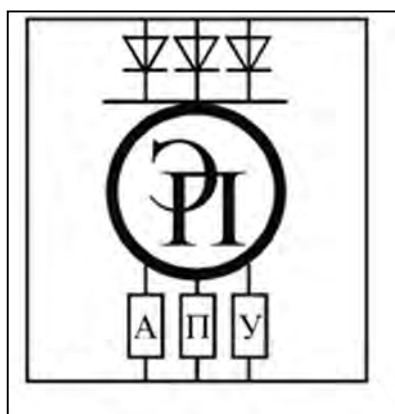


ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация  
промышленных установок»

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

*Методические рекомендации  
к лабораторным работам для студентов направления подготовки  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 62-83  
ББК 31.291  
Э 62

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «10» октября 2017 г.,  
протокол № 3

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

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

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» дневной формы обучения.

В методических рекомендациях изложены программа и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электрические и электронные аппараты».

Учебно-методическое издание

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Технический редактор	А. А. Подошеvко
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 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2018



## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Коммутационные процессы в электрических аппаратах.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование процесса нагрева катушек постоянного и переменного токов и режимы работы электрических аппаратов.....	6
3 Лабораторная работа № 3. Исследование и изучение конструкций предохранителей.....	9
4 Лабораторная работа № 4. Переходное сопротивление контактов и магнитоуправляемые контакты.....	11
5 Лабораторная работа № 5. Исследование магнитных пускателей, контакторов переменного тока и тепловых реле.....	13
6 Лабораторная работа № 6. Изучение конструкций автоматических выключателей.....	15
7 Лабораторная работа № 7. Исследование электромагнитных реле времени.....	17
8 Лабораторная работа № 8. Исследование реле максимального тока.....	20
9 Лабораторная работа № 9. Способы выключения тиристоров.....	22
10 Лабораторная работа № 10. Транзисторный регулятор напряжения.....	27
11 Лабораторная работа № 11. Тиристорный контактор постоянного тока.....	34
12 Лабораторная работа № 12. Тиристорный пускатель для управления АД с короткозамкнутым ротором.....	37
13 Лабораторная работа № 13. Тиристорное пусковое устройство для управления АД с короткозамкнутым ротором.....	41
Список литературы.....	47



# 1 Лабораторная работа № 1. Коммутационные процессы в электрических аппаратах

*Цель работы:* изучение особенностей процессов коммутации при работе контактных аппаратов.

## 1.1 Общие сведения

Коммутация электрической цепи – процесс замыкания или размыкания электрической цепи либо физически – за счет включенного или отключенного состояния контактов в контактных электрических аппаратах, либо за счет изменения состояния полупроводникового силового прибора (транзистор, тиристор) – электронного ключа – в бесконтактных (полупроводниковых) электрических аппаратах.

При физической коммутации электрических цепей на контактах возникает дуговой разряд, если величина тока и напряжения превосходят некоторые критические значения. Эти критические значения зависят от ряда факторов: материала контактов, параметров цепи, свойств среды и т. д.

Возникновение дуги на контактах аппарата ведет к их значительному износу и сокращению срока службы аппарата. Поэтому одним из наиболее радикальных средств уменьшения износа контактов под влиянием дуги является сокращение времени горения дуги за счет применения дугогасительных устройств.

Для контактов на токи от долей ампера до нескольких ампер применяются схемные методы (рисунок 1.1), при которых почти вся электромагнитная энергия, накопленная в цепи, при отключении контактов выделяется не в дуге, а в дополнительных элементах схемы.

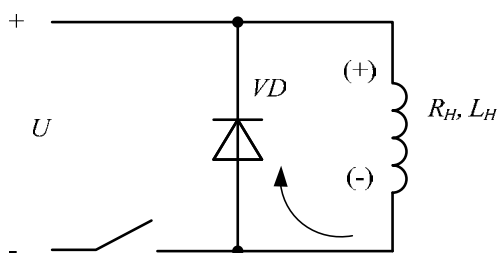


Рисунок 1.1 – Схема для снижения перенапряжений при работе контактов

При замыкании контактов может иметь место их вибрация. При вибрации контактов возможно повторное возникновение дуги или появление искры, что ведет к усиленному износу контактов (эрозия контактов).

При отключении цепи на переменном токе дуга является проводящим элементом цепи в течение всей полуволны тока, процесс гашения дуги, по существу, проходит вблизи нулевой паузы тока, когда электромагнитная энергия цепи близка к нулю. В результате вероятность появления опасных перенапряжений резко уменьшается.

## 1.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 В схеме (рисунок 1.2) включить кнопку управления  $SB1$ . Снять осциллограмму напряжения на индуктивной нагрузке ( $KM$ ).

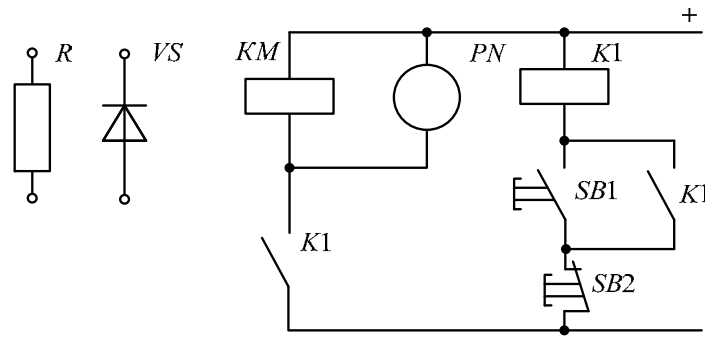


Рисунок 1.2 – Схема опыта при исследовании коммутационных перенапряжений

2 Включить параллельно индуктивной нагрузке  $KM$  диод  $VS$ . Снять осциллограмму напряжения на индуктивной нагрузке  $KM$  при замыкании ключа  $SB1$ .

3 В схему включить вместо индуктивной нагрузки активную нагрузку (сопротивление  $R$ ). Снять осциллограмму напряжения на сопротивлении  $R$  при замыкании ключа  $SB1$ .

4 Сравнить осциллограммы, полученные во всех опытах, и сделать выводы.

5 В схеме (рисунок 1.3) включить ключ  $SB1$ .

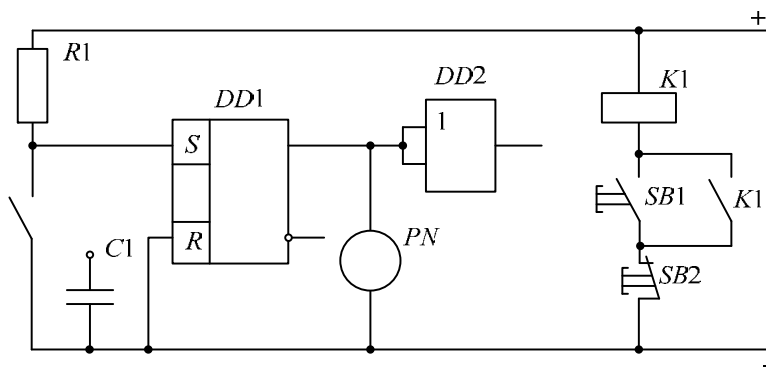


Рисунок 1.3 – Схема опыта исследования вибрации контактов

6 Включить на вход  $R-S$  триггера конденсатор  $C1$ . Снять осциллограмму напряжения на выходе  $R-S$  триггера  $DD1$  при замыкании контакта  $K1$ .

7 Сравнить осциллограммы, полученные во всех опытах, и сделать выводы.

### Контрольные вопросы

- 1 Причина вибрации контактов.
- 2 Перенапряжения при коммутации цепей постоянного тока.
- 3 Меры устранения перенапряжений в цепях постоянного тока.
- 4 Перенапряжения при коммутации цепей переменного тока.

## 2 Лабораторная работа № 2. Исследование процесса нагрева катушек постоянного и переменного токов и режимы работы электрических аппаратов

*Цель работы:* изучение режимов работы электрических аппаратов и методы измерения температуры нагрева катушек постоянного и переменного токов.

### 2.1 Общие сведения

В токоведущих деталях аппаратов возникают потери электрической энергии в виде тепла. Тепловая энергия частично расходуется на повышение температуры аппарата и частично рассеивается в окружающей среде. Нагрев токоведущих частей и изоляции аппарата в значительной степени определяет его надежность. Во всех возможных режимах работы температура их не должна превосходить допустимых значений, определяемых классом применяемой изоляции. Основные режимы работы аппаратов: продолжительный, перемежающийся, повторно-кратковременный и кратковременный.

В электротехнических устройствах очень распространены разнообразные конструкции катушек с ферромагнитными сердечниками. Потери электроэнергии в обмотках катушек приводят к нагреву катушек. В случае питания катушек от источника постоянного тока в установившемся режиме тепло выделяется только в катушке и передается с внутренней поверхности катушки магнитопроводу и с последнего – окружающей среде. Таким образом, магнитопровод является своеобразным радиатором, который способствует улучшению теплоотвода от внутренних слоев обмотки электромагнита. При переменном токе в ферромагнитном сердечнике возникают активные потери от вихревых токов и перемангничивания и, следовательно, нагрев катушки будет зависеть от источников тепла, сосредоточенных не только в катушке, но и в ферромагнитном сердечнике.

Катушки, как правило, имеют значительную толщину. Тепло, выделившееся в средних участках катушки, проходит через другие участки к поверхности, с которой отдается в окружающую среду. При этом имеет место перепад температуры по направлению движения теплового потока и, как следствие, неодинаковая температура нагрева разных слоев катушки. Измерение температуры нагрева катушек может быть произведено следующими способами:

- измерение активного сопротивления катушки в холодном и горячем состояниях;
- с помощью термопар.

Температуру нагрева катушки находят, согласно первому способу, по изменению ее активного сопротивления в процессе нагрева. При нагреве сопротивление изменяется по закону

$$R = R_0(1 + \alpha\theta),$$

где  $R_0$  – сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ , Ом;



$\theta$  – температура нагрева, °С;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, 1/°С.

Используя эту зависимость, можем записать:

– сопротивление при температуре  $\theta_\lambda$  в начале опыта, т. е. в холодном состоянии ( $\theta_\lambda$  – в данном случае температура окружающей среды)

$$R_\lambda = R_0(1 + \alpha\theta_\lambda);$$

– сопротивление в конце опыта при температуре  $\theta_z$ , т. е. в горячем состоянии

$$R_z = R_0(1 + \alpha\theta_z).$$

Исходя из этих уравнений

$$\theta_z = R_z/R_\lambda \left( \frac{1}{\alpha} + \theta_\lambda \right) - \frac{1}{\alpha}.$$

Для меди  $\alpha = 0,00426$  1/°С. Тогда для катушки из меди

$$\theta_z = R_z/R_\lambda(\theta_\lambda + 234,5) - 234,5.$$

Методом измерения сопротивления находят лишь среднюю температуру. Второй способ (с помощью термопар) позволяет найти температуру нагрева катушки в различных точках ее сечения и установить участок с максимальной температурой.

## 2.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой стенд, на котором размещена вся аппаратура управления и исследуемые катушки.

Измерение сопротивлений производится амперметром и вольтметром по схеме на рисунке 2.1. В лабораторной работе используется также катушка с термопарами, позволяющими измерить температуру на различных участках по сечению катушки. Всего установлено пять термопар. На рисунке 2.2 приведен эскиз катушки с указанием места расположения термопар по толщине и длине катушки. Выводы термопар присоединены к переключателю  $Q1$ , к которому подсоединен милливольтметр. Путем переключения можно измерить ЭДС любой термопары.

## 2.3 Программа работы

1 Исследовать процесс нагрева катушки постоянного тока и найти среднюю установившуюся температуру нагрева первым способом – измерением сопротивлений.

Для этого следует:

– замерить начальные значения  $U_0$  и  $I_0$  (по миллиамперметру  $PA1$  и милливольтметру  $PV1$ ). Найти  $R_\lambda = U_0/I_0$ ;

– замерять показания вольтметра и миллиамперметра через каждые 2 мин;

- найти  $R_T = U/I$  для каждого момента времени, а затем определить среднюю температуру нагрева катушки;
- построить кривую изменения  $\theta_z$  катушки постоянного тока от времени включения и найти установившуюся температуру  $\theta_{уст}$  нагрева катушки 4.

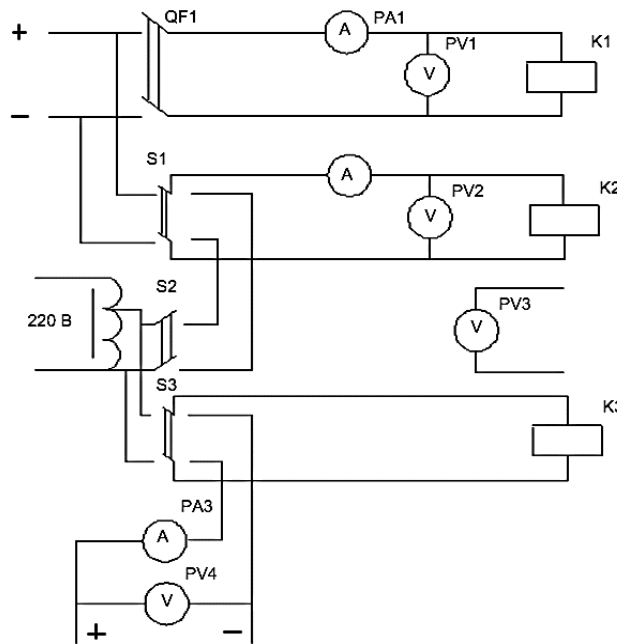


Рисунок 2.1 – Схема лабораторной установки

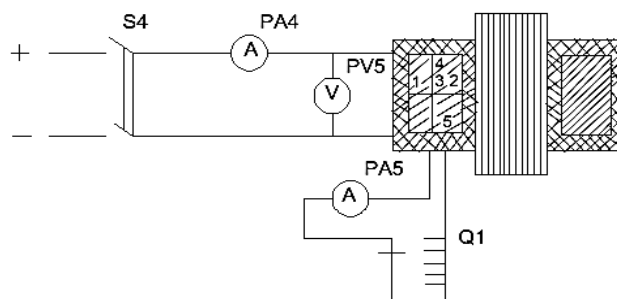


Рисунок 2.2 – Измерение температуры катушки термопарами

2 Исследовать процесс нагрева катушки переменного тока и найти среднюю установившуюся температуру нагрева первым способом измерением сопротивлений (производить параллельно с исследованием процесса нагрева катушки постоянного тока). Для этого необходимо включить выключатели  $S1$  и  $S2$ . Дальнейшая последовательность операций такая же, как и для операций с катушкой постоянного тока, за исключением того, что через каждые 2 мин необходимо переключателем  $S1$  подключать катушку к цепи постоянного тока и, по возможности, быстрее производить измерения напряжения  $U$  и тока  $I$  (показания  $PV1$  и  $PA1$ ). После измерений  $U$  и  $I$  переключателем  $S1$  катушка вновь подключается к сети переменного тока. Построить кривую нагрева.

3 Найти вторым способом – с помощью термопар – значения температуры нагрева в различных точках в сечении катушки при постоянном токе.



Для этого следует:

- подключить катушку переключателем  $S4$  к сети постоянного тока;
- подсоединить милливольтметр (точки подсоединения показаны на стенде);
- записать показания милливольтметра при его поочередном подключении к той или иной термопаре после того, как наступит установившейся режим (выждать 30...40 мин);
- найти соответствующую температуру  $\theta$  по градуировочной кривой для каждого показания милливольтметра (информация у преподавателя);
- построить кривые изменения температуры нагрева по толщине и длине катушки при питании ее от сети постоянного тока;
- при построении зависимости изменения  $\theta$  по толщине катушки принимать показания термопар № 1, 3, 5, при построении же подобной зависимости по длине катушки – термопар № 2, 3, 4.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Способы измерения температуры катушек постоянного и переменного токов.
- 2 Причины нагрева катушек постоянного и переменного токов.
- 3 Тепловые режимы работы электрических аппаратов.

## **3 Лабораторная работа № 3. Исследование и изучение конструкций предохранителей**

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

### ***3.1 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.

Основные токовые параметры предохранителя – это номинальный ток  $I_{ном}$ , пограничный ток  $I_{погр}$ , предельно отключаемый ток к. з.

### ***3.2 Описание лабораторной установки***

Лабораторная установка представляет собою стенд НТЦ 08.09 «Электрические аппараты», на котором размещена вся аппаратура управления для снятия времятоковых характеристик плавких вставок. Эксперименты проводятся по схеме, представленной на рисунке 3.1. Исследуемая плавкая вставка включается в рассечку цепи на выходе трансформатора  $TV2$ . Величина тока в



этой цепи регулируется автотрансформатором  $TVI$ . Для измерения времени срабатывания плавких вставок использован электрический секундомер (ЭС), который через контакт токового реле  $KA1$  подключен к источнику питания.

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

### 3.3 Программа работы

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 и с его применением.

2 По данным опыта п. 1 построить в одном масштабе времятоковые характеристики, сравнить их и сделать выводы.

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

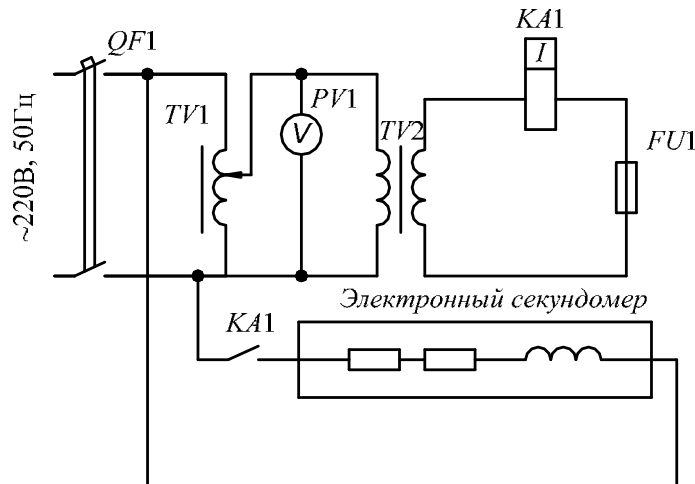


Рисунок 3.1 – Схема электрическая принципиальная установки

### 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.

## 4 Лабораторная работа № 4. 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.

### 4.1 Общие сведения

В простейшем виде геркон представляет собой стеклянную трубочку, запаянную с обеих сторон, в которую вводятся с некоторым зазором две ферромагнитные пластины. 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. Простейшее герконовое реле можно получить, если поместить геркон в соленоид. Важнейшими преимуществами их являются простота конструкции, надежность в работе, отсутствие потребности в регулировке, высокое быстродействие.

Наличие контакта всегда приводит к появлению добавочного сопротивления называемого переходным сопротивлением контакта. Контактные поверхности, как бы они тщательно ни были зачищены, представляют собой неровную поверхность с выступами и впадинами. 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.

### 4.3 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 4.1).

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, – амперметром *PA1*. Изменяя ток в обмотке реле с помощью потенциометра *RP1* 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  $R_n$  контактов ИК:

$$R_n = \frac{U_{н.к.}}{I_n}.$$

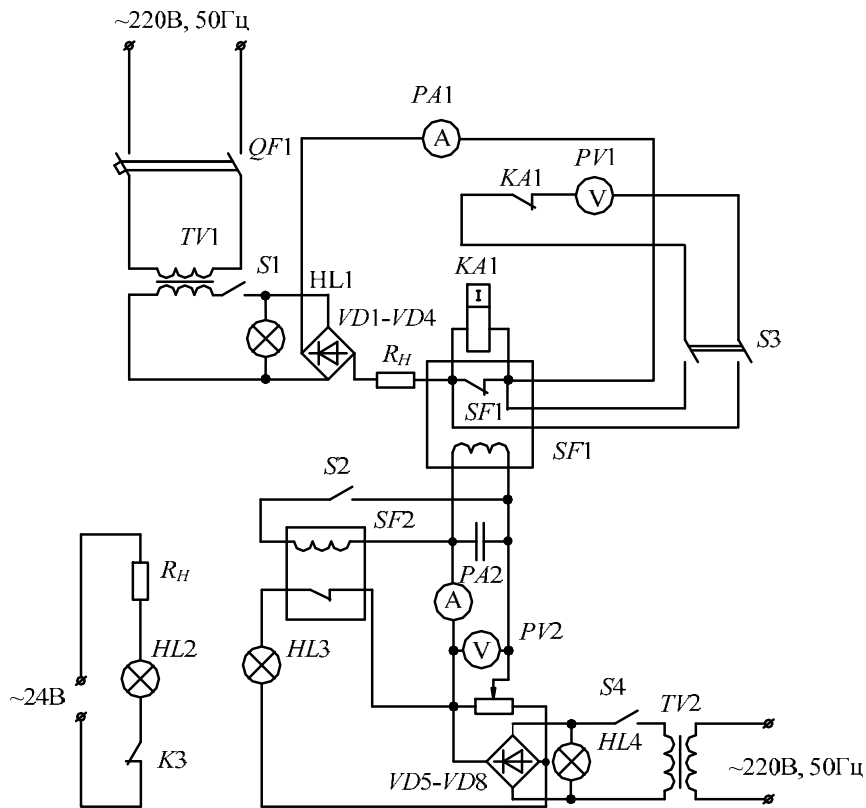


Рисунок 4.1 – Схема электрическая принципиальная установки

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

#### 4.4 Программа работы

1 Исследовать влияние силы нажатия на величину переходного сопротивления контактов по схеме (см. рисунок 4.1), 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 и по ним построить зависимость  $R_n = F_{нажатия}$ , где  $F_{нажатия}$  пропорциональна току катушки реле  $SF1$  (прибор  $PA2$ ).

2 Определить коэффициент возврата герконового реле  $SF2$ . Для этого включить тумблер  $S2$  и  $S3$  (тумблер  $S1$  отключен) и, изменяя потенциометром  $RP1$  напряжение на катушке  $SF2$ , зафиксировать по амперметру  $PA2$  ток срабаты-

вания (загорается лампочка *HL3*) и ток отпускания. Выполнить по три замера, подсчитать средние величины, которые и использовать для определения коэффициента возврата:

$$K_B = \frac{I_{omn.ср.}}{I_{ср.аб.ср.}}$$

3 Ознакомиться со способом управления герконом с помощью ферромагнитного экрана (см. рисунок 4.1) и с принципом работы этажного переключателя ДПЭ-111.

### **Контрольные вопросы**

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

## **5 Лабораторная работа № 5. Исследование магнитных пускателей, контакторов переменного тока и тепловых реле**

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

### **5.1 Общие сведения**

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

Контактор имеет следующие основные узлы: контактная система, дугогасительная система, электромагнитный механизм, система блок-контактов. Работает контактор 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. Магнитный пускатель – это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети асинхронных двигателей с короткозамкнутым (к. з.) ротором. При наличии теплового реле магнитный пускатель обеспечивает защиту от перегрузки асинхронного двигателя.

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).

## 5.2 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 5.1.

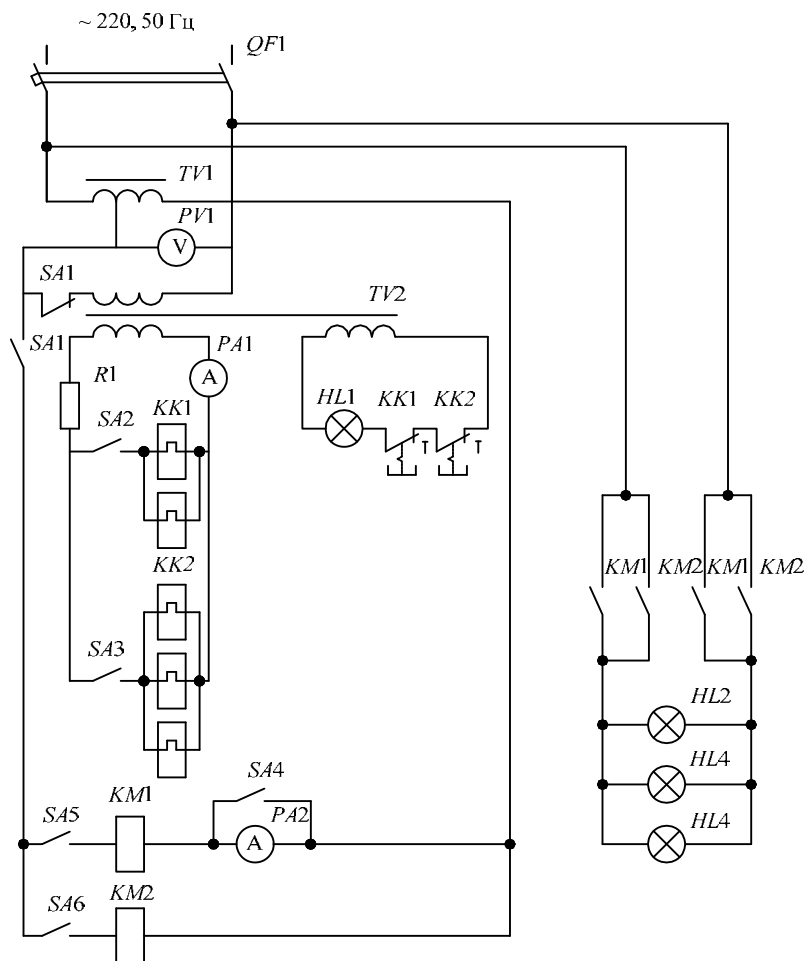


Рисунок 5.1 – Схема электрическая принципиальная установки

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

### 5.3 Программа работы

1 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторного стенда НТЦ 08.09 «Электрические аппараты» (см. рисунок 5.1).

2 Определить коэффициент возврата магнитных пускателей ПМЛ и ПАЕ и сравнить их. Катушка пускателя ПМЛ ( $KM1$ ) включается в схему (см. рисунок 5.1) в верхнем положении тумблера  $SA5$ . В нижнем его положении в схему включена катушка пускателя ПАЕ ( $KM2$ ).

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.

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

#### Контрольные вопросы

- 1 Назначение контакторов и магнитных пускателей.
- 2 Конструкция контакторов и магнитных пускателей.

## 6 Лабораторная работа № 6. Изучение конструкций автоматических выключателей

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

### 6.1 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.

Автоматический выключатель состоит из следующих основных узлов:

- силовых и блок-контактов;
- дугогасительной системы;
- привода автоматического выключателя;
- механизма свободного расцепления;
- элементов защиты (расцепители).



## 6.2 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 6.1. Исследуемый автоматический выключатель включается последовательно на выходе трансформатора  $TV2$ . Величина тока в этой цепи регулируется автотрансформатором  $TV1$ . Для измерения времени срабатывания автоматического выключателя использован электрический секундомер ЭС, который подключен к источнику питания через контакт токового реле  $KA1$ .

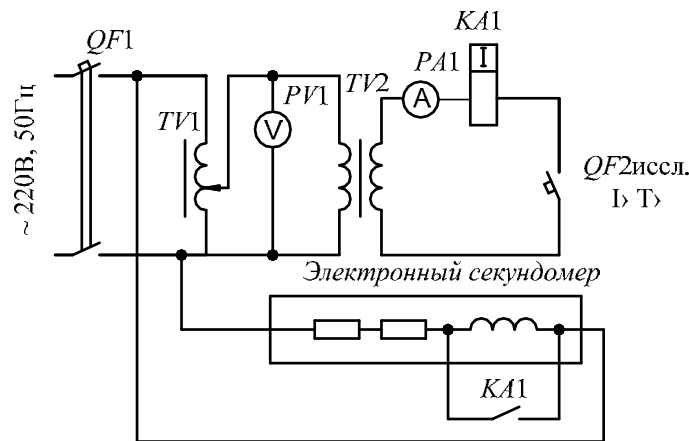


Рисунок 6.1 – Схема электрическая принципиальная установки

## 6.3 Программа работы

- 1 Ознакомиться с электрооборудованием стенда НТЦ 08.09 «Электрические аппараты».
- 2 Ознакомиться с автоматическими выключателями серии А-3700, АЕ-2000, ВА-57 и изучить их конструкцию.
- 3 Снять токовременную характеристику для автоматического выключателя серии АЕ-2026.
- 4 По данным опыта п. 3 построить времятоковые характеристики для теплового расцепителя.
- 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 Основные узлы автоматических выключателей.
- 3 Конструкции расцепителей.
- 4 Работа механизма свободного расцепления и его назначение в автоматическом выключателе.

## **7 Лабораторная работа № 7. Исследование электромагнитных реле времени**

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

### **7.1 Общие сведения**

Для создания выдержек времени в схемах электрических принципиальных используются реле с выдержкой времени (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 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 – по потоку. В результате меняется скорость изменения результирующего потока  $\Phi_{\Sigma}$  и создается замедление срабатывания как при притяжении, так и при отпуске якоря.

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



## 7.2 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 7.1). 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.

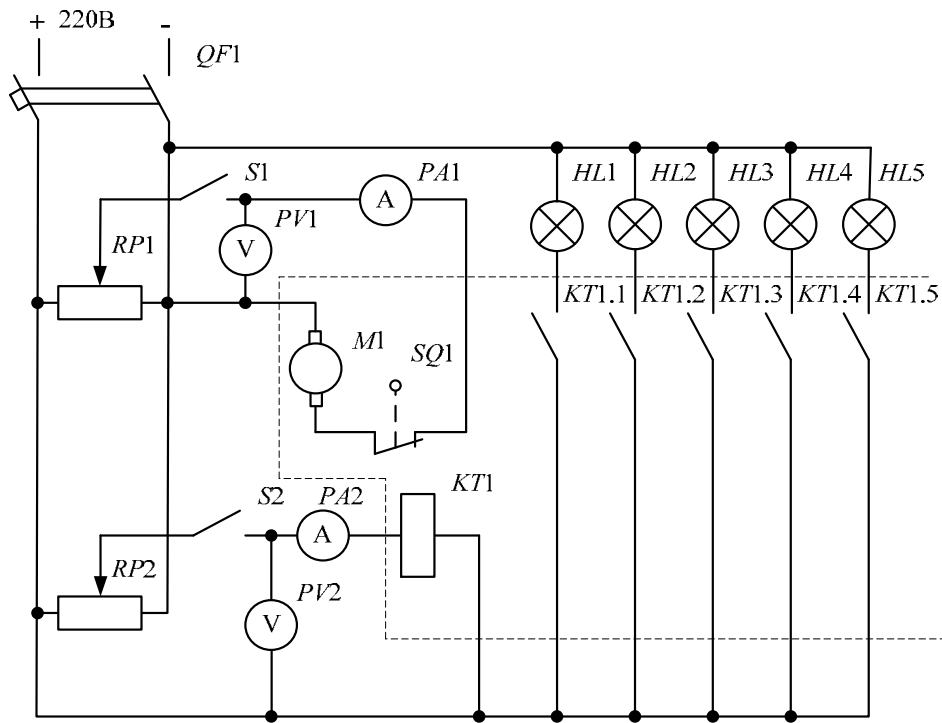


Рисунок 7.1 – Схема принципиальная исследования моторного реле

Исследование электромагнитного реле времени производится по схеме рисунка 7.2. Автотрансформатор *TV1* 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.

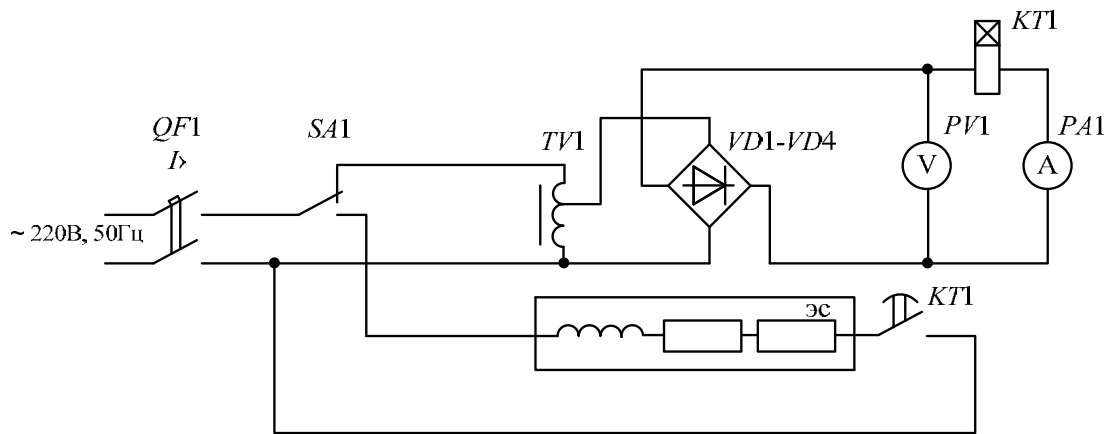


Рисунок 7.2 – Схема исследования электромагнитного реле

### 7.3 Программа работы

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

2 Исследовать работу электромагнитного реле времени типа РЭВ.

Для этого необходимо:

- снять и построить зависимость времени отпущения реле от натяжения противодействующей пружины через каждые три оборота регулировочной гайки. Исследование начинается с минимального натяжения возвратной пружины;

- для среднего значения силы натяжения противодействующей пружины (и соответствующей установки времени) снять зависимость выдержек времени при отпадании от напряжения на обмотке электромагнита реле, изменяя это напряжение от  $0,8U_{ном}$  до  $1,2U_{ном}$  через каждые 20 В;

Напряжение контролируется вольтметром PV1;

- по данным, снятым в пп. 1 и 2, построить графики и сделать выводы.

3 Исследовать работу моторного реле.

Для этого следует:

- 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 ( $U = U_{ном}$ ,  $U = 0,9$ ,  $U = 0,7U_{ном}$ ), и сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1 Классификация реле времени.

2 Принцип создания выдержек времени в электромагнитных реле времени.

3 Конструкция моторного реле времени.

## 8 Лабораторная работа № 8. Исследование реле максимального тока

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

### 8.1 Общие сведения

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 электромагнитные и индукционные и включаются в защищаемую цепь непосредственно или через трансформатор 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). В результате этого взаимодействия в диске возникает вращающий момент, действующий на диск. Диск начинает вращаться, и при увеличении тока реле его вращение через определенное время через механическую связь приводит к замыканию контактов. Электромагнит реле одновременно представляет второй элемент реле – электромагнитный, действующий почти мгновенно. При протекании через обмотку реле тока, превышающего ток срабатывания индукционного элемента в 4...8 раз, один конец якоря притягивается к сердечнику электромагнита без участия механической связи, и контакты замыкаются без выдержки временем. Ток срабатывания индукционного элемента и ток мгновенного срабатывания можно регулировать.

### 8.2 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 8.1). 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 электронного секундомера ЭС.



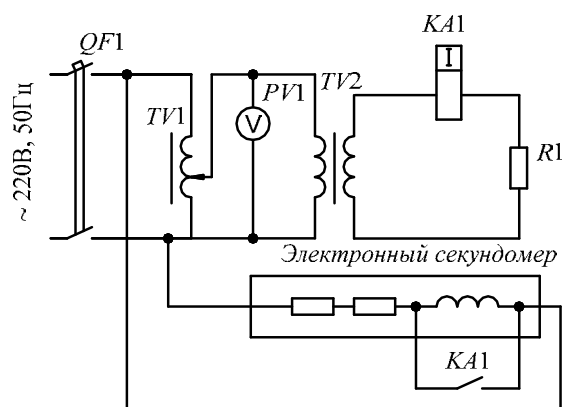


Рисунок 8.1 – Схема электрическая принципиальная установки

### 8.3 Программа работы

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

2 Установить на реле наименьший ток установки и определить ток срабатывания и ток отпускания. Прodelать этот опыт для всех значений тока, предусмотренных градуировкой шкалы.

3 Соединить обмотки реле параллельно и повторить опыт по п. 2. Результаты наблюдений внести в таблицу.

4 По данным опытов по пп. 3 и 4 определить коэффициент возврата реле. Построить графики  $I_{cp} = F(I_{ycm})$ ;  $I_{возв} = F(I_{ycm})$ ;  $K_{возв} = F(I_{ycm})$  при последовательном и параллельном соединениях обмоток.

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

6 На основании опыта по п. 5 определить коэффициент возврата и построить зависимости  $I_{cp} = F(I_{ycm})$ ;  $I_{возв} = F(I_{ycm})$ ;  $K_{возв} = F(I_{ycm})$ .

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

8 Снять времятоковые 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 времятоковые характеристики.

### Контрольные вопросы

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

## 9 Лабораторная работа № 9. Способы выключения тиристор

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

### 9.1 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 ( $I_{yд}$ ) тиристора по его вольт-амперной характеристике.

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

При естественной коммутация тиристор, например при включении их в цепи переменного тока (рисунок 9.1), ток тиристора падает до  $I_{yд}$  под действием приложенного напряжения сети. Если считать первый полупериод 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 0 и автоматически станет меньше тока удержания  $I_{yд}$ . 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 нерабочий 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 9.1: так называемое встречно-параллельное включение тиристор.

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

Второй способ выключения тиристор связан с изменением почти мгновенно знака напряжения на тиристоре на обратную полярность (параллельная емкостная коммутация), либо с уменьшением прямого тока тиристора до  $I_{yд}$  за счет пропуска через тиристор закрывающего его обратного импульса тока (параллельная токовая коммутация), либо с созданием условий, при которых прямой ток тиристора становится равным 0 (последовательная токовая коммутация), т. е. меньше  $I_{yдер}$ . Искусственная коммутация преимущественно

используется при работе тиристоров в цепях постоянного тока. Рассмотрим основные варианты искусственной коммутации тиристоров.

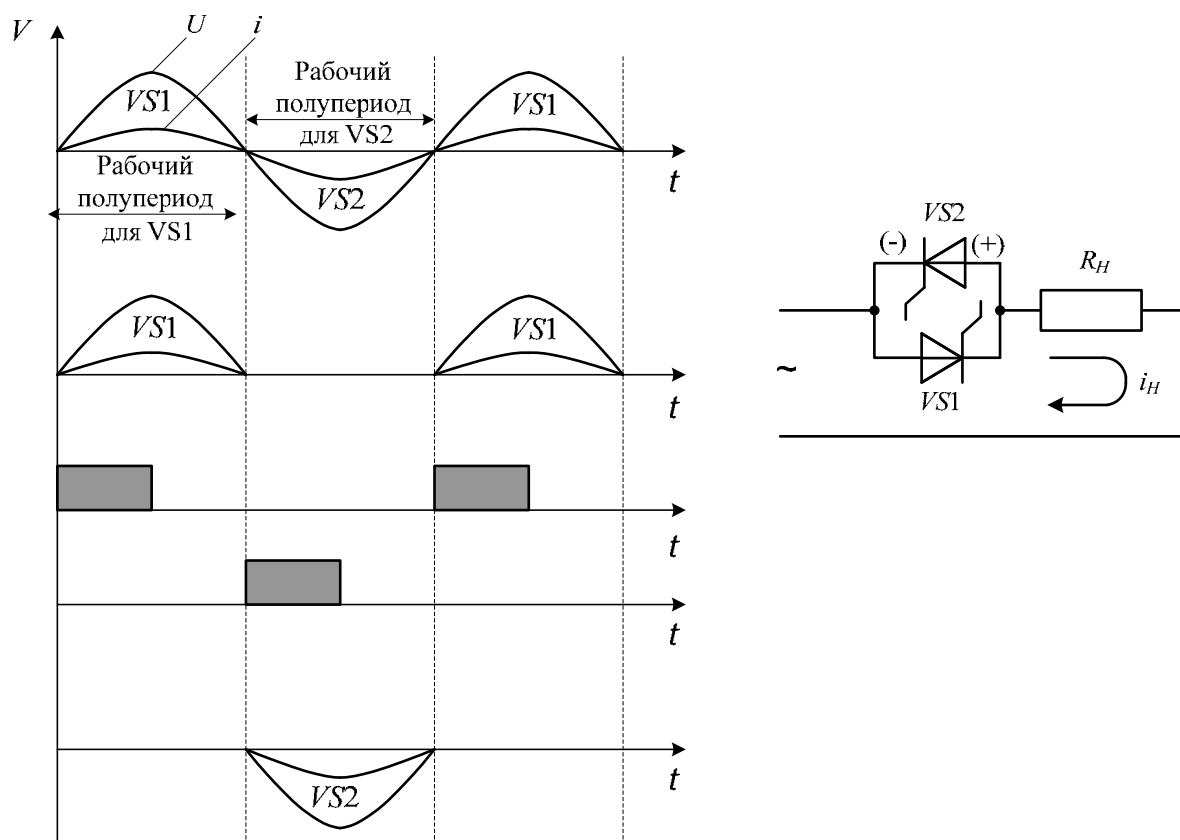


Рисунок 9.1 – Естественная коммутация тиристоров

Параллельная емкостная коммутация. В схеме (рисунок 9.2) 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 9.3 полярностью за счет замыкания и размыкания ключа  $Q$ . Зарядка происходит по цепи, содержащей источник питания  $U$ , конденсатор  $C$  и зарядный резистор  $R$ . На рисунке 9.2 представлены диаграммы напряжений и токов в схеме.

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 0, 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.

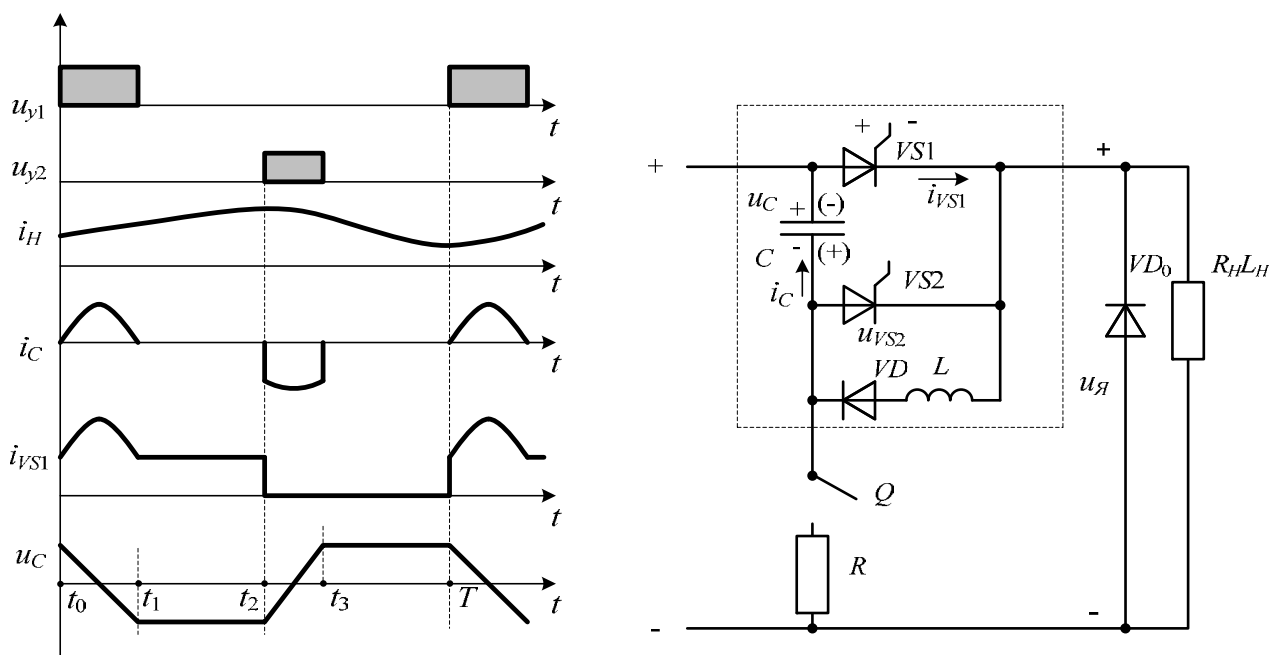


Рисунок 9.2 – Диаграммы токов и напряжений на элементах при параллельной емкостной коммутации

Параллельная токовая коммутация. На рисунке 9.3 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 9.3.

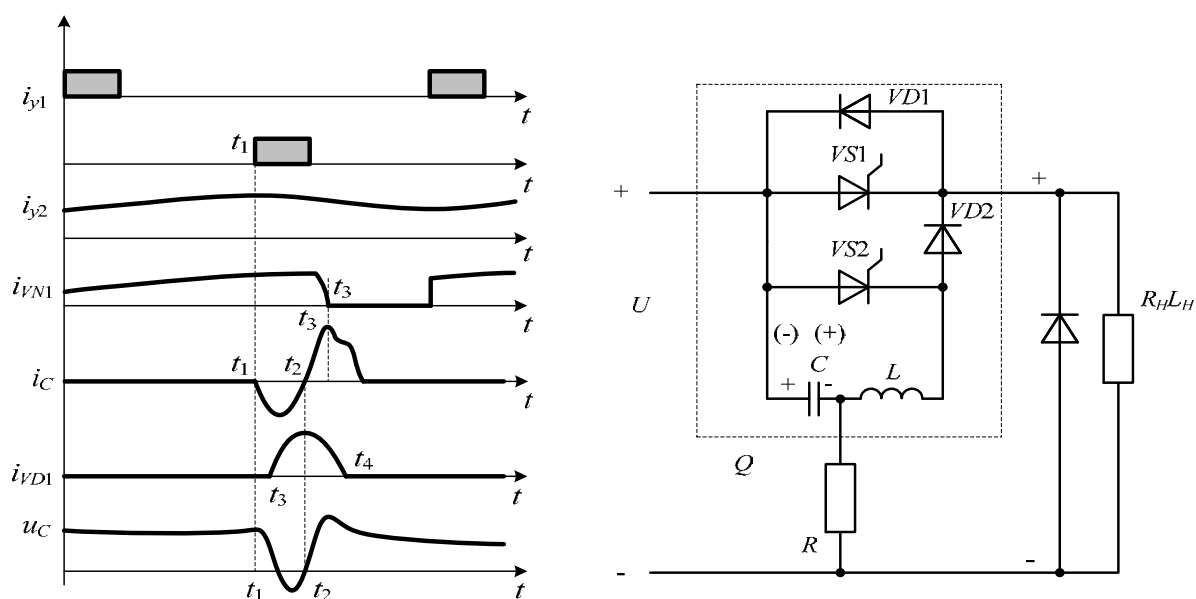


Рисунок 9.3 – Диаграммы токов и напряжений при параллельной токовой коммутации тиристора



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  $U_{yz}$  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  $0$ , и тиристор  $VS2$  закрывается (естественная коммутация). Ток перезаряда конденсатора  $C$  с момента 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. Схема лабораторной установки приведена на рисунках 9.4 и 9.5.

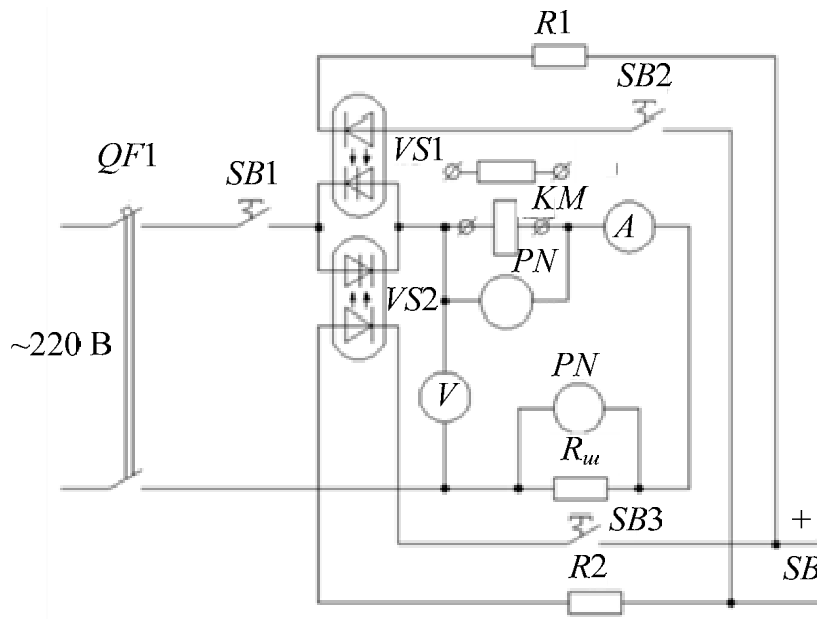


Рисунок 9.4 – Схема исследования работы тиристорov при естественной коммутации

По схеме (см. рисунок 9.4) рассматривается работа тиристорov при естественной коммутации. Нагрузка (катушка пускателя  $KM1$  или сопротивление  $R1$ ) подключена к питающему напряжению встречно – параллельно включенными оптоотиристорами  $VS1$ ,  $VS2$ . Цепи управления  $VS1$  и  $VS2$  образованы светодиодами (в структуре оптоотиристорov) и ключами  $SB1$ ,  $SB2$ . При включении  $SB1$  или  $SB2$  соответствующий светодиод формирует управляющий импульс на включение

оптотиристоров  $VS1$  или  $VS2$ . Каждый из оптотиристоров с началом своего рабочего полупериода открывается и в конце его закрывается, обеспечивая протекание тока по нагрузке в течение каждого периода питающего напряжения. По схеме (см. рисунок 9.5) 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.

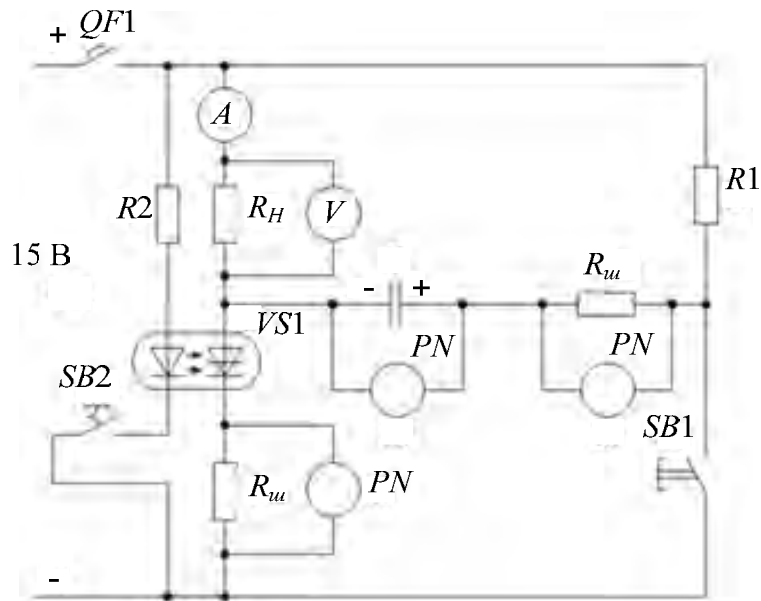


Рисунок 9.5 – Схема исследования работы тиристоров при параллельной коммутации

Для запираания  $VS1$  необходимо нажать кнопку  $SB1$ . К оптотиристору  $VS1$  прикладывается обратное напряжение конденсатора  $C$ , и  $VS1$  почти мгновенно закрывается. Конденсатор  $C$  продолжает перезаряжаться по следующей 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  $R_1$ . Схема опять готова к работе.

## 9.2 Порядок выполнения работы

1 Включить в схему (см. рисунок 9.4) резистор  $R1$ . Нажать кнопку  $SB2$ . Снять показания приборов  $V1$ ,  $A1$  и осциллограммы напряжения и тока на нагрузке  $R1$ .

2 Включить в схему (см. рисунок 9.4) вместо  $R1$  катушку пускателя  $KM1$ . Снять показания приборов  $V1$ ,  $A1$  и осциллограммы напряжения и тока на нагрузке  $KM1$ .

3 В схеме, собранной в п. 1, нажать кнопки  $SB3$  и  $SB2$ . Снять показания приборов  $V1$ ,  $A1$  и осциллограммы напряжения и тока.

4 В схеме (см. рисунок 9.5) включить выключатель  $QF1$  и кнопку  $SB1$ . Снять осциллограммы тока заряда напряжения на конденсаторе  $C$ . Повторить п. 2 и снять осциллограммы тока и напряжения на оптотиристоре  $VS1$ .

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

### **Контрольные вопросы**

- 1 Объяснить запирающие тиристора при естественной коммутации.
- 2 Объясните понятие искусственной коммутации тиристора.
- 3 Что необходимо выполнить для отпирания и запирающего тиристора?

## **10 Лабораторная работа № 10. Транзисторный регулятор напряжения**

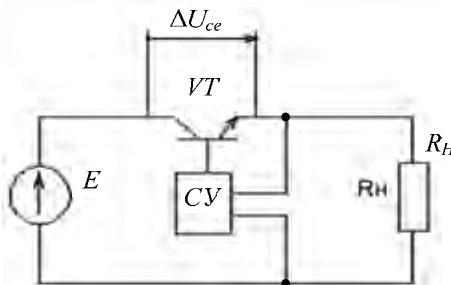
*Цель работы:* изучение принципов управления и элементов схемотехнических решений используемых в непрерывных и импульсных транзисторных регуляторах постоянного тока.

### **10.1 Общие сведения**

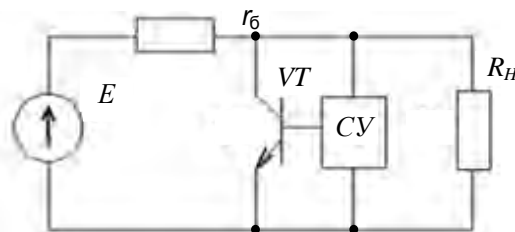
Транзисторные регуляторы постоянного тока предназначены для регулирования по определенному закону напряжения на нагрузке или поддержания (стабилизации) напряжения или тока в системах электропитания постоянного тока. Регуляторы, осуществляющие только стабилизацию параметров, называются стабилизаторами. Регуляторы могут выполнять и другие функции, например, согласование уровней напряжений или обеспечение гальванической развязки. Выполнение таких функций определяется возможностями конкретной схемы регулятора. По принципу действия регуляторы постоянного тока делятся на непрерывные и импульсные. Непрерывные регуляторы-стабилизаторы по принципу действия могут быть разделены на две группы: параметрические (разомкнутые) и с обратной связью (замкнутые). Параметрические регуляторы-стабилизаторы напряжения являются наиболее простыми стабилизирующими устройствами, широко применяемыми в микроэлектронике. Особенно большое распространение они получили в различного рода электронных устройствах для стабилизации напряжений питания отдельных функциональных узлов схемы. В основе принципа действия параметрических стабилизаторов напряжения лежит использование свойств нелинейности некоторых полупроводниковых приборов: стабилитронов, диодов и прочих, вольт-амперная характеристика которых обладает большой крутизной. Принцип действия регуляторов с непрерывным регулированием основан на зависимости вольт-амперной характеристики транзистора от базового тока. Благодаря этому свойству транзистор можно рассматривать как резистор с регулируемым сопротив-

лением, которое определяется током базы. В качестве регулируемого сопротивления транзистор (или группа транзисторов) может быть включен последовательно или параллельно с нагрузкой (рисунок 10.1) и выполнять функции основного исполнительного органа в регулировании (стабилизации) выходного напряжения. В схеме на рисунке 10.1 при увеличении входного напряжения сигнала, поступающий на базу транзистора  $VT$  от системы управления стабилизатора, увеличивает сопротивление перехода «коллектор-эмиттер» транзистора до такого значения, пока падение напряжения на транзисторе  $\Delta U_{CE}$  не станет равным (с точностью, обусловленной в основном схемой СУ) изменению входного напряжения  $\Delta E$ . При уменьшении  $\Delta E$  сопротивление транзистора уменьшается и, соответственно, уменьшается падение напряжения на транзисторе. Таким образом, регулируя падение напряжения на транзисторе, можно стабилизировать выходное напряжение.

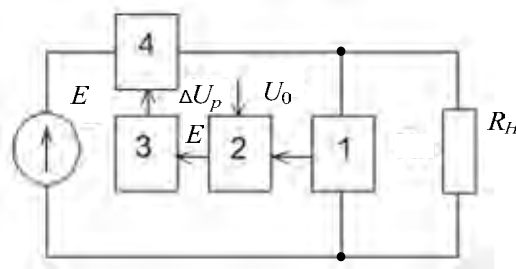
а)



б)



в)



а – последовательного типа; б – параллельного типа; в – общая структурная схема компенсационного регулятора напряжения

Рисунок 10.1 – Транзисторные регуляторы непрерывного действия

В схеме (рисунок 10.1) транзистор  $VT$  включен параллельно нагрузке и дополнительно введено балластное сопротивление  $r_b$ . Стабилизация выходного напряжения осуществляется за счет перераспределения входного напряжения  $E$  между сопротивлениями  $r_b$  и  $r_{CE}$  (сопротивление между коллектором и эмиттером транзистора  $VT$ ) при регулировании  $r_{CE}$  системы управления стабилизатора. При увеличении входного напряжения  $E$  уменьшается сопротивление  $r_{CE}$ , а падение напряжения на сопротивлении  $r_b$  увеличивается; при уменьшении входного напряжения происходит обратный процесс. Регулирование падения напряжения на  $r_b$  позволяет стабилизировать выходное напряжение. В качестве основного регулирующего элемента обычно используют мощные силовые транзисторы, которые соединяют параллельно в количестве, определяемом мощностью регулятора. В настоящее время регуляторы подобного типа выполняются, как правило, на мощности от долей ватта до нескольких десятков ватт.

Системы управления регуляторов могут иметь различные схемные исполнения, но в основе обычно лежит принцип регулирования систем с замкнутой обратной связью. Такая система в самом общем виде состоит (см. рисунок 10.1, в) из датчика выходного напряжения 1, сравнивающего устройства 2 и усилителя постоянного тока 3. Принцип регулирования заключается в следующем. Предположим, что входное напряжение стабилизатора изменилось на  $\Delta E$ . В результате изменяется выходное напряжение стабилизатора  $\Delta U_{вых}$  и регистрируется датчиком выходного напряжения 1. Напряжение  $U_d$  с датчика 1 поступает в устройство 2, где сравнивается с эталонным напряжением  $U_0$ . Разность этих напряжений  $\varepsilon$  поступает в усилитель 3, который усиливает это напряжение до  $\Delta U_p$ .

С выхода усилителя напряжение  $\Delta U_p$  подается непосредственно (или через согласующее устройство) на исполнительный орган 4 (силовые транзисторы). Действительное значение выходного напряжения будет несколько отличаться от установленного значения. Эта разность зависит от коэффициента усиления цепи обратной связи (в основном звена 3). Поскольку при регулировании происходит сравнение выходного и эталонного напряжений, как и в приборах для точного измерения напряжения – компенсаторах, стабилизаторы подобного типа иногда называют компенсационными. В простейшей схеме компенсационного стабилизатора (рисунок 10.2) функции усилительного и сравнивающего звеньев выполняет транзистор  $VT_2$ , в качестве датчика используется делитель из сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , а опорное напряжение  $U_0$  задается стабилитроном  $VD$ . Коэффициент стабилизации выходного напряжения такого регулятора приближенно определяется следующим образом:

$$K_{cmU} = 1 + \frac{U_0}{U_{ex}} \beta \frac{1}{R_{ex} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}},$$

где  $U_0$  – опорное напряжение стабилизатора  $VD$ ;



$R_{ex}$  и  $\beta_2$  – входное сопротивление и коэффициент усиления по току транзистора  $VT_2$ .

Существует много модификаций схем рассмотренного типа, различающихся в основном системой управления, числом транзисторов усилительного звена и использованием в схеме дополнительных источников питания элементов системы управления. На основе рассмотренных принципов регулирования могут быть также созданы стабилизаторы тока (или тока нагрузки), который контролирует отклонение последнего от заданного значения.

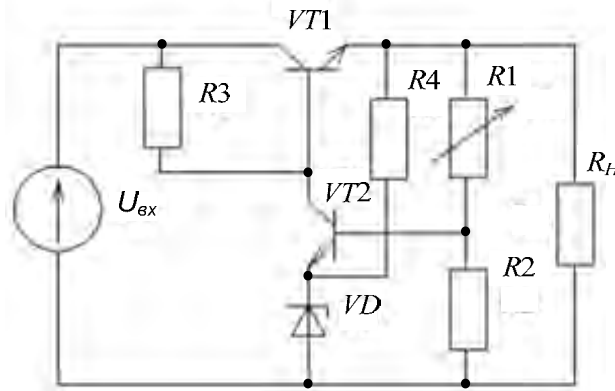


Рисунок 10.2 – Транзисторный регулятор напряжения компенсационного типа

Компенсационные стабилизаторы непрерывного действия могут обеспечить высокий коэффициент стабилизации напряжения (или тока). Кроме того, они по принципу действия снижают пульсации выходного напряжения, являясь одновременно фильтром для переменной составляющей. Существенным их недостатком является низкий КПД и, как следствие этого, плохие массогабаритные показатели.

В импульсных регуляторах постоянного тока используются способы импульсной модуляции напряжения или тока. Наибольшее распространение в классе импульсных регуляторов постоянного тока получили широтно-импульсная модуляция (ШИМ), частотно-импульсная (ЧИМ). Рассмотрим более подробно структуру систем управления, реализующих эти способы, на примере обобщенной схемы импульсного регулятора (рисунок 10.3, а).

При регулировании по способу ШИМ ключ  $S$  периодически включается с частотой  $f_s = 1/T_s$  и находится в проводящем состоянии время, равное  $t_{вкл}$ , а остальную часть периода  $t_{выкл}$  ключ находится в выключенном состоянии (рисунок 10.3, б). Коэффициент  $\gamma = t_{вкл} / T_s$  называется коэффициентом заполнения. Коэффициент  $\gamma$  может изменяться от 0 до 1. Соответственно, напряжение на выходе транзисторного регулятора с ШИМ определяется как

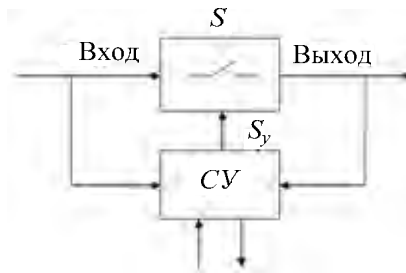
$$U_{нагр} = \gamma U,$$

где  $U$  – напряжение источника питания.

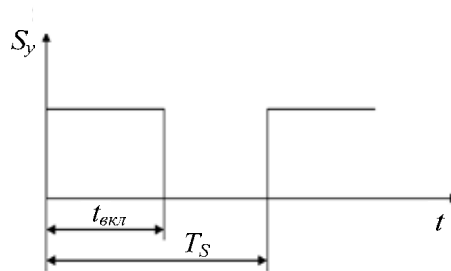
Таким образом, изменение  $\gamma$  приводит к изменению среднего напряжения на нагрузке. Существует много различных способов реализации ШИМ. Наибо-

лее простая, распространенная структура выполняется по принципу вертикально-фазового управления (рисунок 10.4). В этой схеме сигнал  $X_{\text{вых}}$  поступает на вход компаратора, где сравнивается с эталонным сигналом  $X_0$ . В качестве сигнала  $X_{\text{вых}}$  обычно используется выходной сигнал, снимаемый датчиком, например, среднего значения напряжения или тока на выходе регулятора. Разность сигналов  $\Delta X = X_0 - X_{\text{вых}}$  усиливается усилителем  $У$ . Обычно усилитель содержит элементы, позволяющие корректировать его передаточную функцию  $Wg(S)$  и, следовательно, качество регулирования в целом.

а)



б)



а – общая схема; б – диаграмма сигнала управления

Рисунок 10.3 – Принцип действия ключевого регулятора постоянного напряжения

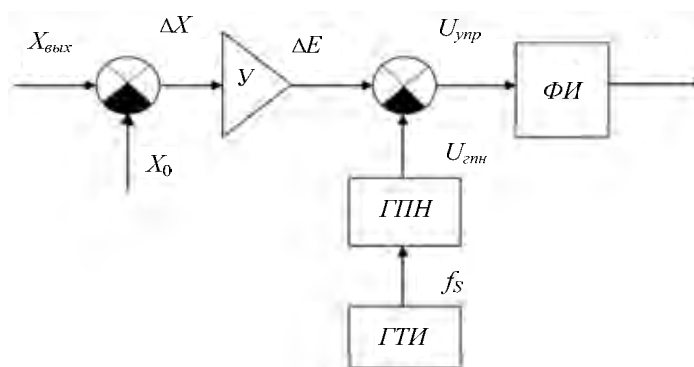


Рисунок 10.4 – Принцип широтно-импульсной модуляции

Выходной сигнал усилителя  $\varepsilon$  поступает на еще один компаратор, где сравнивается с сигналом пилообразной формы  $U_{\text{ГПН}}$ . Этот сигнал формируется генераторами тактовых импульсов ГТИ и пилообразного напряжения ГПН.

Генератор ГТИ задает рабочую частоту  $f_p$  переключения ключа  $S$ . Разность сигналов  $\Delta E$  и  $U_{ГПН}$  с выхода второго компаратора поступает на формирователь импульсов ФИ, на выходе которого формируются импульсы управления  $U_s$  ключом  $S$ . Длительность импульса  $U_{упр}$  определяется сигналами  $U_{ГПН}$  и  $\Delta E$ . Соответственно, при изменении сигнала  $\Delta E$  изменяется длительность включенного состояния  $t_{вкл}$  ключа  $S$  на интервале периода  $T_s$ , т. е. изменяется коэффициент заполнения  $\gamma$  при управлении ключом по способу ШИМ.

## 10.2 Описание лабораторного стенда

Схема транзисторного регулятора с ШИМ приведена на рисунке 10.5. Она состоит из включенных последовательно узлов, выполненных на ОУ: генератора пилообразного напряжения ГПН и формирователя импульсов (ФИ). ГПН образован релейным элементом (РЭ), на вход которого поступает гармонически меняющееся напряжение  $U_c$ , а на выходе формируется последовательность разнополярных импульсов с частотой  $U_c$ . По этому напряжению интегратор и формирует «треугольное» напряжение  $U_2$ , а схема выделения модуля формирует опорное пилообразное напряжение  $U_n$ . В формирователе импульсов сравнивается опорное напряжение  $U_n$  и сигнал напряжения управления  $U_y$ . В момент равенства этих напряжений на выходе формирователя импульсов формируются импульсы напряжения с постоянной частотой (определяется  $U_c$ ), но с регулируемой скважностью  $\gamma = t_p / T$ .

В результате изменяется и среднее значение напряжения на выходе регулятора с ШИМ.

## 10.3 Программа работы

1 Потенциометром  $R$  изменять напряжение управления  $U_y$ , наблюдать изменение напряжения на выходе ШИМ-регулятора на экране осциллографа.

2 Подключить на выход ШИМ-модулятора силовой транзистор с нагрузкой (реле). Определить коэффициент возврата для реле ( $K_{возв} = U_{сраб.реле} / U_{отпуск.реле}$ ). Последовательно подключить осциллограф на выход релейного элемента РЭ, на выход интегратора И, на выход генератора пилообразного напряжения. Зарисовать сигналы.

3 Используя осциллограммы полученные в пп. 1 и 2, объяснить работу транзисторного регулятора напряжения.





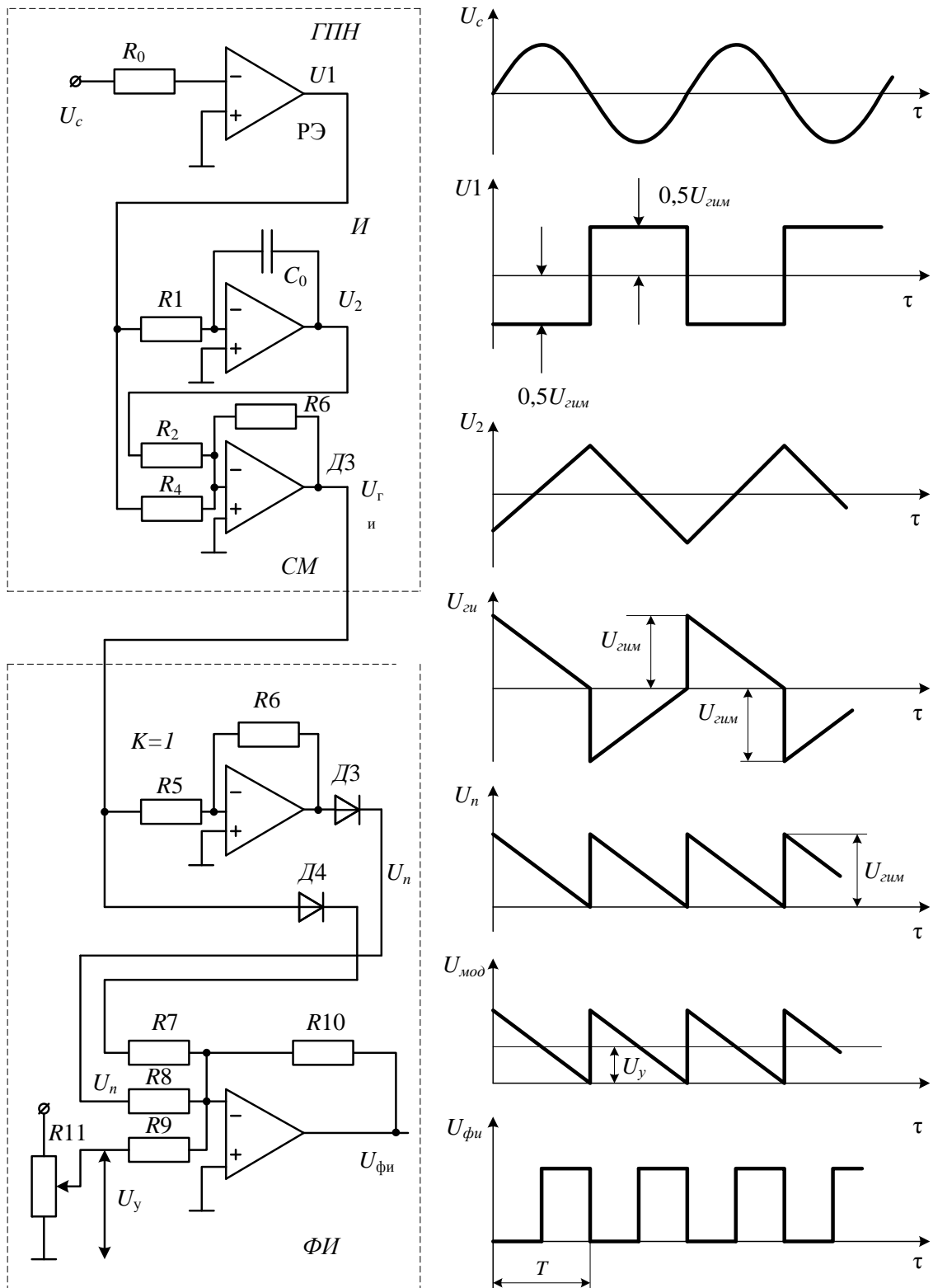


Рисунок 10.5 – Схема ШИМ

## 11 Лабораторная работа № 11. Тиристорный контактор постоянного тока

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

### 11.1 Общие сведения

Принцип работы тиристорного контактора постоянного тока с параллельной коммутацией пояснен схемой на рисунке 11.1.

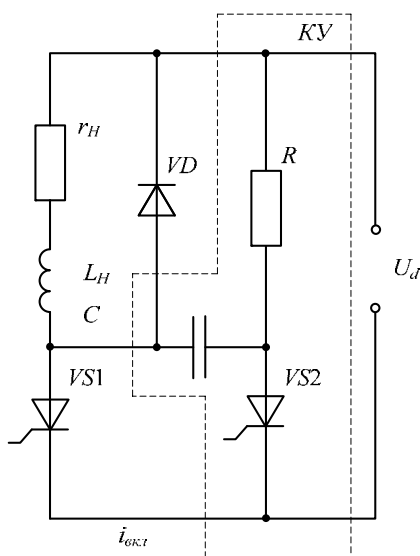


Рисунок 11.1 – Силовая схема тиристорного контактора

Здесь  $r_H L_H$  – нагрузка;  $VD$  – шунтирующий диод;  $VS1$  – рабочий тиристор. Остальные элементы образуют коммутирующий контур ( $KV$ ). 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 почти мгновенно закрывается. После чего конденсатор перезаряжается через тиристор  $VS2$  и нагрузку, а его левая обкладка приобретает положительный потенциал (на схеме указан в скобках). При очередном «замыкании» контактора, когда снова отпирается тиристор  $VS1$ , напряжением конденса-

тора  $C_k$  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 11.2, где  $VS1$  – 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  $\omega_2$  включена последовательно в цепь рабочего тиристора  $VS1$ ;

- коммутирующий конденсатор  $C_k$ , подключенный через вспомогательный тиристор  $VS2$  к первичной обмотке  $\omega_1$  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  $\omega_2$  трансформатора;

- устройство параллельной коммутации УПК тиристора  $VS2$ , показанное на рисунке 11.2 в виде прямоугольника, поскольку его схема может быть различной. 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  $\omega_2$  появляется напряжение  $u''_{Ck} = u_{Ck}(\omega_2/\omega_1)$ , направленное навстречу току рабочего тиристора  $VS1$  и превышающее напряжение питания  $U_d$ . Соответственно, для тиристора  $VS3$  это напряжение является прямым. Поэтому он открывается тоже, что приводит к коммутации тока из тиристора  $VS1$  в тиристор  $VS3$ .

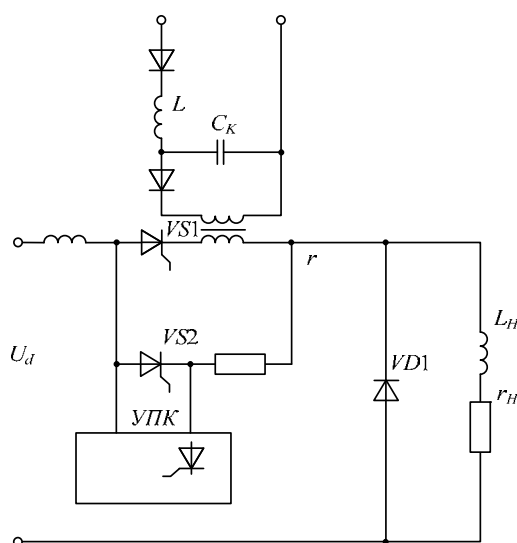


Рисунок 11.2 – Тиристорный контактор с последовательной коммутацией

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

## 11.2 Описание лабораторного стенда

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 11.3.

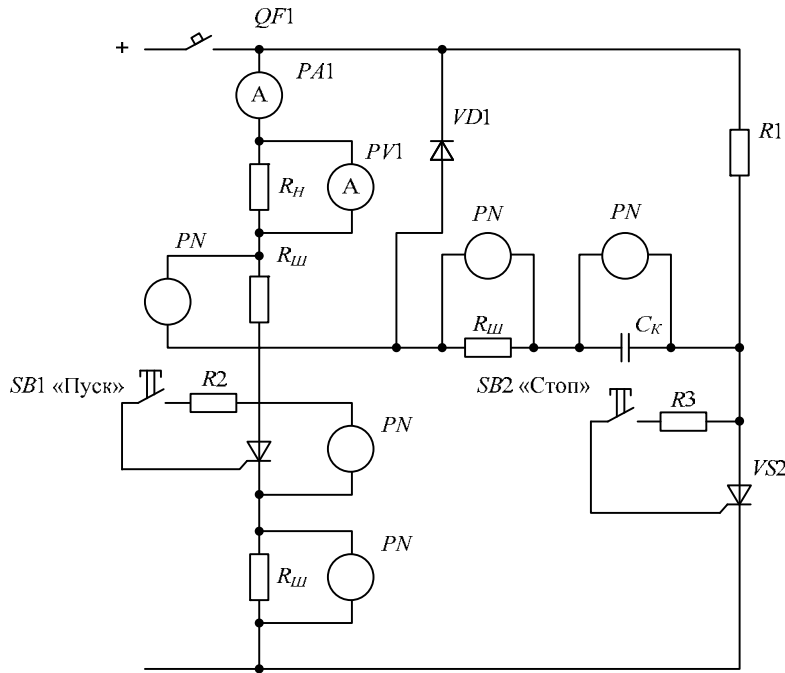


Рисунок 11.3 – Схема лабораторной установки

Включение тиристорного контактора осуществляем нажатием кнопки  $SB1$  «Пуск», отключение – нажатием кнопки  $SB2$  «Стоп». Схема и работа контактора соответствуют описанию по схеме на рисунке 11.2.

## 11.3 Программа работы

1 Ознакомиться с работой контактора по схеме (см. рисунок 11.3). Включить контактор нажатием кнопки  $SB1$ . Снять показания приборов  $PV1$ ,  $PA1$  и осциллограммы напряжения и тока на нагрузке  $R_H$ .

2 Выключить контактор нажатием кнопки  $SB2$ . Повторить п. 1, но осциллограммы напряжения и тока снять на коммутирующем конденсаторе  $C_k$  и в цепи его заряда. Повторить п. 2, но осциллограммы напряжения снять на рабочем тиристоре  $VS1$  и осциллограммы тока в цепи тиристора  $VS1$ . Повторить п. 2, но соответствующие осциллограммы снять для коммутирующего тиристора  $VS2$ .

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

### Контрольные вопросы

- 1 Вольт-амперная характеристика тиристора и принципы управления тиристорами.
- 2 Объяснить принцип управления тиристорами в цепи постоянного тока.
- 3 Объяснить работу тиристорного контактора постоянного тока с параллельной коммутацией.

## 12 Лабораторная работа № 12. Тиристорный пускатель для управления АД с короткозамкнутым ротором

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

### 12.1 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.

Напряжение управления на тиристоры может формироваться и из анодных напряжений соответствующих тиристоров. Рассмотрим в качестве примера однофазную схему, которая представлена на рисунке 12.1, где  $VS1$  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 12.2.

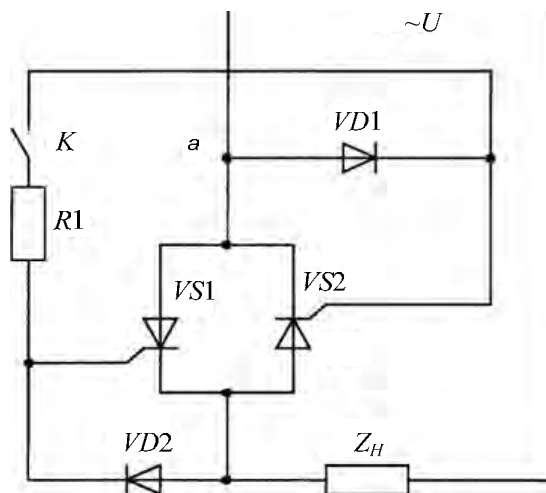


Рисунок 12.1 – Схема принципиальная однофазная

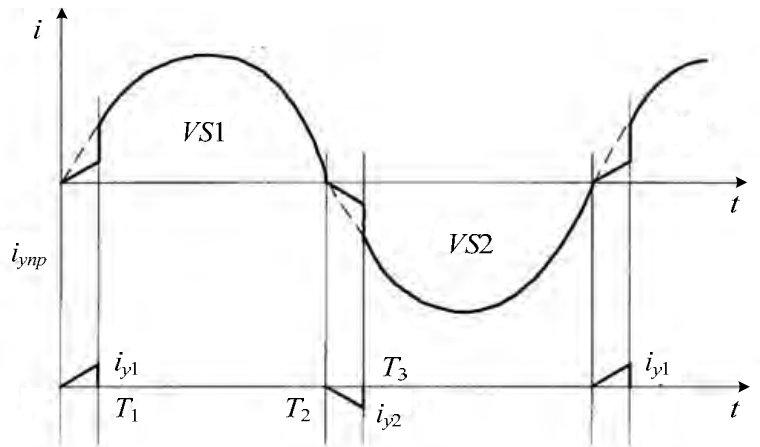


Рисунок 12.2 – Графики изменения токов

В момент  $t_0$ , когда потенциал точки «а» становится выше потенциала точки «б», открывается диод  $VD1$  и замыкается цепь управления тиристорами  $VS1$ , содержащая, кроме диода, 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  $R1$ .

В результате ток в цепи управления после включения тиристора почти прекращается. Аналогично в момент времени  $t_2$ , когда потенциал точки «б» становится выше потенциала точки «а», 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).

На рисунке 12.3 представлен один из вариантов схемы тиристорного пускателя.

Силовой блок Б1 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, после запираания диодов  $VD1, VD2, VD3$  двигатель отключается от сети.

Сигналы управления тиристорами формируются в блокинг-генераторе Б2, который получает напряжение от блока питания Б3. При нажатии кнопки  $SB1$  «Пуск» включается тиристор  $VS5$ , и все напряжение прикладывается к резистору  $R3$ . При этом транзистор  $VT3$  закрыт, т. к. напряжение на резисторе  $R3$  больше, чем на резисторе  $R4$ . По мере заряда конденсатора  $C2$  наступают условия для открытия транзистора  $VT3$ , и конденсатор  $C2$  начинает разряжаться на обмотку  $\omega_1$  трансформатора  $TV2$ . Электродвижущая сила, наводящаяся при



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 ( $U < U_{проб.}$ ), 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  $U > U_{проб.}$ , 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 напряжения переключения диода  $VD4$ . 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 диода  $VD4$ , 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  $FU1...FU3$ .

## 12.2 Программа работы

- 1 Изучить принцип управления тиристорами в соответствии со схемой (см. рисунок 12.1).
- 2 Изучить работу тиристорного пускателя (см. рисунок 12.3).

### Контрольные вопросы

- 1 Назначение тиристорного пускателя.
- 2 Достоинства и недостатки тиристорных пускателей.
- 3 Что такое «естественная» коммутация тиристоров?





4 Пояснить принцип формирования сигнала управления для тиристора с использованием анодного напряжения тиристорных.

### 13 Лабораторная работа № 13. Тиристорное пусковое устройство для управления АД с короткозамкнутым ротором

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

#### 13.1 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 (рисунок 13.1), 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 13.2. 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 (см. рисунок 13.1), а значит формировать управляемый пуск АД.

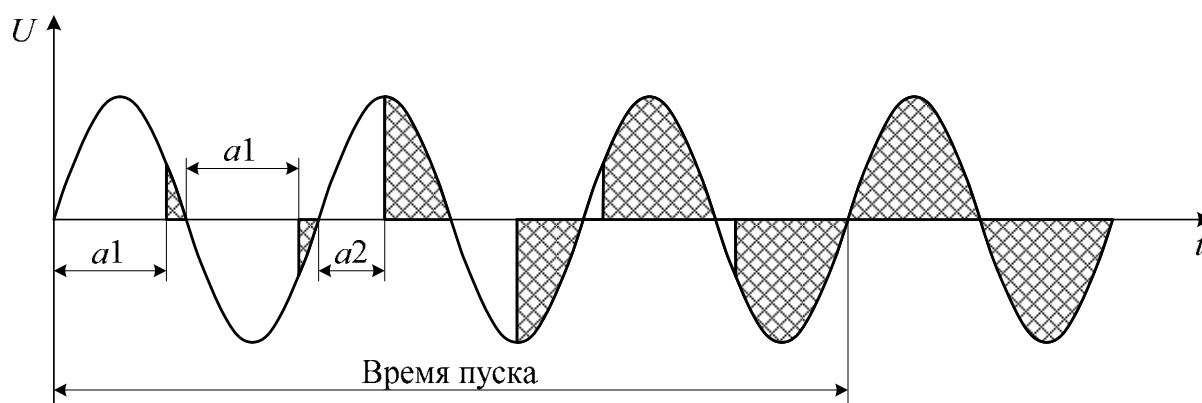


Рисунок 13.1 – Изменение фазного напряжения в процессе пуска



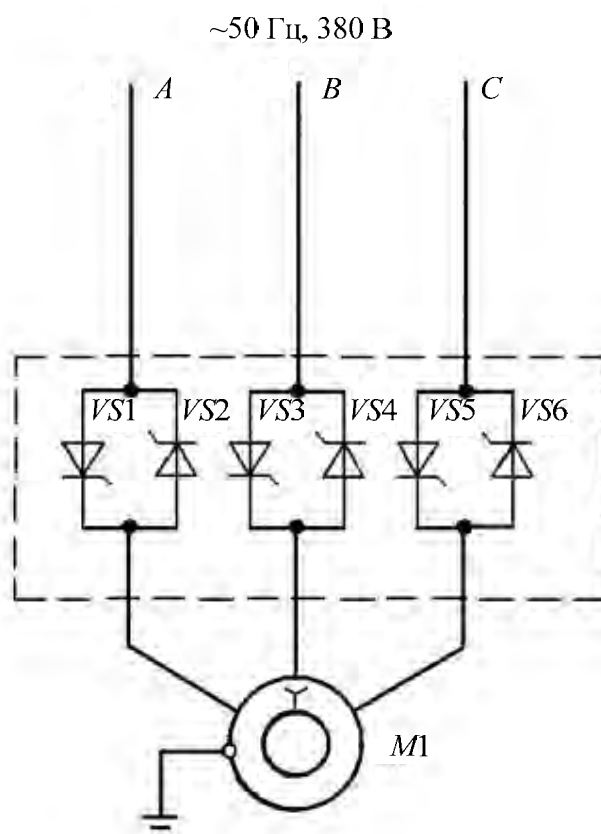


Рисунок 13.2 – Силовая схема тиристорного пускового устройства

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 открываются в соответствии с заданным на каждом полупериоде питающего напряжения углом управления (см. рисунок 13.1), что 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 0 (см. рисунок 13.1). Структура многоканальной синхронной СИФУ показана на рисунке 13.4, а блок-схема соответствующего тиристорного пускового устройства – на рисунке 13.3.

Трансформатор  $Tr$  служит для получения напряжения синхронизации от сети питания пускового устройства. Фильтр  $\Phi$  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. Одноканальная синхронная СИФУ показана на рисунках 13.5 и 13.6.

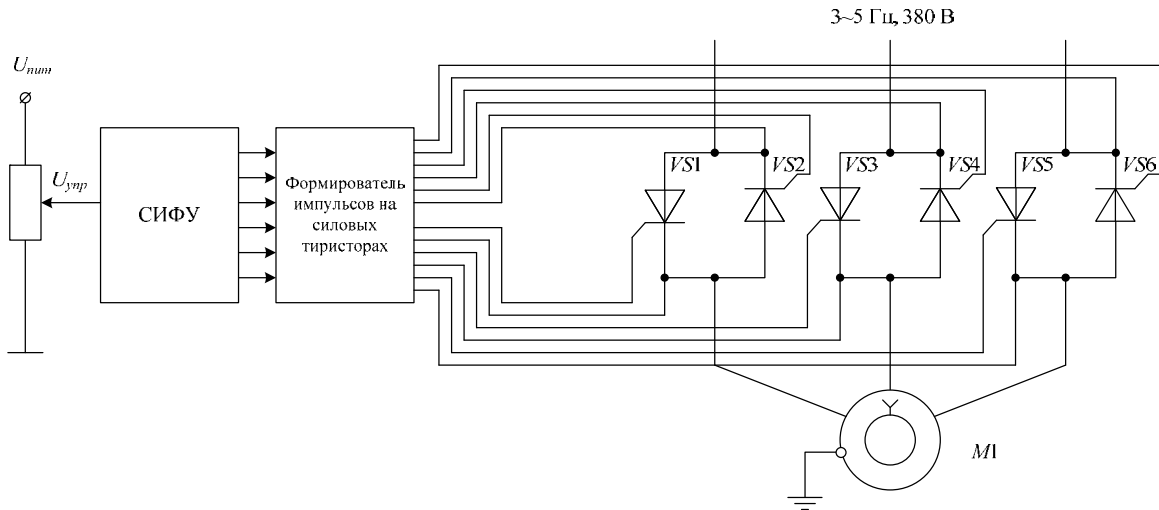


Рисунок 13.3 – Блок-схема регулируемого тиристорного пускового устройства

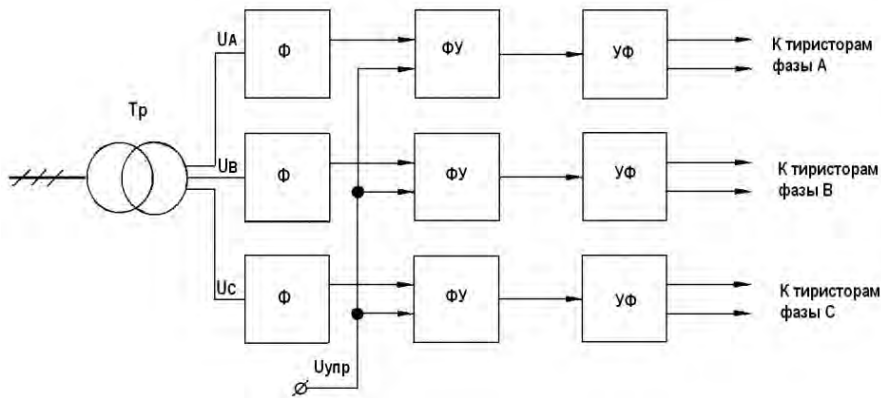


Рисунок 13.4 – Многоканальная СИФУ

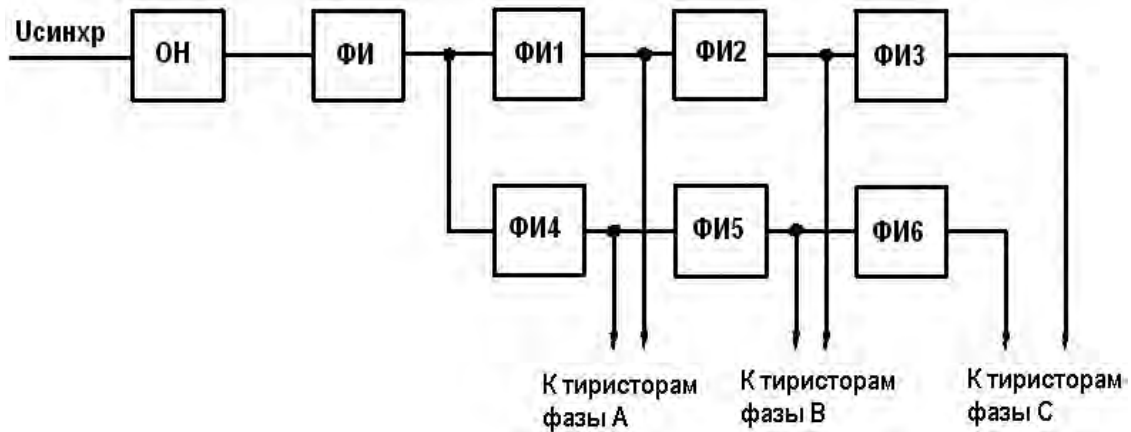


Рисунок 13.5 – Одноканальная синхронная СИФУ

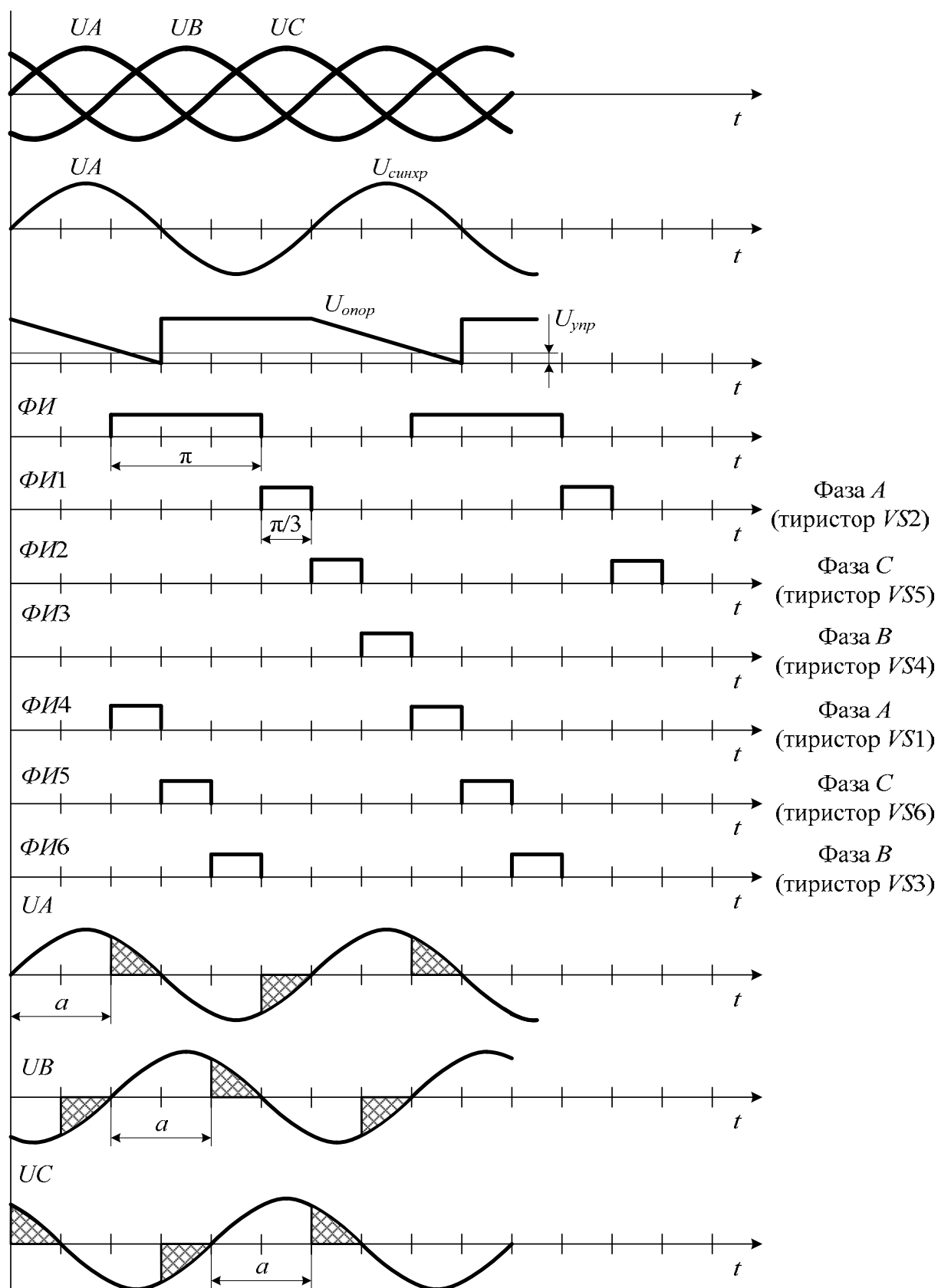


Рисунок 13.6 – Структура и временные диаграммы работы одноканальной СИФУ

Здесь напряжение синхронизации с синхронизирующего трансформатора поступает на блок опорного напряжения (ОН), который формирует пилообразное напряжение  $U_{он}$ . ФИ сравнивает опорное напряжение  $U_{он}$  с напряжением

управления  $U_{упр}$  и в момент равенства этих напряжений формирует импульс шириной в  $\pi$  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 подаются через усилители УФ (не показаны) на тиристоры соответствующих фаз.

Таким образом, в одноканальной СИФУ в отличие от многоканальной опорный импульс шириной  $\pi$  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 (рисунок 13.7).

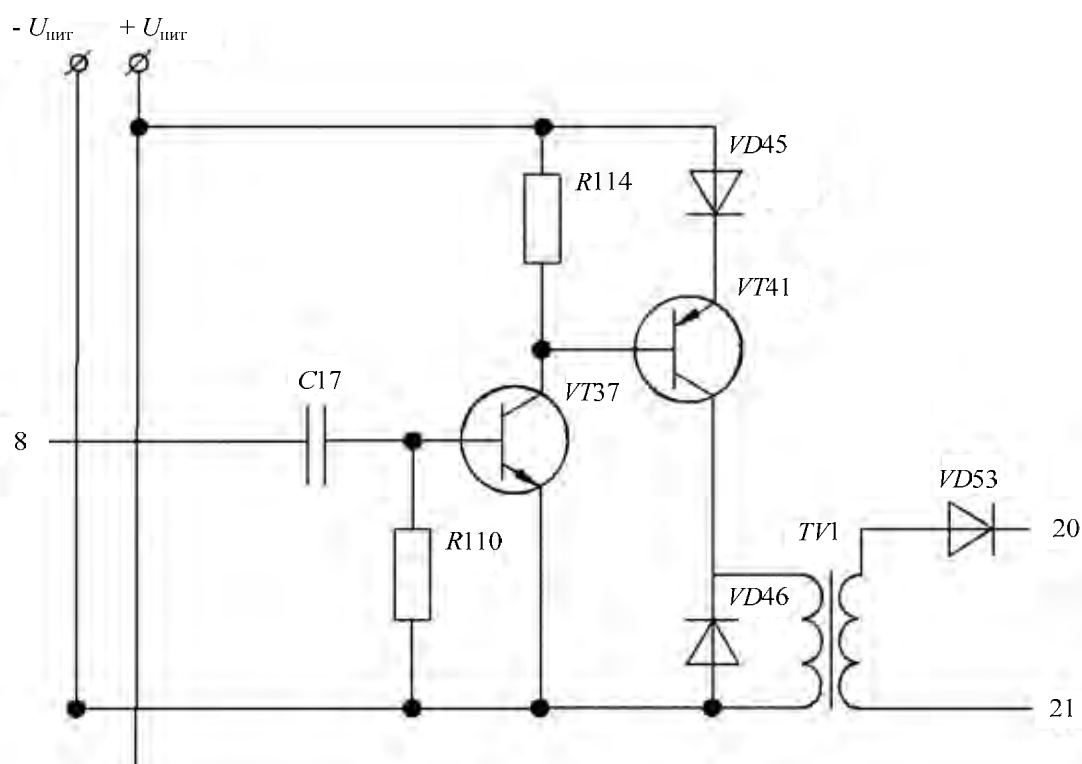


Рисунок 13.7 – Блок формирования и усиления управляющих импульсов на тиристоры

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

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

Принципиальная схема тиристорного пускового устройства на основе блок-схемы (см. рисунок 13.3) и с выходным усилителем (см. рисунок 13.7) импульсов приведена на рисунке 13.8.

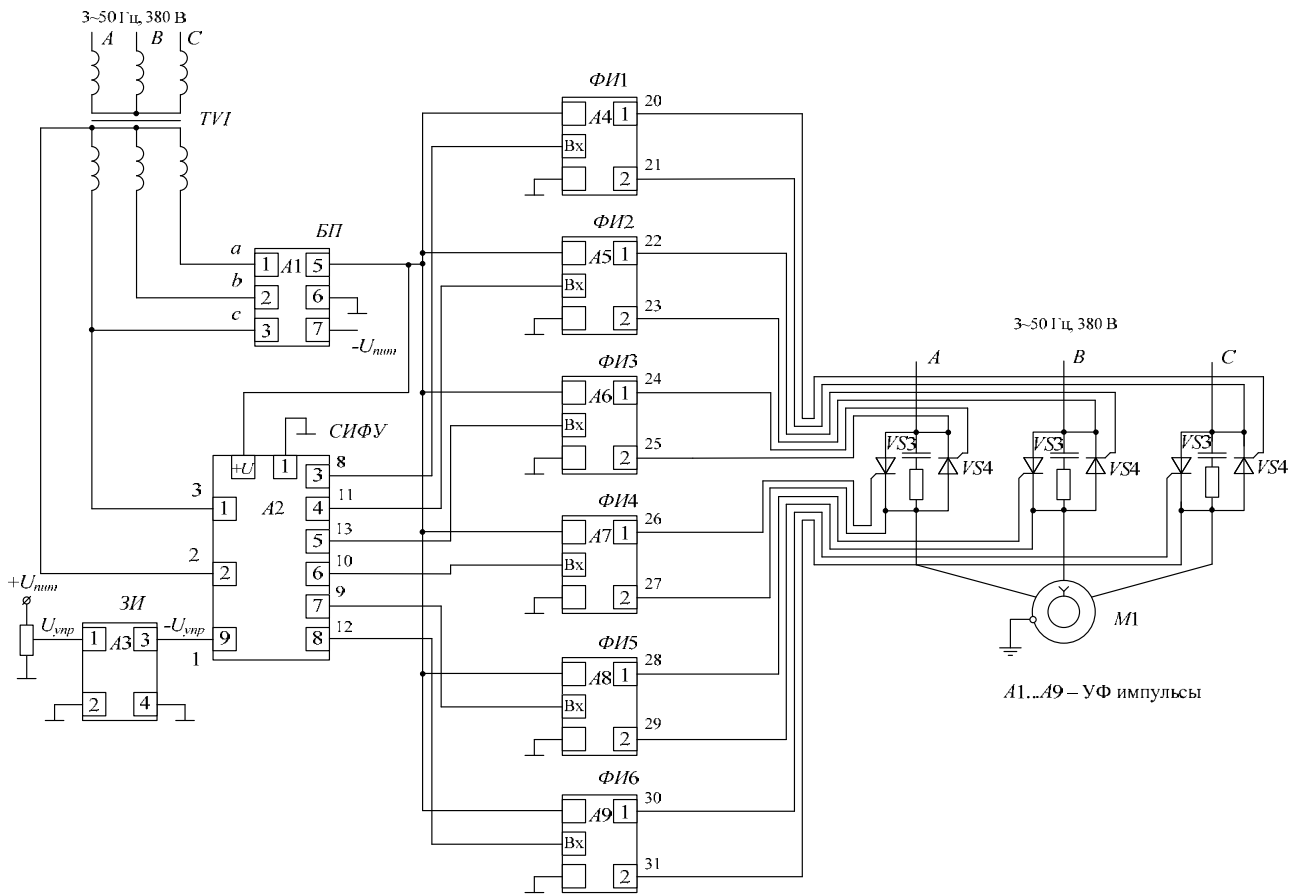


Рисунок 13.8 – Схема электрическая принципиальная пускового устройства

Здесь дополнительно использованы:

- блок питания (БП), который питает все элементы схемы. Выходное напряжение этого блока выбирается исходя из номинальных напряжений, на которые рассчитаны элементы схемы (в первую очередь транзисторы);
- RC-цепи для ограничения перенапряжений, включенные параллельно силовым тиристорам;
- задатчик интенсивности (например, интегратор на операционном усилителе), позволяющий задать требуемую длительность, а значит, и темп разгона асинхронного двигателя. Схема работает следующим образом (см. рисунки 13.7 и 13.8). При подаче на вход задатчика интенсивности напряжения задания  $U_{зад}$  на выходе ЗИ формируется в течение определенного времени (это время пуска АД) линейно нарастающий сигнал напряжения управления  $U_{упр}$ . На этом промежутке времени СИФУ формирует импульсы управления с изменяющимся углом управления  $\alpha$  от  $\alpha_{min}$  (соответствует отсутствию напряжения на двигателе) до  $\alpha_{max}$  (напряжение на двигателе  $U = U_{ном}$ ). Эти импульсы управления через усилители-формирователи (см. рисунок 13.8) 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  $\alpha$ .

В результате действующее напряжение на двигателе изменяется от нуле-

вого значения до номинального, чем и обеспечивается управляемый пуск асинхронного двигателя до рабочей частоты вращения, которая определяется моментом нагрузки на валу.

### ***13.2 Ход работы***

- 1 Изучить принципы работы и устройство основных блоков пускового устройства для управления асинхронным двигателем.
- 2 Объяснить принцип работы пускового устройства (см. рисунок 13.8).

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Принцип работы многоканальной СИФУ.
- 2 Принцип работы одноканальной СИФУ.
- 3 Принцип работы управляемого тиристорного пускателя.

### **Список литературы**

- 1 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты / А. А. Чунихин. – Москва : Энергоатомиздат, 2013. – 720 с.
- 2 Основы теории электрических аппаратов : учебник для вузов / Под ред. П. А. Курбатова. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 590 с.
- 3 Электронные и электрические аппараты : учебник для вузов в 2 т. / Под ред. Ю. К. Розанова. – Москва : Академия, 2010. – Т. 1–2.
- 4 **Елкин, В. Д.** Электрические аппараты : учебное пособие / В. Д. Елкин, Т. В. Елкина. – Минск : Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.

