей: электромагнита *1* с двумя одинаковыми катушками *2*, которые расположены на верхнем и нижнем полюсах магнитопровода; поворотного якоря *3*. На оси также укреплен мостик *5* с подвижными контактами и закреплена одним концом спиральная пружина *6*, другим концом пружина связана с регулировочной головкой указателя (поводка) для изменения уставки реле. На рисунке 6.1 приняты следующие обозначения: *8* – неподвижные контакты, *9* – шкала, *10* – упорные винты.

При протекании тока, превышающего ток срабатывания по катушкам реле, якорь, поворачиваясь, замыкает соответствующие контакты. Плавное изменение тока срабатывания реле производится передвижением указателя по шкале. Обмотки реле можно соединить последовательно или параллельно, что позволяет изменять уставку реле в 4 раза.

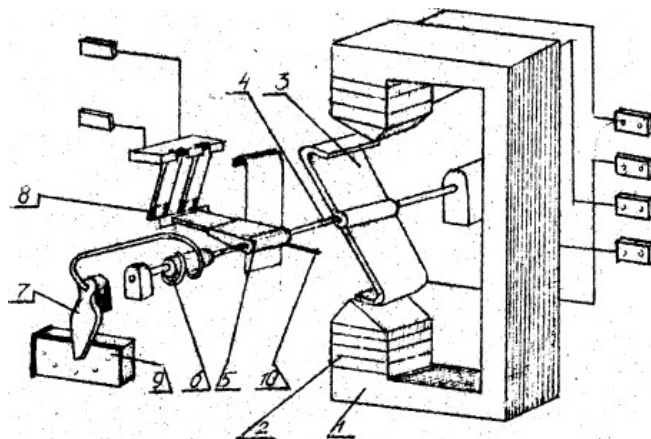


Рисунок 6.1 – Реле максимального тока

Индукционное реле максимального тока по принципу действия является комбинированным и состоит из двух элементов: индукционного, с ограниченно-зависимой характеристикой времени срабатывания и электромагнитного (мгновенного) действия.

Принцип работы индукционного элемента основан на взаимодействии между изменяющимися магнитными потоками и токами, индуцированными этими потоками в подвижном элементе реле (диске) (рисунок 6.2).

В результате этого взаимодействия в диске возникает вращающий момент, действующий на диск. Диск начинает вращаться, когда ток в обмотке реле

достигает 20 %...30 % от тока срабатывания. При увеличении тока реле рама 4 поворачивается около своей оси на некоторый угол, осуществляя зацепление червяка с зубчатым сегментом 8. Сегмент начинает подниматься и через определенное время (концом рычага) упирается в скобу 9 якоря 16 электромагнита. Что приводит к замыканию контактов 13 и 14.

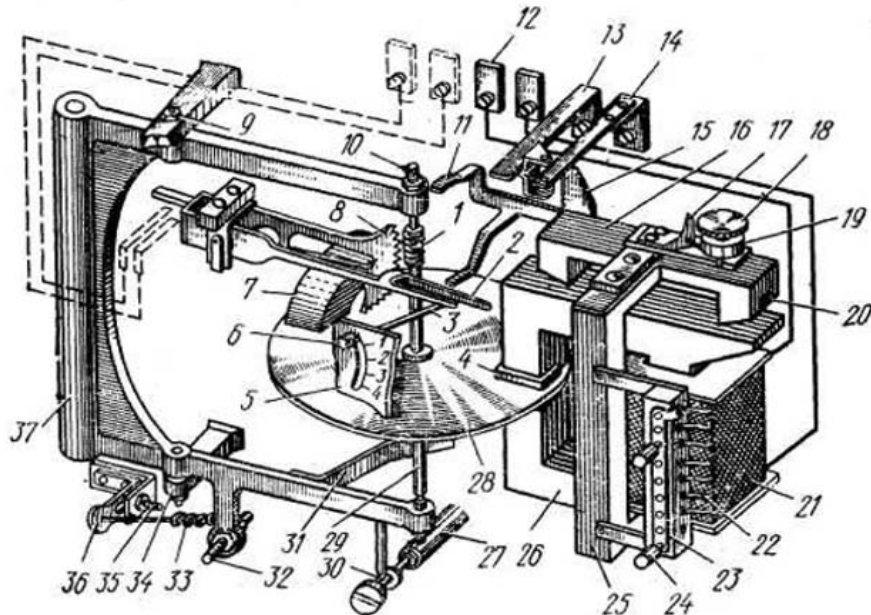


Рисунок 6.2 – Схема индукционного токового реле

Наименьший ток, при котором происходит зацепление червяка с зубчатым сегментом, называется током срабатывания индукционного элемента реле. Якорь 16 с электромагнитом 26 одновременно представляет второй элемент реле – электромагнитный, действующий практически мгновенно. При протекании через обмотку реле тока, превышающего ток срабатывания индукционного элемента в 4–8 раз, правый конец якоря 16 притягивается к сердечнику электромагнита без участия червячной передачи, и скоба 11, поднимаясь вверх, замыкает контакты 13 и 14 без выдержки временем. Ток срабатывания индукционного элемента регулируется изменением числа витков обмотки путем перестановки контактного винта на штепсельном мостике. Ток мгновенного срабатывания можно регулировать в широких пределах путем изменения величины воздушного зазора между якорем и электромагнитом с помощью винта 18.

Цифры на винте 18 указывают кратность тока срабатывания отсечки по отношению к току срабатывания индукционного элемента реле.

6.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой стенд НТЦ 08.09 «Электрические аппараты», на котором размещена вся аппаратура управления и исследуемые РМТ. Исследование РМТ производится по схеме (рисунок 6.3). Ток

цепи, в которую включается РМТ (по очереди – либо электромагнитное, либо индукционное), регулируется автотрансформатором $TV1$. Уставки токов срабатывания устанавливаются в соответствии с описанием работы РМТ. Измерение выдержек времени срабатывания РМТ производится при помощи секундомера ЭС.

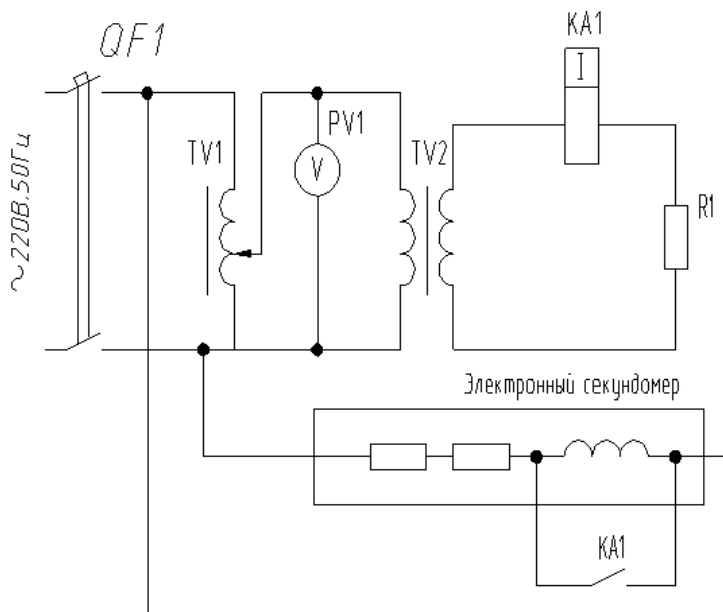


Рисунок 6.3 – Схема электрическая принципиальная установки

6.3 Программа работы

6.3.1 Собрать схему для исследования электромагнитного реле (обмотки реле включить последовательно).

6.3.2 Установить на реле наименьший ток уставки и определить ток срабатывания и ток отпускания. Прodelать этот опыт для всех значений тока, предусмотренных градуировкой шкалы, а результаты занести в таблицы 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 – Определение токов срабатывания при последовательном соединении обмоток.

Номер опыта	Уставка тока $I_{уст}, А$	Ток		Коэффициент возврата $K_{возв}$
		срабатывания $I_{ср}$	возврата $I_{в}$	
1				

Таблица 6.2 – Определение токов срабатывания при параллельном соединении обмоток

Номер опыта	Уставка тока $I_{уст}, А$	Ток		Коэффициент возврата $K_{возв}$
		срабатывания $I_{ср}$	возврата $I_{в}$	
1				

6.3.3 Соединить обмотки реле параллельно и повторить опыт по п. 6.3.2. Результаты наблюдений внести в таблицу 6.2.

6.3.4 По данным опытов (см. пп. 6.3.2 и 6.3.3) определить коэффициент возврата реле. Построить графики: $I_{ср} = F(I_{уст})$; $I_{возв} = F(I_{уст})$; $K_{возв} = F(I_{уст})$ при последовательном и параллельном соединении обмоток.

6.3.5 Подсоединить в схему испытаний индукционное реле и определить токи срабатывания и токи возврата индукционного элемента, вычислить коэффициенты возврата.

6.3.6 На основании опыта (см. п. 6.3.5) определить коэффициент возврата и построить зависимости $I_{ср} = F(I_{уст})$; $I_{возв} = F(I_{уст})$; $K_{возв} = F(I_{уст})$.

6.3.7 Проверить действие отсечки реле, для чего устанавливается уставка по току (задается преподавателем) и минимальная кратность тока на регулировочном винте.

6.3.8 Снять токовременные характеристики индукционного реле, для чего выставить уставки по току (задается преподавателем) и замерять время срабатывания реле по секундомеру. Опыт повторяется при разных значениях токов в реле (пять-шесть значений) без изменения уставок. По полученным данным построить токовременные характеристики.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение реле максимального тока.
- 2 Особенности конструкции индукционного реле тока.
- 3 Конструкция электромагнитного реле тока.

7 Лабораторная работа № 7. Способы выключения тиристор

Цель работы: изучение способов выключения тиристор, используемых в тиристорных аппаратах постоянного и переменного токов.

7.1 Общие сведения

Тиристор – полупроводниковый прибор. Для перевода тиристора во включенное состояние необходимо подать сигнал управления на его управляющий электрод при рабочей полярности питающего напряжения на тиристоре: «+» на аноде и «-» на катоде тиристора. Сигнал управления должен иметь длительность, достаточную для того, чтобы прямой ток, через тиристор достиг тока удержания $I_{уд}$ тиристора по его вольт-амперной характеристике (рисунок 7.1).

Для запираания тиристор необходимо уменьшить рабочий ток через тиристор до значения, меньшего $I_{уд}$. В зависимости от того, как это обеспечивается, существует два способа выключения тиристор.

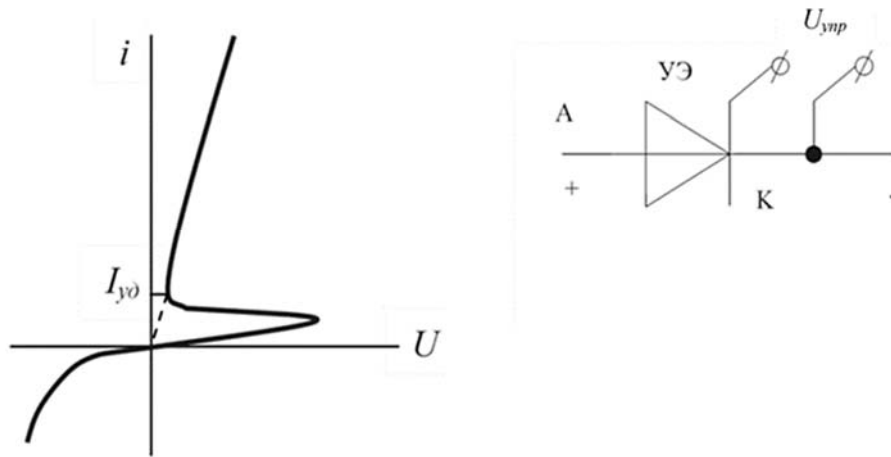


Рисунок 7.1 – Вольт-амперная характеристика тиристора

При естественной коммутации тиристорov, например при включении их в цепи переменного тока (рисунок 7.2), ток тиристора падает до $I_{уд}$ под действием приложенного напряжения сети. Если считать первый полупериод периода питающего напряжения рабочим для тиристора $VS1$ (полярность напряжения на аноде «+», на катоде тиристора «-») и тиристор $VS1$ открыт, то по активной нагрузке R_H протекает синусоидально изменяющийся ток i_H . К концу полупериода t_1 синусоидально изменяющийся ток тиристора уменьшится до нуля и автоматически становится меньше тока удержания $I_{уд}$. В момент времени t_1 тиристор $VS1$ запирается, независимо от наличия сигнала управления на управляющем электроде тиристора. В следующий полупериод (t_1-t_2) ток в нагрузке не протекает. Это не рабочий полупериод питающего напряжения для $VS1$: на тиристоре $VS1$ обратная полярность напряжения – катод «+», анод «-». В момент времени t_1-t_2 на тиристоре $VS1$ опять рабочее напряжение, это следующий рабочий полупериод питающего напряжения. При наличии сигнала управления на управляющем электроде опять тиристор открывается, и все процессы повторяются. Для обеспечения протекания тока по нагрузке в момент времени t_1-t_2 необходимо использовать еще один тиристор $VS2$, включенный как показано на рисунке 7.2, так называемое встречно-параллельное включение тиристорov.

При втором способе (искусственная коммутация тиристорov) ток тиристора падает до $I_{уд}$ при принудительной коммутации.

Второй способ выключения тиристорov связан с изменением практически мгновенно знака напряжения на тиристоре на обратную полярность (параллельная емкостная коммутация), либо с уменьшением прямого тока тиристора до $I_{уд}$ за счет пропуска через тиристор закрывающего его обратного импульса тока (параллельная токовая коммутация) или созданием условий, при которых прямой ток тиристора становится равным нулю (последовательная токовая коммутация), т. е. меньше $I_{уд}$. Искусственная коммутация преимущественно используется при работе тиристорov в цепях постоянного тока. Рассмотрим основные варианты искусственной коммутации тиристорov.

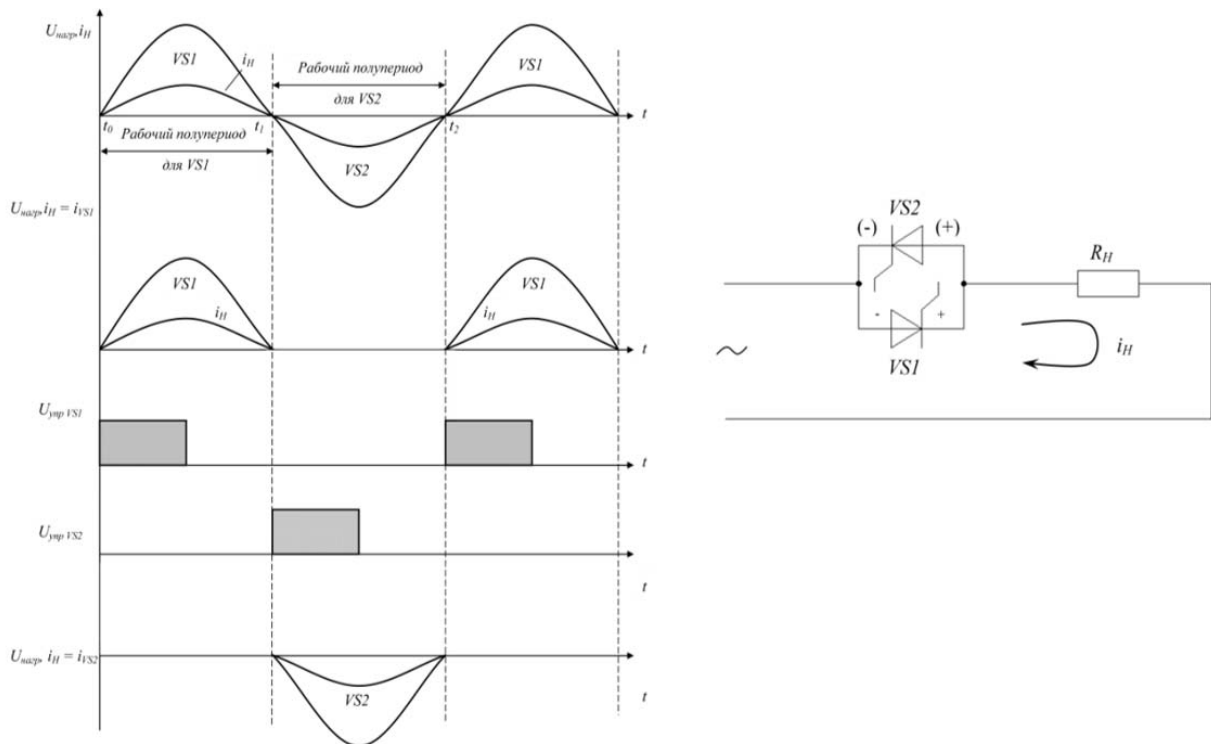


Рисунок 7.2 – Естественная коммутация тиристоров

Параллельная емкостная коммутация. В схеме (рисунок 7.3) в качестве силового ключа используется тиристор $VS1$. Его цепь коммутации состоит из вспомогательного тиристора $VS2$, диода VD , реактора L и конденсатора C .

В начале процесса конденсатор C заряжается с указанной на рисунке 7.3 полярностью за счет замыкания и размыкания ключа Q . Зарядка происходит по цепи, содержащей источник питания U , конденсатор C и зарядный резистор R . На рисунке 7.3 представлены диаграммы напряжений и токов в схеме.

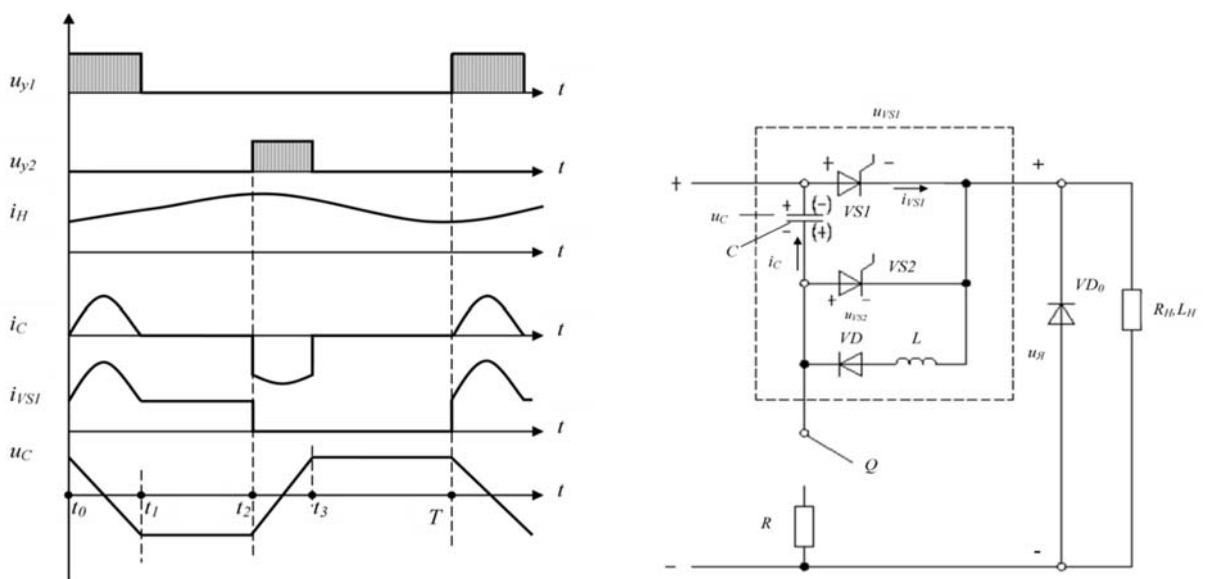


Рисунок 7.3 – Диаграммы токов и напряжений на элементах при параллельной емкостной коммутации

Основной тиристор $VS1$ включается в момент времени t_0 (на управляющий электрод подан сигнал управления U_{y1}). Ток в цепи течет по двум контурам. Первый контур образован нагрузкой и тиристором $VS1$ (i_H). Второй контур – контур перезаряда конденсатора C . Ток протекает по цепи $C, VS1, L$ и VD . Полярность напряжения на конденсаторе C (момент времени t_0-t_1) меняется на противоположную и сохраняется при закрытии диода VD в момент времени t_1 (полярность указана в скобках). Чтобы закрыть тиристор $VS1$ в момент времени t_2 , включается вспомогательный тиристор $VS2$. При этом конденсатор C оказывается подключенным к $VS1$ и напряжение обратной полярности закрывает его. При отключении $VS1$ ток нагрузки протекает от источника U по цепи, содержащей конденсатор C и тиристор $VS2$. При этом конденсатор C опять перезаряжается (t_2-t_3) до первоначальной полярности. В момент времени t_3 – окончание перезаряда конденсатора C – ток в цепи конденсатора спадет до нуля, становится меньше тока удержания для тиристора $VS2$ и последний закрывается (для тиристора $VS2$ – естественная коммутация). В момент $t = T$ основной тиристор $VS1$ включается снова и процесс повторяется.

Параллельная токовая коммутация. На рисунке 7.4 представлена схема тиристорного ключа с токовой коммутацией. Основной тиристор $VS1$ закрывается импульсом тока, создаваемым в коммутирующей цепи. Описанный ниже принцип действия такого ключа иллюстрируется диаграммами на рисунке 7.4.

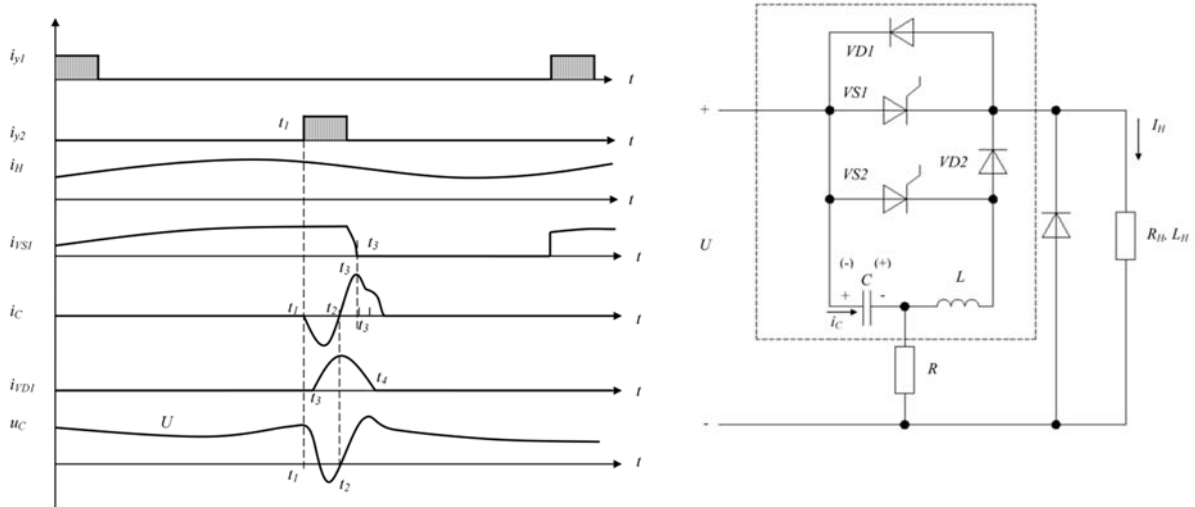


Рисунок 7.4 – Диаграммы токов и напряжений при параллельной токовой коммутации тиристора

Конденсатор C заряжается от источника U через резистор R . Основной тиристор $VS1$ открывается в момент $t = t_0$. Выводы нагрузки оказываются подключенными к источнику питания, и через нее и тиристор $VS1$ протекает ток нагрузки. В момент времени $t = t_1$ формируется сигнал управления U_{y3} на открытие вспомогательного тиристора $VS2$. С открытием тиристора $VS2$ образуется контур перезаряда конденсатора C : конденсатор $C, VS2$ и L . В момент времени t_2 этот ток перезаряда конденсатора C проходит через нуль и тиристор $VS2$ закрывается (естественная коммутация). Ток перезаряда конденсатора C с мо-

мента времени t_2 продолжает протекать по новой цепи, содержащей диод $VD2$ и еще открытый тиристор $VS2$ (t_2-t_3). Данный контурный ток i_C вычитается из протекающего через $VS1$ в прямом направлении тока i_{VS1} , и в момент t_3 , когда они становятся равными ($i_C = i_{VS1}$), основной тиристор закрывается. В этот же момент открывается диод $VD1$, начинающий проводить ток $i_C = i_H$ и поддерживающий закрывающее напряжение обратной полярности на тиристоре $VS1$. В момент t_4 $i_C = i_H$ и $i_{VD1} = 0$. В это время ток нагрузки протекает по контуру, содержащему $U, C, L, VD2$ и нагрузку. Конденсатор C опять заряжается с полярностью, указанной на схеме. При $t = T$ вновь открывается основной тиристор и процесс повторяется.

7.2 Описание лабораторного стенда

Схема лабораторной установки приведена на рисунках 7.5 и 7.6. По схеме (см. рисунок 7.5) рассматривается работа тиристоров при естественной коммутации.

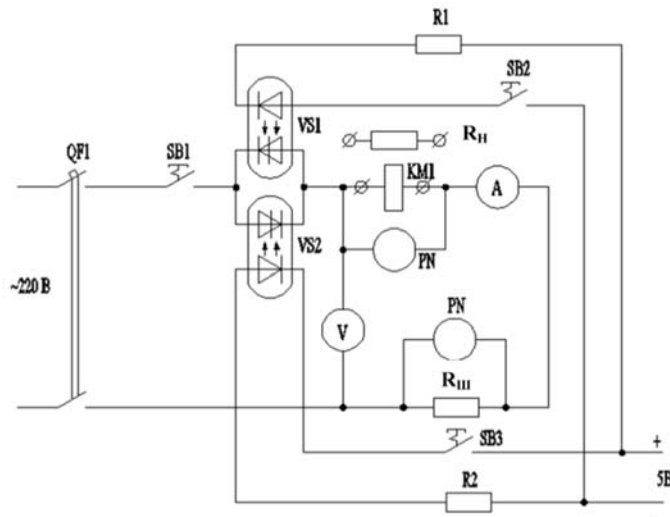


Рисунок 7.5 – Схема исследования работы тиристоров при естественной коммутации

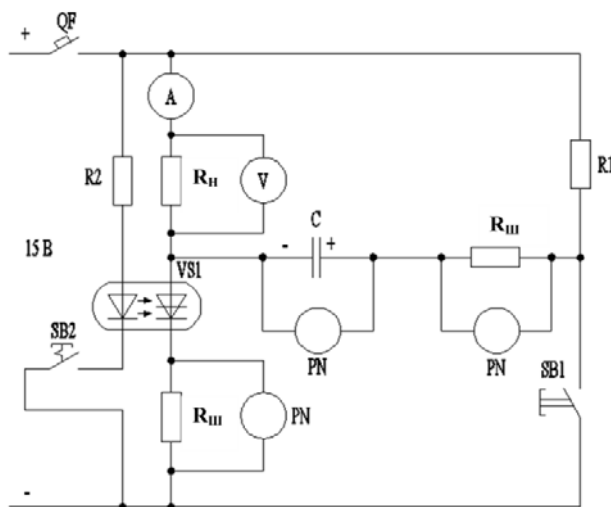


Рисунок 7.6 – Схема исследования работы тиристоров при параллельной коммутации

Нагрузка (катушка пускателя $KM1$ или сопротивление $R1$) подключена к питающему напряжению встречно-параллельно включенными оптотиристорами $VS1$, $VS2$. Цепи управления $VS1$ и $VS2$ образованы светодиодами (в структуре оптотиристров) и ключами $SB1$, $SB2$. При включении $SB1$ или $SB2$ соответствующий светодиод формирует управляющий импульс на включение оптотиристров $VS1$ или $VS2$. Каждый из оптотиристров с началом своего рабочего полупериода открывается и в конце его закрывается (см. рисунок 7.2), обеспечивая протекание тока по нагрузке в течение каждого периода питающего напряжения.

По схеме (см. рисунок 7.6) рассматривается работа тиристоров при искусственной коммутации на основе параллельной емкостной коммутации. Силовой оптотиристор $VS1$ включается при замыкании ключа $SB1$. С открытием $VS1$ происходит заряд коммутирующего конденсатора C по цепи «+» источника питания, $R1$, C , $VS1$ с полярностью, показанной в скобках.

Для запираания $VS1$ необходимо нажать кнопку $SB1$. К оптотиристору $VS1$ прикладывается обратное напряжение конденсатора C и $VS1$ практически мгновенно закрывается. Конденсатор C продолжает перезаряжаться по цепи: «+» источника питания, $R1$, C , «-» источника питания до напряжения источника питания. При возврате $SB1$ в исходное положение конденсатор C разряжается по контуру R_H и $R1$. Схема опять готова к работе.

7.3 Порядок выполнения работы

7.3.1 Включить в схему (см. рисунок 7.5) резистор $R1$. Нажать кнопку $SB2$. Снять показания приборов $V1$, $A1$ и осциллограммы напряжения и тока на нагрузке $R1$.

7.3.2 Включить в схему (см. рисунок 7.5) вместо $R1$ катушку пускателя $KM1$. Снять показания приборов $V1$, $A1$ и осциллограммы напряжения и тока на нагрузке $KM1$.

7.3.3 В схеме, собранной в п. 7.3.1, нажать кнопки $SB3$ и $SB2$. Снять показания приборов $V1$, $A1$ и осциллограммы напряжения и тока.

7.3.4 В схеме (см. рисунок 7.6) включить выключатель $QF1$ и кнопку $SB1$. Снять осциллограммы тока заряда напряжения на конденсаторе C . Повторить п. 7.3.2 и снять осциллограммы тока и напряжения на оптотиристоре $VS1$.

7.3.5 Используя полученные осциллограммы, объяснить работу схемы параллельной емкостной коммутации.

Контрольные вопросы

- 1 Объяснить запираение тиристора при естественной коммутации.
- 2 Объясните понятие искусственной коммутации тиристора.
- 3 Что необходимо выполнить для отпираания и запираания тиристора?

8 Лабораторная работа № 8. Тиристорный контактор постоянного тока

Цель работы: изучение принципов управления и элементов схемотехнических решений, используемых в тиристорных коммутационных аппаратах постоянного тока.

8.1 Общие сведения

Принцип работы тиристорного контактора постоянного тока с параллельной коммутацией пояснен схемой на рисунке 8.1.

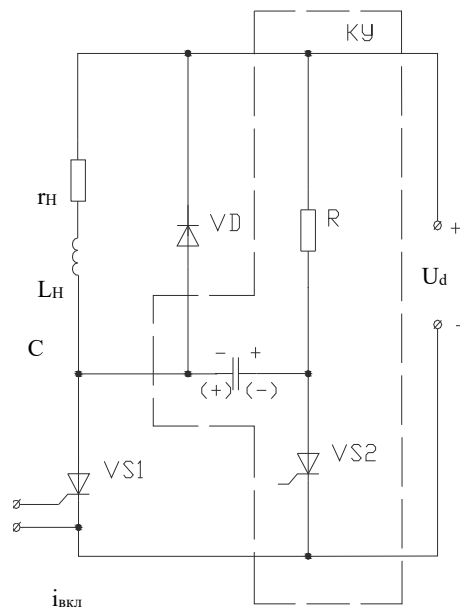


Рисунок 8.1 – Силовая схема тиристорного контактора

На рисунке 8.1 $R_H L_H$ – нагрузка; VD – шунтирующий диод; $VS1$ – рабочий тиристор. Остальные элементы образуют коммутирующий контур (КУ). В него входят конденсатор C_k , резистор R и тиристор $VS2$. «Замыкание» контактора осуществляется отпиранием импульсом управления рабочего тиристора $VS1$. При этом нагрузка оказывается подключенной через тиристор $VS1$ к источнику питания U_d , а конденсатор C_k заряжается через сопротивление R до напряжения U_d , причем левая обкладка получает отрицательный потенциал (на схеме он указан без скобок). Для «размыкания» контактора необходимо включить тиристор $VS2$. При этом напряжение конденсатора C_k оказывается приложенным через тиристор $VS2$ к тиристор $VS1$. Полярность приложенного напряжения такова, что ток тиристора $VS1$ падает до тока удержания и тиристор практически мгновенно закрывается. После чего конденсатор перезаряжается через тиристор $VS2$ и нагрузку, и его левая обкладка приобретает положительный потенциал (на схеме указан в скобках). При очередном «замыкании» контактора, когда снова отпирается тиристор $VS1$, напряжением конденсатора C_k закрывается

тиристор $VS2$, после чего конденсатор перезаряжается через сопротивление R и в дальнейшем процессы повторяются.

Тиристорные контакторы постоянного тока с последовательной коммутацией.

У контакторов с последовательной коммутацией импульс запирающего напряжения вводится последовательно в цепь рабочего тиристора. Схема такого контактора приведена на рисунке 8.2. Здесь $VS1$ – рабочий тиристор; $R_H L_H$ – нагрузка; $VD1$ – шунтирующий нагрузку диод; L_d – индуктивность источника питания U_d . Остальные элементы схемы образуют коммутирующий узел.

В него входят:

– трансформатор напряжения ТН, вторичная обмотка которого ω_2 включена последовательно в цепь рабочего тиристора $VS1$;

– коммутирующий конденсатор C_k , подключенный через вспомогательный тиристор $VS2$ к первичной обмотке ω_1 , трансформатора;

– вспомогательный источник питания U_k , служащий для предварительной зарядки конденсатора C_k через диод $D2$ и дроссель L до напряжения U_{Ck} ;

– цепочка, состоящая из вспомогательного тиристора $VS3$ и резистора R ; она включена параллельно цепи, образованной рабочим тиристором $VS1$ и обмоткой ω_2 трансформатора;

– устройство параллельной коммутации (УПК) тиристора $VS3$, показанное на рисунке 8.2 в виде прямоугольника, поскольку его схема может быть различной.

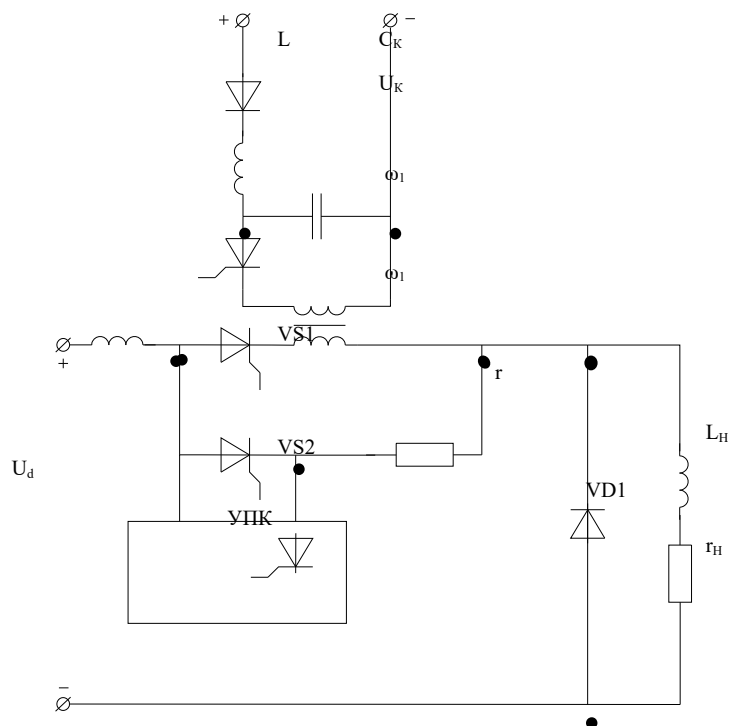


Рисунок 8.2 – Тиристорный контактор с последовательной коммутацией

Для «размыкания» контактора одновременно подаются импульсы управления на вспомогательные тиристоры $VS2$ и $VS3$. Обмотки трансформатора

соединены таким образом, что при отпирании тиристора $VS2$ во вторичной обмотке трансформатора ω_2 появляется напряжение $u''_{Cк} = u_{Cк}(\omega_2/\omega_1)$, направленное навстречу току рабочего тиристора $VS1$ и превышающее напряжение питания U_d . Соответственно, для тиристора $VS3$ это напряжение является рабочим. Поэтому он открывается тоже, что приводит к коммутации тока из тиристора $VS1$ в тиристор $VS3$.

После выключения тиристора $VS1$ осуществляется запираание тиристора $VS3$ методом параллельной коммутации, для чего подается отпирающий импульс управления на вспомогательный тиристор, входящий в схему УПК.

8.2 Описание лабораторного стенда

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 8.3.

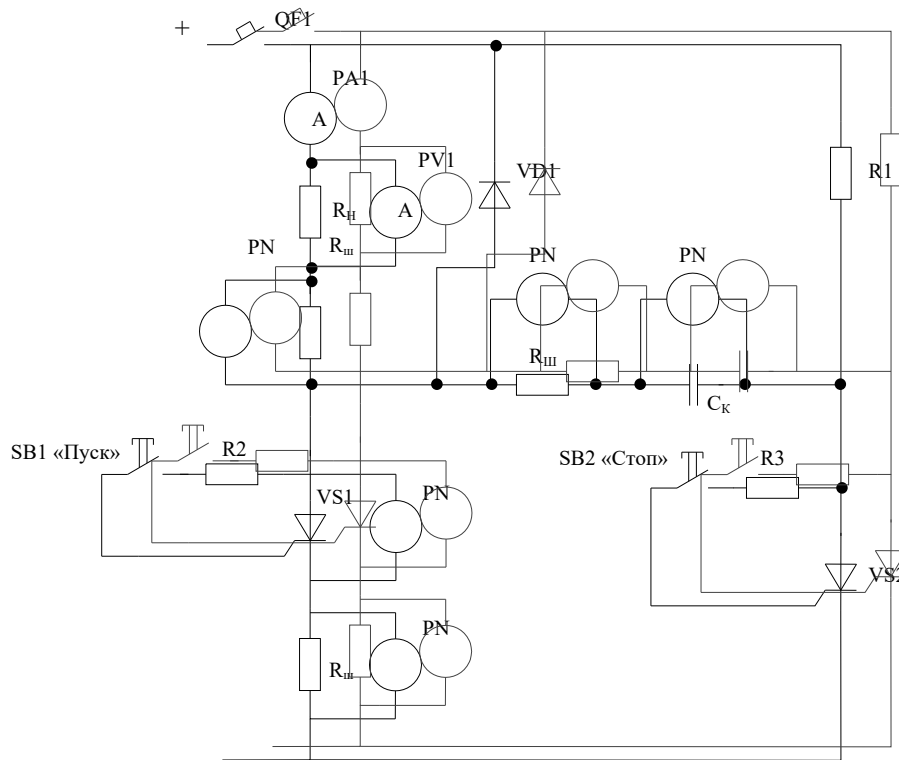


Рисунок 8.3 – Схема лабораторной установки

Включение тиристорного контактора осуществляем нажатием кнопки $SB1$ «Пуск». Отключение – нажатием кнопки $SB2$ «Стоп». Схема и работа контактора соответствуют описанию по схеме на рисунке 8.1.

8.3 Программа работы

8.3.1 Ознакомиться с работой контактора по схеме (см. рисунок 8.3). Включить контактор нажатием кнопки $SB1$. Снять показания приборов $PV1$, $PA1$ и осциллограммы напряжения и тока на нагрузке R_n .

8.3.2 Выключить контактор нажатием кнопки *SB2*. Повторить п. 8.3.1, но осциллограммы напряжения и тока снять на коммутирующем конденсаторе C_k и в цепи его заряда. Повторить п. 8.3.1, но осциллограммы напряжения снять на рабочем тиристоре *VS1* и осциллограммы тока в цепи тиристора *VS1*. Повторить п. 8.3.1, но соответствующие осциллограммы снять для коммутирующего тиристора *VS2*.

8.3.3 Используя полученные осциллограммы, объяснить работу тиристорного контактора постоянного тока.

Контрольные вопросы

1 Вольт-амперная характеристика тиристора и принципы управления тиристорами.

2 Объясните принцип управления тиристорами в цепи постоянного тока.

3 Объяснить работу тиристорного контактора постоянного тока с параллельной коммутацией.

4 Объяснить работу тиристорного контактора постоянного тока с последовательной коммутацией.

9 Лабораторная работа № 9. Тиристорный пускатель для управления АД с к. з. ротором

Цель работы: изучение принципов управления и элементов схемотехнических решений, используемых в нерегулируемых тиристорных пускателях переменного тока для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором.

9.1 Общие сведения

Тиристорные пускатели являются аналогами магнитных пускателей и предназначены для неуправляемого включения и отключения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, а также для реализации их защиты от перегрузки.

Тиристорные пускатели обладают следующими достоинствами:

- отсутствие электрической дуги при коммутациях;
- увеличенное число включений (до 2000 включений в час).

К недостаткам тиристорных пускателей относят:

- сложность схемы;
- большие габариты по сравнению с магнитными пускателями;
- более высокую стоимость.

Основные силовые схемы тиристорных пускателей приведены на рисунке 9.1.

В силовых схемах (см. рисунок 9.1) используется «естественная» коммутация тириستоров. Напряжение управления может формироваться и из анодных напряжений соответствующих тиристоров.

Рассмотрим в качестве примера однофазную схему, которая представлена на рисунке 9.2. Здесь $VS1$ и $VS2$ – рабочие тиристоры. Диоды $VD1$ и $VD2$, резистор $R1$ и контакт реле $K1$ образуют систему управления. Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, приведены на рисунке 9.3.

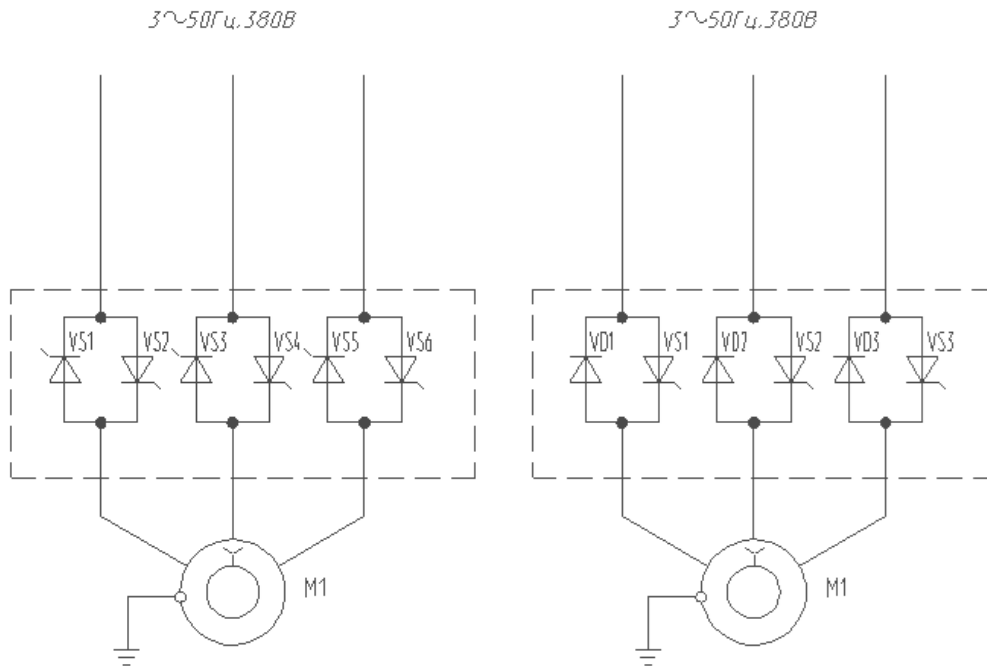


Рисунок 9.1 – Силовые схемы тиристорных пускателей

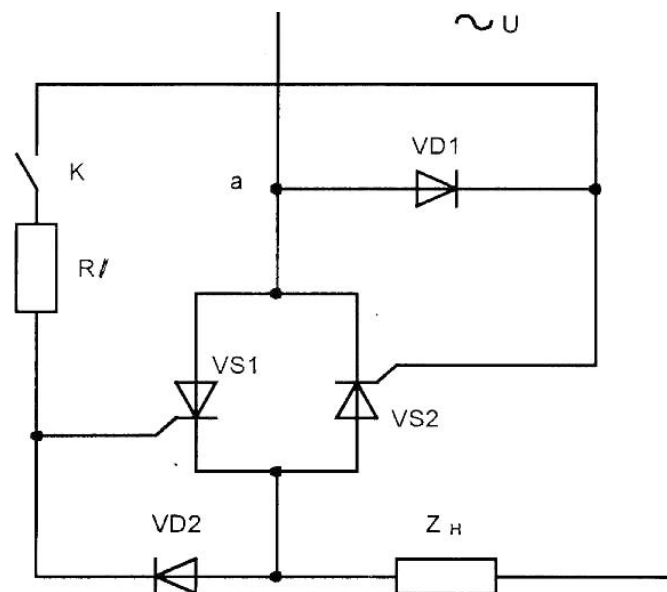


Рисунок 9.2 – Схема электрическая принципиальная

В момент t_0 , когда потенциал точки a становится выше потенциала точки b , открывается диод $VD1$ и замыкается цепь управления тиристорами $VS1$, содержащая еще кроме диода и резистор. Ток в этой цепи в момент времени t_1

отпирает тиристор $VS1$. Включенный тиристор шунтирует цепь управления, т. к. его сопротивление значительно ниже сопротивления резистора $R1$.

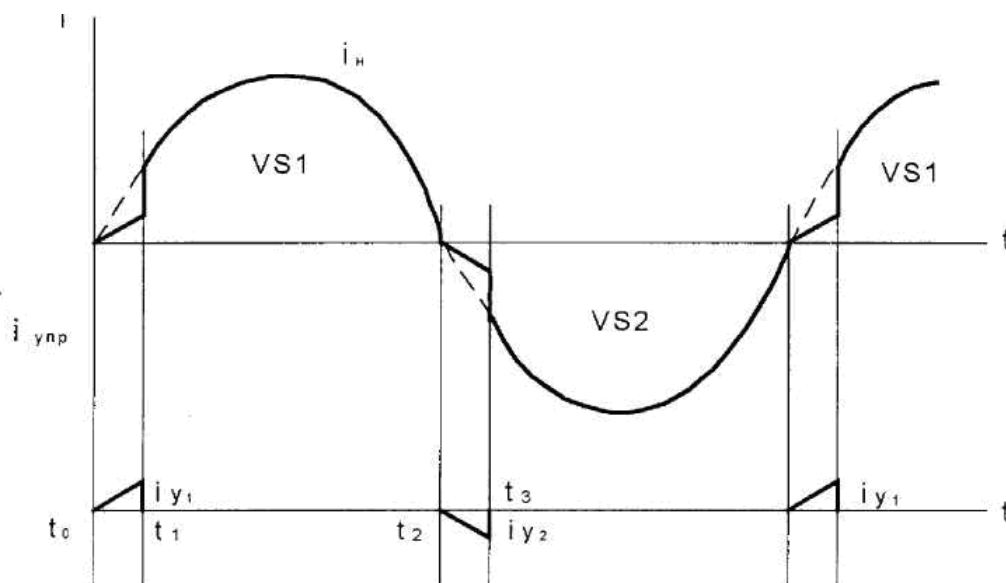


Рисунок 9.3 – Графики изменения токов

В результате ток в цепи управления после включения тиристора практически прекращается. Аналогично в момент времени t_2 , когда потенциал точки b становится выше потенциала точки a , открывается диод $VD2$ и замыкается цепь управления тиристора $VS2$.

Таким образом, токи управления тиристоров i_{y1} и i_{y2} имеют форму импульсов, которые подаются синхронно с анодным напряжением.

Для прекращения работы схемы прерывается подача импульсов управления (контакт $K1$ размыкается) и тиристоры закрываются («естественная» коммутация).

Достоинство рассмотренной схемы управления – простота. Однако существует недостаток: ток управления нарастает по гармоническому закону с частотой напряжения сети. Поэтому крутизна переднего фронта импульса управления невысока, что приводит к увеличению времени включения тиристоров, а значит, возрастают в нем потери.

На рисунке 9.4 представлен один из вариантов схемы бесконтактного тиристорного пускателя. Силовой блок $B1$ содержит силовые тиристоры $VS1–VS3$ и диоды $VD1–VD3$. При подаче сигнала управления на электроды 1–2, 3–4, 5–6 тиристоры открываются, и двигатель подключается к сети. В отрицательный полупериод (нерабочий для соответствующих тиристоров) ток двигателя проходит по диодам $VD1–VD3$. Диоды могут быть заменены тиристорами. При снятии сигнала управления (при перегрузке, потере фазы, нажатии кнопки $SB2$ «Стоп») тиристоры закрываются и после запираания диодов $VD1, VD2, VD3$ двигатель отключается от сети.

Сигналы управления тиристорами формируются в блокинг-генераторе $B2$, который получает напряжение от блока питания $B3$.

конденсатора $C2$. Таким образом, генерируются импульсы тока в обмотке ω_1 и в трех выходных обмотках ω_2 появляются управляющие импульсы. Диоды $VD5$ – $VD7$ пропускают импульсы только положительной полярности. Длительность импульса 30 мкс при паузе между импульсами 300 мкс (частота около 3 кГц).

При нормальном режиме транзистор $VT2$ блока Б2 насыщен и лампа $HL2$ не горит. Если на контакты 7, 8 блока Б2 подано напряжение с одноименных контактов блока защиты Б4, тиристор $VS4$ открывается и блокинг-генератор лишается питания. Блок питания Б3 включается только на резистор $R8$. При потере питания генерация в блоке Б2 прекращается и тиристор $VS5$ отключается. Одновременно транзистор $VT2$ закрывается и загорается лампа $HL2$, сигнализируя об отключении пускателя. В случае потери фазы в выходном напряжении (после диодов $VD8$ – $VD10$) появляется пауза. В эту паузу блок Б2 останавливается и тиристор $VS5$ отключается, что ведет к закрытию силовых тиристоров.

Блок Б4 защиты двигателя и силовых тиристоров от перегрузки питается от трансформаторов тока $TA1$ – $TA3$. Напряжение с нагрузочных резисторов выпрямляется и подается на потенциометр $RP1$. Параметры трансформаторов $TA1$ – $TA3$ и резисторов $R1$, $R5$ – $R7$ выбираются так, что при номинальном токе во всех трех фазах напряжение, снимаемое с потенциометра $RP1$, меньше напряжения пробоя стабилитрона $VD11$. До тех пор, пока напряжение на стабилитроне меньше напряжения пробоя ($U < U_{\text{проб.}}$), сопротивление стабилитрона очень высоко. При этом ток базы транзистора $VT1$ недостаточен для его открытия. Если ток хотя бы в одной фазе превысит номинальное значение, то возникает неравенство $U > U_{\text{проб.}}$, сопротивление стабилитрона снова возрастет, транзистор $VT1$ откроется. После открытия транзистора $VT1$ начинается заряд конденсатора $C1$. Напряжение с конденсатора $C1$ на выходы 7, 8 не подается до тех пор, пока не превысит напряжение переключения динистора $VD4$. Если перегрузка была настолько кратковременной, что конденсатор $C2$ не успел зарядиться, то напряжение на выходах 7 и 8 не появится и пускатель останется в работе. Если U_{C1} станет больше напряжения переключения динистора $VD4$, произойдет разряд конденсатора $C1$ на цепь управления тиристора $VS4$ блока Б2 и последний откроется. При этом прекратится генерация импульсов, открывающих $VS1$ – $VS3$, и двигатель остановится. Параметр срабатывания блока защиты регулируется потенциометром $RP1$. Защита двигателя и силовых тиристоров от токов короткого замыкания осуществляется быстродействующими предохранителями $FU1$ – $FU3$.

9.2 Программа работы

9.2.1 Изучить принцип управления тиристорами в соответствии со схемой на рисунке 9.2.

9.2.2 Изучить работу тиристорного пускателя (см. рисунок 9.4).

Контрольные вопросы

- 1 Назначение тиристорного пускателя.
- 2 Достоинства и недостатки тиристорных пускателей.
- 3 Объяснить понятие «естественная» коммутация тиристорных.
- 4 Пояснить принцип формирования сигнала управления для тиристора с использованием анодного напряжения тиристорных.

10 Лабораторная работа № 10 Тиристорное пусковое устройство для управления АД с к. з. ротором

Цель работы: изучение принципов управления и элементов схемотехнических решений, используемых в регулируемых тиристорных пусковых устройствах для управления пуском асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

10.1 Общие сведения

Регулируемые тиристорные пусковые устройства (тиристорные регуляторы напряжения, «мягкие» пускатели) используются для формирования пуско-тормозных режимов асинхронных двигателей за счет изменения действующего значения напряжения, подаваемого на статорную обмотку при пуске и реализации различных тормозных режимов при отключении двигателя (например, режим динамического торможения). Это позволяет ограничивать пусковые токи асинхронных двигателей (АД) и управлять электромагнитным моментом АД в процессе пуска и торможения. Основная силовая схема тиристорного пускового устройства приведена на рисунке 10.2. В этой схеме используется естественная коммутация тиристорных, что позволяет, например, в процессе пуска регулировать угол открывания тиристорных и соответственно регулировать основную гармонику действующего напряжения, подаваемого на двигатель (рисунок 10.1), а значит, формировать управляемый пуск АД.

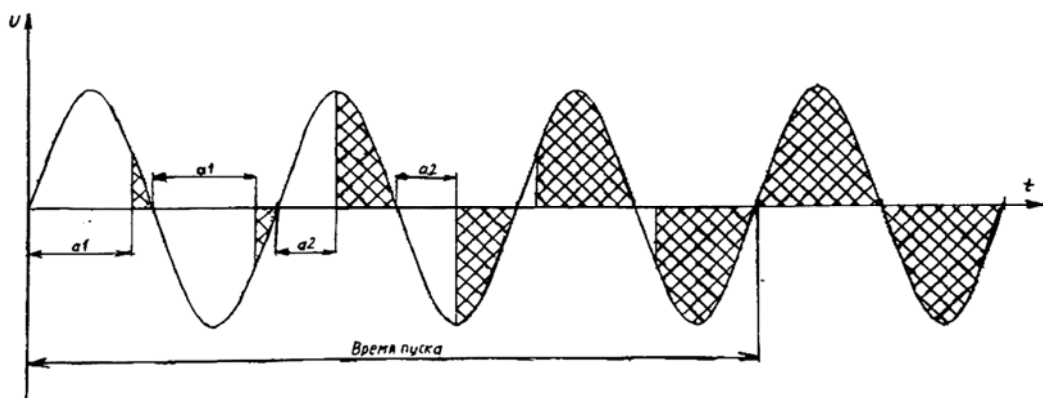


Рисунок 10.1 – Изменение фазного напряжения в процессе пуска

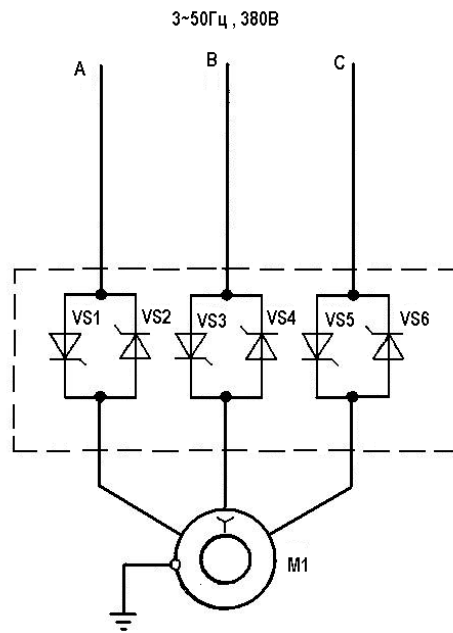


Рисунок 10.2 – Силовая схема тиристорного пускового устройства

Блок-схема регулируемого тиристорного пускового устройства приведена на рисунке 10.3.

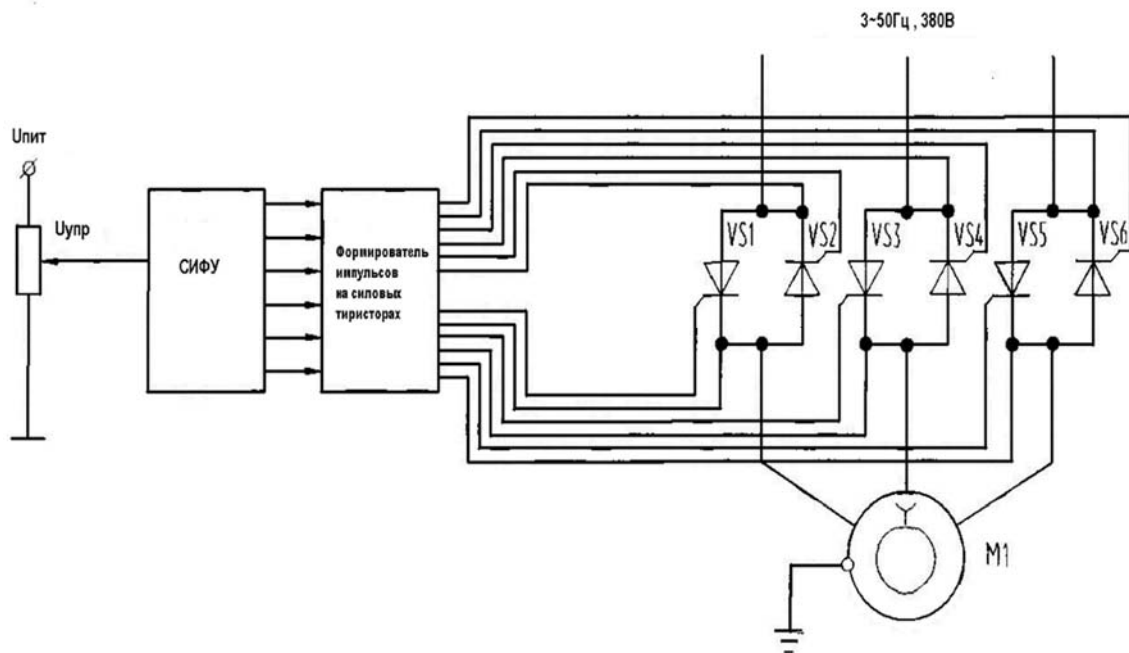


Рисунок 10.3 – Блок-схема регулируемого тиристорного пускового устройства

Схема работает следующим образом. При изменении сигнала управления $U_{упр}$ (например, по линейному закону), система импульсно-фазового управления (СИФУ) формирует импульсы управления на каждый тиристор силовой схемы. Эти импульсы схемой формирователя импульсов распределяются на соответствующие тиристоры в каждой фазе в рабочий для них полупериод питающего напряжения. В результате встречно-параллельно

включенные тиристоры откроются в соответствии с заданным на каждом полупериоде питающего напряжения углом управления (см. рисунок 10.1), что и обеспечивает изменение действующего напряжения на двигателе, а значит и темп нарастания частоты вращения двигателя. Системы импульсно-фазового управления тиристорами могут быть асинхронные, синхронные, одноканальные, многоканальные.

При синхронном способе фазового управления отсчет угла подачи импульса управления идет от начала перехода напряжения сети через нуль (см. рисунок 10.1). Структура многоканальной синхронной СИФУ показана на рисунке 10.4.

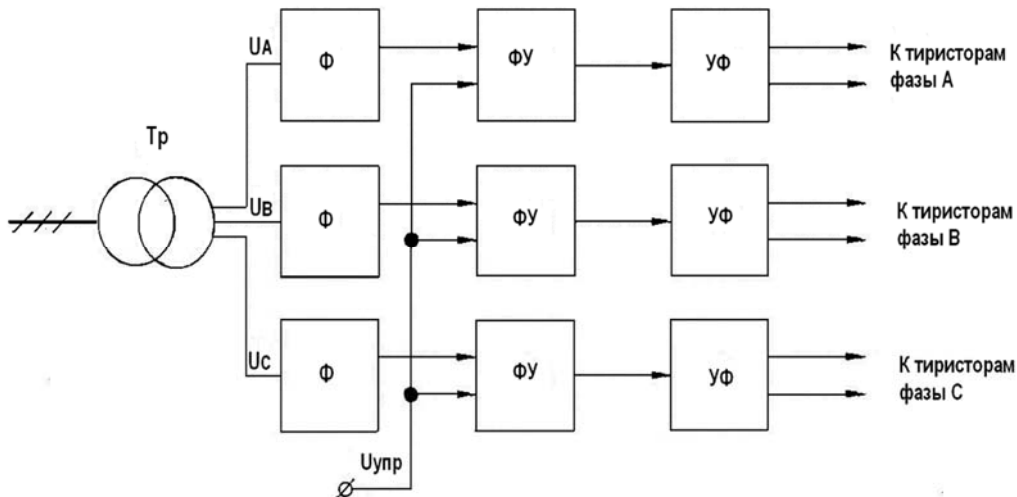


Рисунок 10.4 – Многоканальная СИФУ

Трансформатор T_p служит для получения напряжения синхронизации от сети питания пускового устройства. Фильтр Φ устраняет помехи, возникающие по цепи синхронизации. Фазосдвигающее устройство (ФУ) определяет момент подачи импульса управления в соответствии с сигналами синхронизации и управления $U_{упр}$. Сигнал с выхода ФУ поступает на усилитель-формирователь (УФ), осуществляющий непосредственно формирование импульса по длительности и амплитуде, а также обеспечивает гальваническую развязку цепей управления от силовых цепей. Временные диаграммы схемы по рисунку 10.4 показаны на рисунке 10.6 (для фазы А). Одноканальная синхронная СИФУ показана на рисунке 10.5.

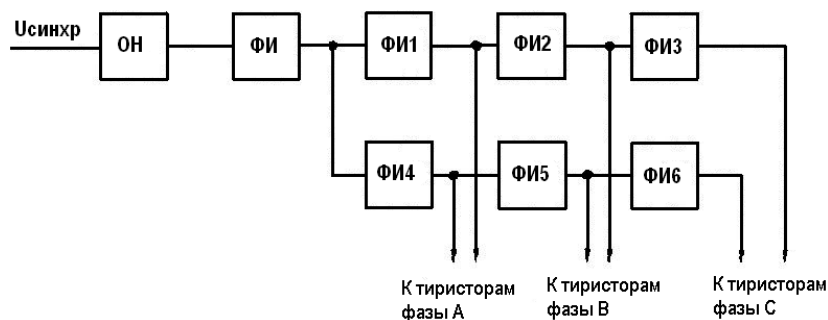


Рисунок 10.5 – Одноканальная синхронная СИФУ

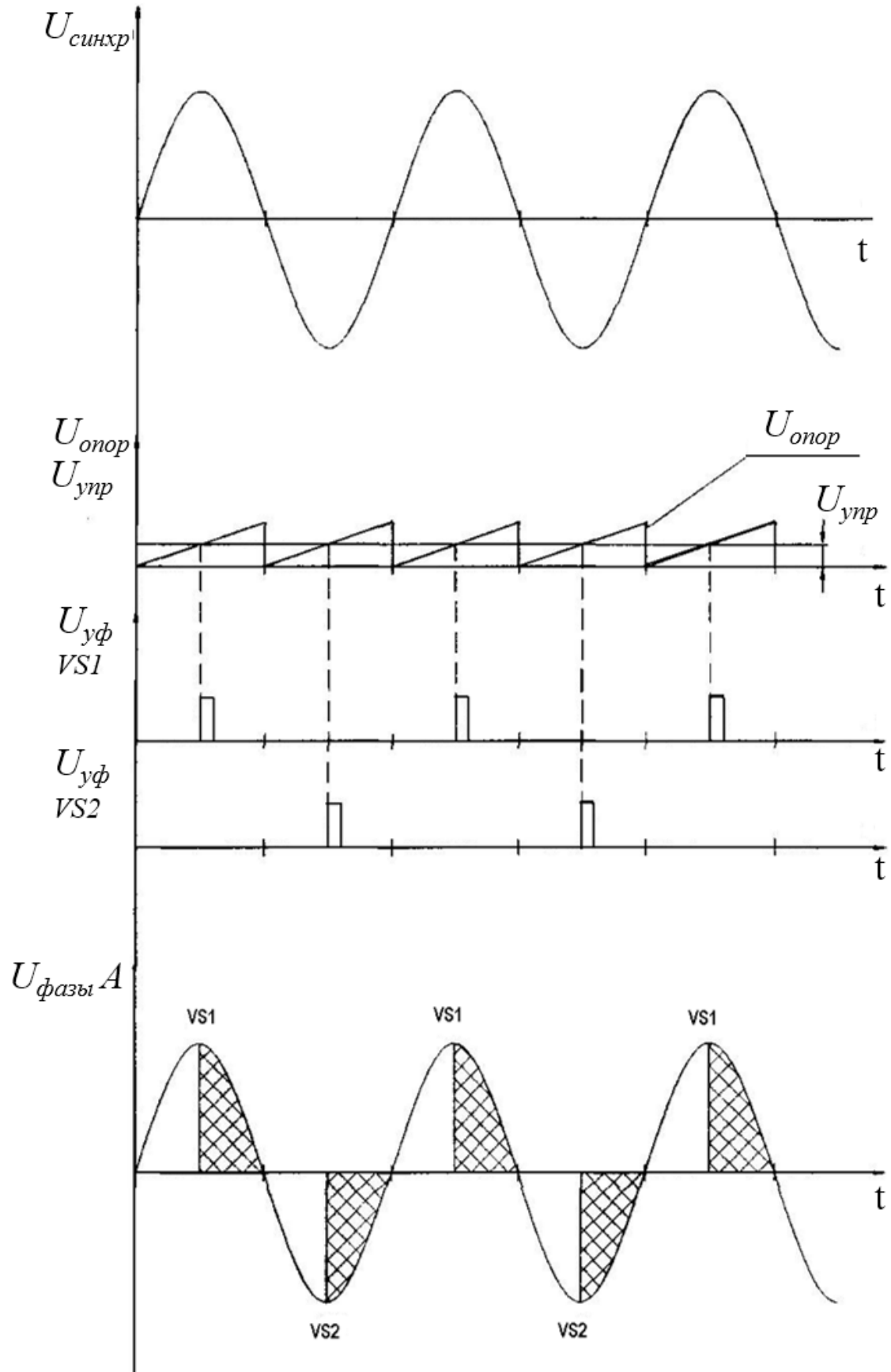


Рисунок 10.6 – Временные диаграммы работы многоканальной СИФУ (для фазы А)

Здесь напряжение синхронизации с синхронизирующего трансформатора поступает на блок опорного напряжения, который формирует пилообразное напряжение $U_{\text{он}}$ (рисунок 10.7).

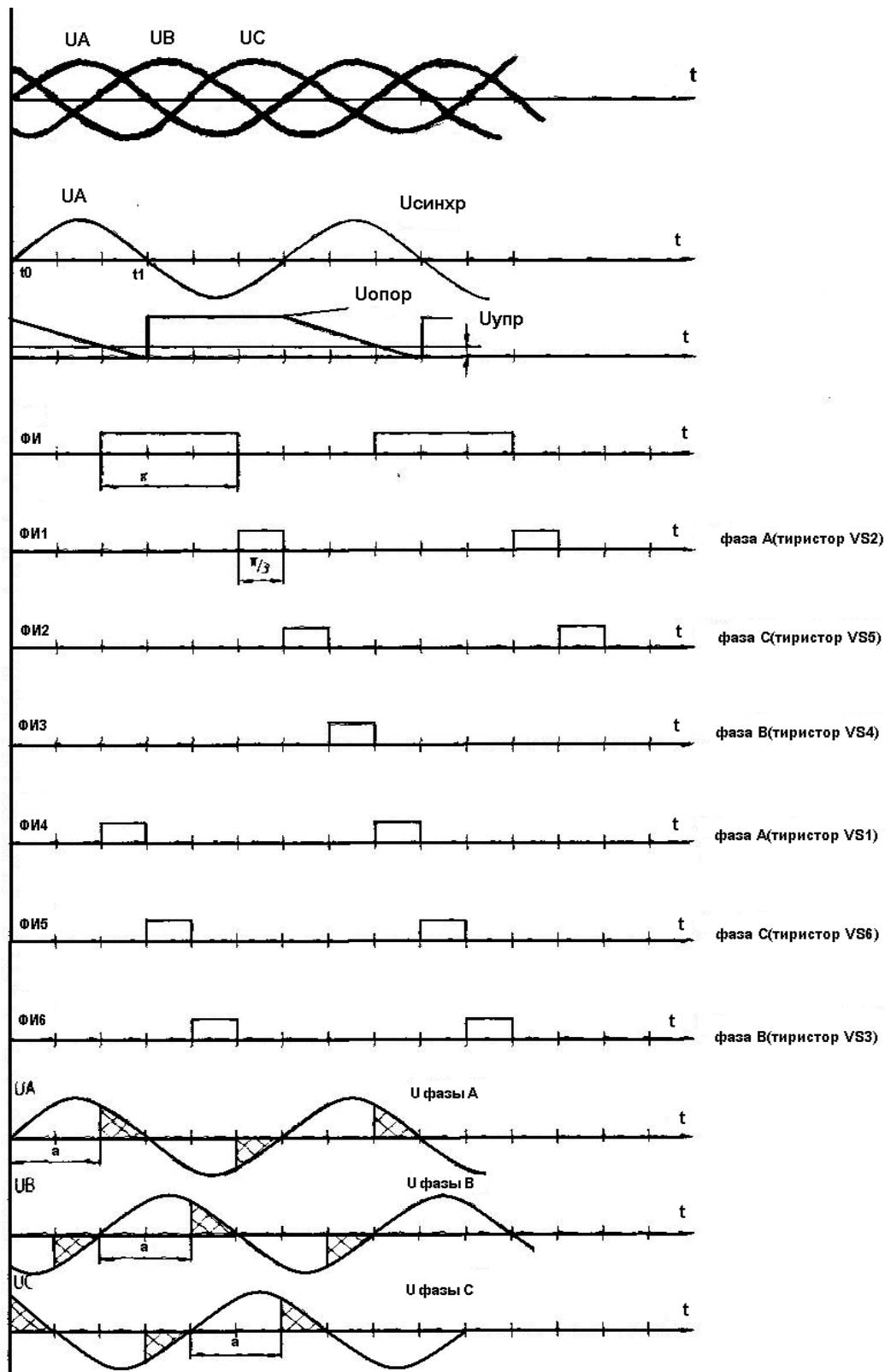


Рисунок 10.7 – Структура и временные диаграммы работы одноканальной СИФУ

ФИ сравнивает опорное напряжение $U_{он}$ с напряжением управления $U_{упр}$ и в момент равенства этих напряжений формирует импульс шириной в π радиан. По передним и задним фронтам этого импульса формирователи импульсов ФИ4, ФИ5, ФИ6 и ФИ1, ФИ2, ФИ3 формируют импульсы шириной $\pi/3$ (учитывая естественный сдвиг системы трехфазных напряжений в фазах А, В, С на $\pi/3$ по отношению друг к другу), которые и подаются через усилители УФ (не показаны) на тиристоры соответствующих фаз. Таким образом, в одноканальной СИФУ в отличие от многоканальной, опорный импульс шириной π формируется с использованием напряжения синхронизации только одной формы, а затем по этому импульсу формируются конкретные импульсы управления для тиристоров всех фаз. Усилитель-формирователь импульсов на тиристоры может быть выполнен по схеме рисунка 10.8.

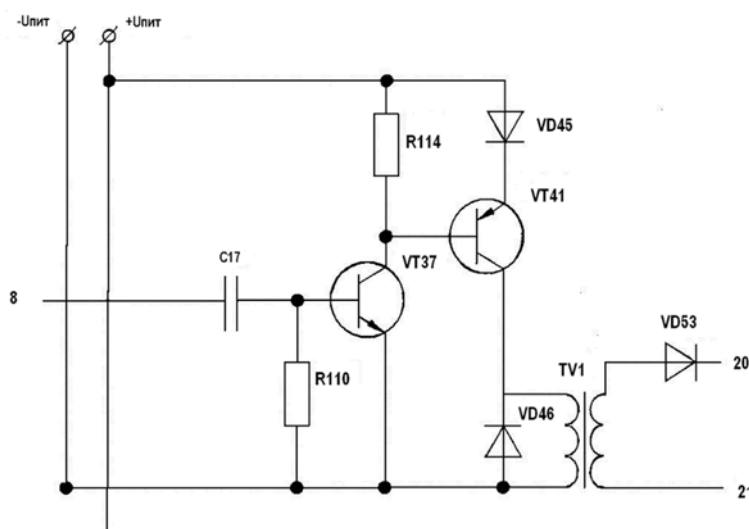


Рисунок 10.8 – Блок формирования и усиления управляющих импульсов на тиристоры

Схема работает следующим образом. При поступлении импульса управления с одного из выходов СИФУ на базу транзистора он открывается и на базу транзистора $VT38$ подается положительное напряжение источника питания. Последний открывается на время действия импульсного управления и на выходе импульсного трансформатора формируется импульсное напряжение управления на соответствующий тиристор.

10.2 Принципиальная схема тиристорного пускового устройства для управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Принципиальная схема тиристорного пускового устройства на основе блок-схемы (см. рисунок 10.3) и с выходным усилителем (см. рисунок 10.8) импульсов приведена на рисунке 10.9.

Здесь дополнительно использованы:

– блок питания (БП) для питания всех элементов схемы. Выходное напряжение этого блока выбирается исходя из номинальных напряжений, на которые рассчитаны элементы схемы (в первую очередь транзисторы);

- параллельно силовым тиристорам включены RC -цепи для ограничения перенапряжений;
- задатчик интенсивности (например, интегратор на операционном усилителе) позволяет задать требуемую длительность, а значит и темп разгона асинхронного двигателя.

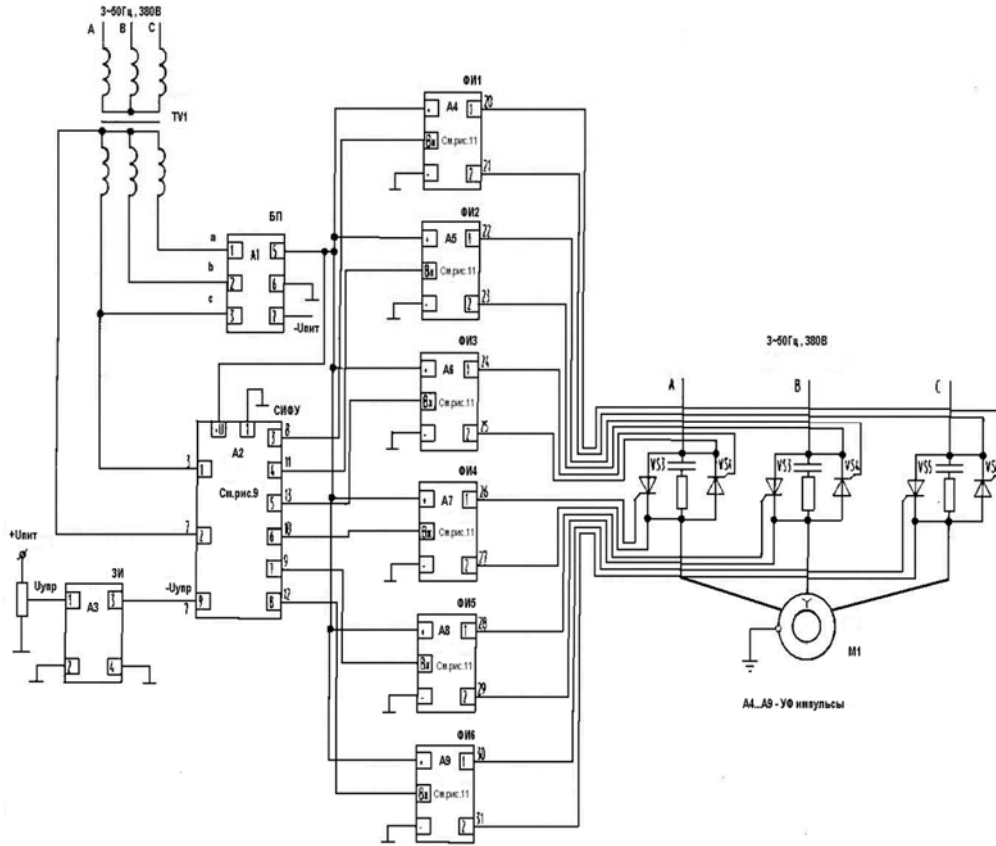


Рисунок 10.9 – Схема электрическая принципиальная пускового устройства

Схема работает следующим образом (см. рисунки 10.8 и 10.9). При подаче на вход задатчика интенсивности напряжения задания $U_{\text{зад}}$ на выходе ЗИ формируется в течение определенного времени (это время пуска АД) линейно нарастающий сигнал напряжения управления $U_{\text{упр}}$. На этом промежутке времени СИФУ формирует импульсы управления с изменяющимся углом управления α от α_{min} (соответствует отсутствию напряжения на двигателе) до α_{max} (напряжение на двигателе $U = U_{\text{ном}}$). Эти импульсы управления через усилители-формирователи (см. рисунок 10.9) поступают на встречно-параллельно включенные тиристоры $VS1-VS6$ силовой схемы тиристорного пускового устройства. Тиристоры открываются каждый в свой рабочий полупериод (естественная коммутация) и в момент времени, определенный углом управления α . В результате действующее напряжение на двигателе меняется от нулевого значения до номинального, чем и обеспечивается управляемый пуск асинхронного двигателя до рабочей частоты вращения, которая определяется моментом нагрузки на валу.

10.3 Программа работы

10.3.1 Изучить принципы работы и устройство основных блоков пускового устройства для управления асинхронным двигателем.

10.3.2 Объяснить принцип работы пускового устройства (см. рисунок 10.9).

Контрольные вопросы

- 1 Назначение регулируемых тиристорных пусковых устройств.
- 2 Чем отличается синхронная система управления от асинхронной?
- 3 Принцип работы одноканальной СИФУ.
- 4 Принцип работы многоканальной СИФУ.

Список литературы

- 1 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты / А. А. Чунихин. – Москва: Альянс, 2018. – 720 с.
- 2 Электрические и электронные аппараты: учебник / Под ред. Ю. К. Розанова. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 745 с.
- 3 Электронные и электрические аппараты: учебник: в 2 т. / Под ред. Ю. К. Розанова. – Москва: Академия, 2010. – Т. 1–2.
- 4 **Елкин, В. Д.** Электрические аппараты: учебник / В. Д. Елкин, Т. В. Елкина. – Минск: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
- 5 **Розанов, Ю. К.** Основы силовой электроники / Ю. К. Розанов. – Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 220 с.