

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

"УТВЕРЖДАЮ"  
Директор ЭЛТИ

\_\_\_\_\_ А.П.Суржиков

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2008 г.

## ТИРИСТОРНЫЙ ПУСКАТЕЛЬ

Методические указания к выполнению курсового проекта  
по дисциплине "Бесконтактные электрические аппараты" для  
студентов специальности 140602  
"Электрические и электронные аппараты"

Томск 2008

УДК 621.316.7

Тиристорный пускатель:

Метод. указ. к выполн. курс. проекта по дисциплине на тему "Бесконтактные электрические аппараты" для студентов специальности 140602 - "Электрические и электронные аппараты" - Томск: Изд. ТПУ, 2008. - 22 с.

Составители: проф., докт. техн. наук Б.В.Лукутин  
доц., канд. техн. наук В.С.Стукач  
доц., канд. техн. наук Е.П.Богданов

Рецензент: доц., канд. техн. наук С.Г. Обухов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры "Электрические машины и аппараты" ТПУ 1 сентября 2008 г.

Зав. кафедрой ЭМА

доц., канд. техн. наук \_\_\_\_\_ О.Л.Рапопорт

## ***1. Задача курсового проектирования***

В настоящих методических указаниях даются рекомендации и пояснения, помогающие студентам ориентироваться в расчете и конструировании тиристорных пускателей по литературе, государственным стандартам и требованиям по оформлению конструкторской и технической документации.

Задачей курсового проекта является обучение студентов основным методам проектирования бесконтактных коммутирующих устройств на примере тиристорного пускателя. Проект позволяет глубже усвоить особенности тиристорных ключей переменного тока, приобрести навыки расчета и конструирования силовых полупроводниковых устройств, исследования их рабочих режимов. В процессе работы над курсовым проектом студенты учатся самостоятельно квалифицированно решать задачи в области бесконтактных электрических аппаратов, закрепляют полученные теоретические знания.

## ***2. Тематика курсового проекта***

Темой курсового проекта являются тиристорные пускатели различных моделей. Пускатели выпускаются в следующих модификациях: реверсивные и нереверсивные. Предназначаются для дистанционного включения, отключения и реверса трехфазных двигателей переменного тока. Нереверсивные пускатели могут использоваться для включения и отключения других видов трехфазных нагрузок. Пускатели предназначены для использования в условиях умеренного климата, на подвижных объектах и в стационарных условиях в шахтах, рудниках, на транспорте, в нефтяной, газовой, химической, металлургической промышленности и других отраслях при условии обеспечения защиты в соответствующих условиях эксплуатации.

В техническом задании на проектирование приводятся следующие данные:

- напряжение сети (действующее значение)  $U$  (В);
- частота питающей сети  $f$  (Гц);
- номинальный фазный ток (действующее значение)  $I$  (А);
- номинальное значение коэффициента мощности  $\cos \varphi$  ;
- пусковой ток, действующий в течение 0,4 с  $I_p$  (А) ;
- режим работы пускателя (продолжительный или повторно-кратковременный).

В различных вариантах курсового проекта могут быть заданы дополнительные условия, например, частота и форма кривой тока, закон

изменения пускового тока, максимальная температура окружающей среды и другие.

### ***3. Содержание и объем курсового проекта***

Курсовой проект состоит из расчетной и графической частей для выполнения и оформления которых требуется ориентировочно 40 часов самостоятельной работы студента. Расчетная часть оформляется в виде пояснительной записки и содержит 25-40 страниц рукописного текста формата А4. Допускается представлять расчетно-пояснительную записку в машинописном или компьютерном виде.

Структура пояснительной записки:

- техническое задание на специальном бланке;
- содержание;
- введение;
- выбор и описание принципиальной схемы пускателя;
- электрический расчет и выбор элементов схемы;
- тепловой расчет полупроводниковых приборов;
- расчет надежности;
- технологический процесс изготовления печатной платы управления;
- описание конструкции пускателя;
- заключение;
- список используемой литературы.

В расчетно-пояснительной записке приводятся расчетные формулы, куда подставляются значения величин, входящих в формулу, после формулы дается конечный результат без промежуточных вычислений, а также необходимые иллюстрации и пояснения .

Полученные величины должны иметь соответствующую размерность, произвольные сокращения слов не допускаются, за исключением общепринятых. Обязательно делаются ссылки на используемую литературу с указанием страницы, рисунка, таблицы и т.п.

Пояснительная записка должна содержать следующие рисунки, графики и схемы:

- исходные электрические схемы различных типов пускателей;
- фрагменты принципиальной схемы и эквивалентные схемы выбранного пускателя, необходимые для электрического расчета;
- диаграммы рабочих режимов пускателя и элементов его схемы;
- эскизы всех рассчитываемых с размерами и ссылками на литературный источник;
- спецификацию стандартных изделий, входящих в состав пускателя.

Графическая часть проекта выполняется на листах формата А3, А4. В качестве обязательного графического материала должны быть представлены принципиальная электрическая схема пускателя и его общий вид с габаритными и установочными размерами.

#### ***4. Указания по выполнению разделов проекта***

Основные расчеты приводятся по методикам, изложенным в литературе [1, 2].

##### ***4.1. Введение***

Введение является первым разделом проекта и предшествует основному содержанию. Во введении даются основные сведения о бесконтактных полупроводниковых коммутирующих устройствах, их особенностях, областях применения. Проводится сравнение достоинств и недостатков контактных и бесконтактных вариантов построения аппаратов с идентичным функциональным назначением.

##### ***4.2. Выбор и описание принципиальной схемы пускателя***

Основным элементом тиристорных коммутирующих устройств на переменном токе является ячейка, состоящая из двух встречно-параллельно включенных тиристоров (рис.1). Данная схема является наиболее распространенной и тиристоры в ней выбираются как по обратному напряжению, так и по напряжению переключения. При выборе тиристоров по току следует учитывать то, что каждый из них проводит только одну полуволну переменного тока.

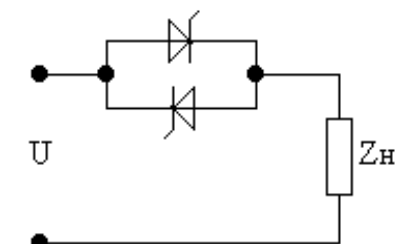


Рис.1.Тиристорная ячейка

Принципиальная электрическая схема реверсивного пускателя типа ПТ приведена на рисунке 3. Напряжение подается на выводы А,В,С.

Включение пускателя осуществляется выдачей управляющих сигналов на силовые тиристоры. Импульсы управления формируются из анодного напряжения тиристоров (рисунок 2). Напряжение в цепи управления равно напряжению на тиристоре. В момент

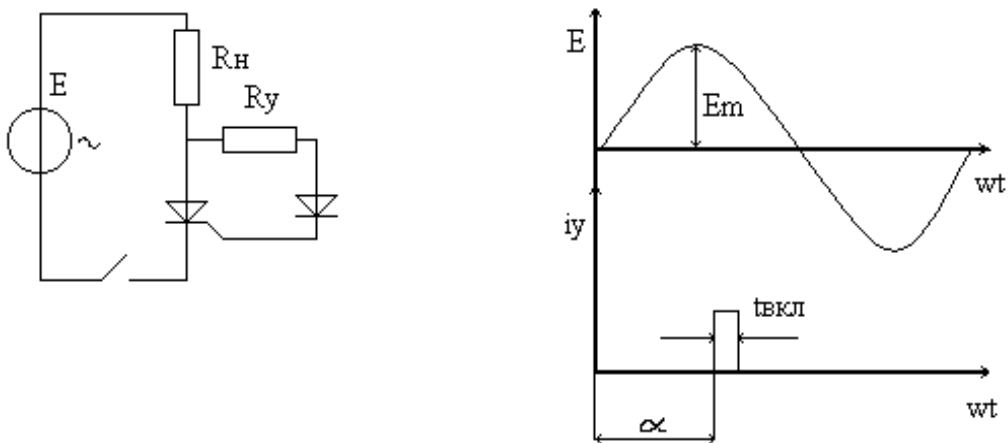


Рис.2. Способ формирования импульсов управления из анодного напряжения тиристора

включения напряжение управления равно напряжению источника питания. При подаче напряжения на реле последнее замыкает свои контакты в цепи управления тиристорами, и тиристоры, к аноду которых приложена положительная полуволна напряжения, включаются.

Таким образом, тиристор включается коротким импульсом, длительность которого определяется временем включения  $t_{вкл}$  тиристора при определенной минимальной величине импульса тока управления  $i_{ymin}$ , обеспечивающего включение тиристора. Короткий управляющий импульс уменьшает мощность потерь в цепи управляющего электрода. После включения тиристора напряжение управления падает до величины прямого падения напряжения на открытом тиристоре. С включением тиристора автоматически снимается сигнал управления. При переходе тока через нуль тиристор выключается. Импульсы управления поступают синхронно с напряжением сети с длительностью, зависящей от характера нагрузки.

Реверс двигателя осуществляется изменением порядка чередования фаз А и В изменением с помощью реле КА1 и КА2 цепей формирования импульсов тиристорных ячеек I, III или II, IV.

На рисунках 8 и 9 приведены принципиальные электрические схемы других возможных вариантов выполнения тиристорных пускателей.

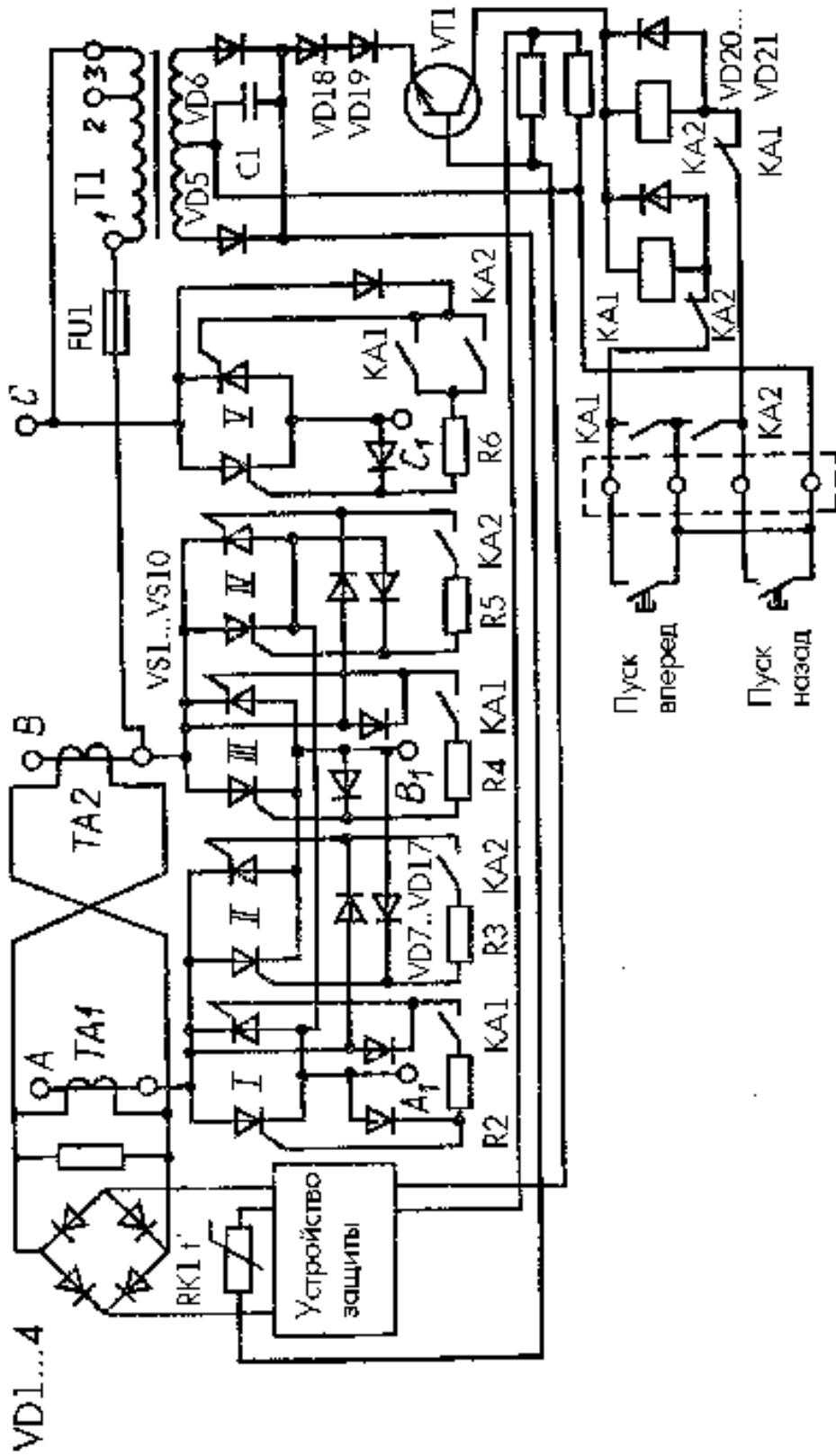


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема пускателя ПТ

### 4.3. Электрический расчет и выбор элементов схемы

Электрический расчет включает:

- предварительный выбор по току, напряжению и типу силовых тиристоров;
- выбор диодов в цепи управления тиристорами;
- расчет и выбор резисторов;
- выбор реле;
- расчет и выбор транзисторного ключа в схеме защиты пускателя.

Для пускателей, работающих от промышленной сети, обычно используются низкочастотные тиристоры. Параметры тиристоров выбираются по максимальному среднему току, протекающему через тиристор, и максимальному амплитудному значению напряжения на закрытом тиристоре.

По известным действующим значениям фазного тока и напряжения пускателя необходимо найти амплитудное значение напряжения и среднее значение тока тиристора. Для выбранной схемы тиристорной ячейки:

$$U_m = \sqrt{6} \times U; \quad I_{cp} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times I;$$

Предельные значения тока и напряжения:

$$I_n \geq I_{cp}; \quad U_n \approx 1,5U_m;$$

Определение параметров цепи управления состоит в определении соотношений между величиной ЭДС, действующей в цепи управления, тока управления и времени его протекания таким образом, чтобы обеспечить надежное включение тиристоров данного типа и мощность потерь на управляющем переходе не превышала допустимую. Для этого удобно использовать диаграмму управления вентиля [2].

Типичная зависимость мощности управляющего сигнала от длительности  $t_y$  для тиристора Т50 показана на рисунке 4. Таким образом, имея в виду, что в качестве ЭДС управления используется анодное напряжение тиристора, необходимо определить величину резистора в цепи управления, обеспечивающего необходимые значения  $i_y$ ,  $U_y$ . При этом необходимо помнить, что расчетное значение резистора необходимо округлить до ближайшего стандартного значения из ряда номинальных значений сопротивлений [5]. По известным параметрам резистора и цепи управления тиристора определяется мощность, рассеиваемая на резисторе.

После этого выбирается резистор стандартной мощности с учетом того, что на нем рассеиваемая мощность в цепях управления двух тиристоров. Диоды в цепи управления выбираются по известным значениям тока и напряжения, действующих в цепи управления.



При выборе реле следует учитывать, что поскольку с момента включения тиристора автоматически снимается сигнал управления, контакты реле работают в облегченных условиях и срок их службы определяется механической износостойкостью. Напряжение питания обмоток реле формируется с помощью трансформатора и выпрямителя из линейного напряжения питающей сети.

Пускатели имеют максимально-токовую защиту и тепловую защиту от перегрузок. Время срабатывания тепловой защиты от перегрузок является функцией тока перегрузки и температуры окружающей среды. Заводская установка максимальной токовой защиты равна  $9-10 I_{ном}$ .

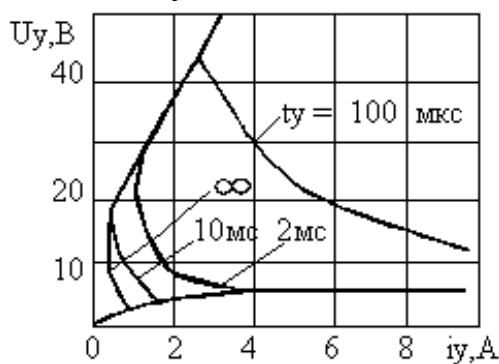


Рис.4. Зависимости мощности управления от длительности импульса управления

Тепловая защита от перегрузок

настраивается на температуру корпуса тиристора  $105^{\circ}\text{C}$ . Перегрузка

фиксируется устройством защиты, которая выдает сигнал на запираение

транзисторного ключа в цепи питания реле управления. В результате обмотки

реле обесточиваются, контакты в цепях

управления тиристорами размыкаются и пускатель отключает нагрузку от сети.

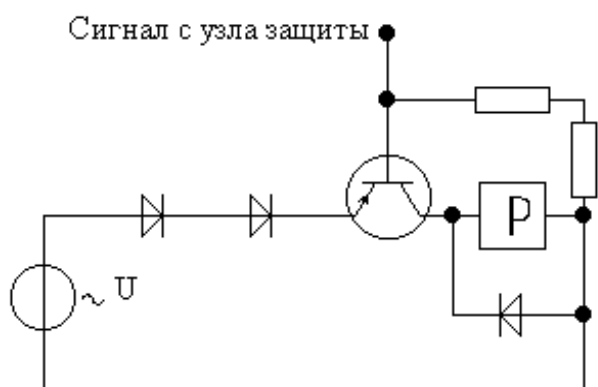


Рис.5.Цепь защиты пускателя с транзистором

Эквивалентная схема включения транзисторного ключа в цепи защиты представлена на рисунке 5. Транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Для обеспечения режима отсечки при однополярном входном сигнале, поступающем с устройства защиты, в эмиттерной цепи транзистора включены диоды.

По известным параметрам обмотки управления реле выбирается транзистор и определяется ток и напряжение базы транзистора, при которых он работает в ключевом режиме.

Ток базы, необходимый для насыщения транзистора:

$$I_b = \frac{K_n (E - U_{кэп} - U_{\partial})}{\beta R_p},$$

где  $K_n = 1.2 \div 2$  - коэффициент насыщения;  $\beta$  - коэффициент усиления транзистора;  $U_{кэн}$ ,  $U_\delta$  - падение напряжения на открытых транзисторе и диодах в эмиттерной цепи.;  $R_p$  - активное сопротивление обмотки реле. Напряжение базы транзистора, необходимое для отсечки транзистора приближенно равно  $U_{бo} = 0.1 \div 0.3$  В. Таким образом, входной сигнал отсечки транзистора должен определяться в соответствии с неравенством:

$$U_\delta - U_b \geq U_{бo}.$$

Проверка теплового режима может быть произведена по максимально допустимой мощности потерь, которая имеет место в режиме насыщения транзистора:

$$P_n = I_n U_{кэн} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \leq P_n \text{ доп},$$

где  $P_n \text{ доп}$  - максимально допустимая мощность рассеяния аппарата при наибольшей температуре окружающей среды.

#### **4.4. Тепловой расчет силовых полупроводниковых приборов**

Задача расчета теплового режима тиристоров состоит в определении наибольшей температуры переходов и сравнении ее с допустимой, или в определении перегрева переходов по отношению к температуре окружающей среды. Методика расчета приведена в литературе [1,2].

Различают два тепловых режима полупроводниковых приборов: статический и переходный. Ввиду значительной инерционности тепловых процессов режим работы считается практически стационарным, если частота изменения тока, проводимого тиристором, превышает 20 Гц.

В процессе работы над проектом необходимо проверить тепловой режим тиристоров в различных режимах работы пускателя. прежде всего определяется температура переходов в длительном установившемся номинальном режиме. Для этого определяется мощность потерь в переходе, которая складывается из основных потерь  $\Delta P_{осн}$  и дополнительных  $\Delta P_{доп}$ :

$$\Delta P = \Delta P_{осн} + \Delta P_{доп}$$

Основные потери определяются по формуле:

$$\Delta P_{осн} = U_o I_{cp} + K_\phi^2 I_{cp}^2 R_\delta,$$

где  $U_o$  и  $R_\delta = dU/di$  - начальное напряжение и динамическое сопротивление прямого участка вольт-амперной характеристики тиристора;  $K_\phi = \pi/2$  - коэффициент формы для данной схемы.

Дополнительные потери складываются из потерь в управляющем переходе, потерь от анодного тока ( прямого и обратного) в закрытом состоянии тиристора и потерь, выделяемых во время переключения тиристора. Обычно при частоте напряжения питания до 400 Гц

дополнительные потери составляют 2÷5 % от основных и в расчете ими можно пренебречь.

Температура структуры в установившемся режиме:

$$Q_{pn} = Q_c + \Delta P R_m;$$

где  $Q_c$  - температура окружающей среды;  $R_m$  - полное установившееся тепловое сопротивление системы (переход - корпус - радиатор - среда):

$$R_m = R_{mnk} + R_{mkr} + R_{mrc}.$$

При определении по справочнику [2] величины теплового сопротивления следует обращать внимание на условия охлаждения и тип радиатора. Если перегрев окажется больше допустимого, следует перейти либо к тиристорной большей мощности, либо уменьшить тепловое сопротивление путем применения более мощного радиатора или принудительного охлаждения.

Температура перегрева структуры в переходном пусковом режиме определяется при большей мощности потерь  $\Delta P$ , определяемых пусковым

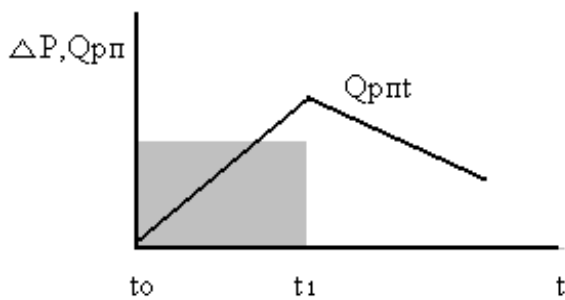


Рис.6. Диаграммы  $\Delta P$  и  $Q_{рп}$

током. Методика расчета переходных тепловых режимов основана на замене импульса мощности потерь произвольной формы эквивалентным импульсом прямоугольной формы равной площади и амплитуды. Тогда задача теплового расчета сводится к определению температуры

структуры в конце эквивалентного импульса мощности потерь от пускового тока (рис.6). Температура структуры в момент  $t$ :  $Q_{pnt} = Q_c + \Delta P \times r_l$ , где  $r_l$  - полное тепловое переходное сопротивление системы, соответствующее времени  $t_1$ . Обычно переходные тепловые сопротивления определяются по экспериментально снятым графическим зависимостям для конкретных условий охлаждения [2].

Тиристорные пускатели допускают высокую частоту включений - до 600 включений в час. В этом случае график нагрузки тиристорных может быть эквивалентирован серией прямоугольных импульсов, представленных на рисунке 7.

Температура структуры в конце серии импульсов:

$$Q_{pn} = Q_c + \left[ \frac{\tau R_m}{T} + \left( 1 - \frac{\tau}{T} \right) r_{\tau+T} - r_T + r_\tau \right] \Delta P$$

Температура структуры в конце импульсов:

$$\Delta P = \frac{Q_{pn} - Q_c}{\frac{\tau R_m}{T} + \left( 1 - \frac{\tau}{T} \right) r_{\tau+T} - r_T + r_\tau}.$$

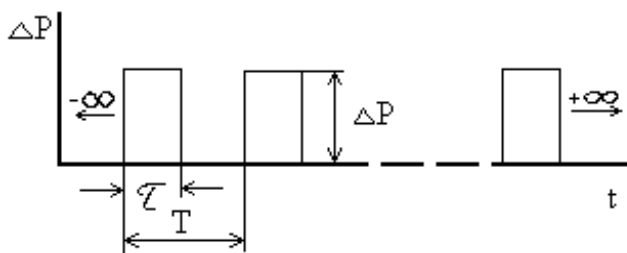


Рис. 7. График мощности потерь при длительной импульсной нагрузке

Дополнительным заданием в тепловом расчете может быть определение величины перегрузки тиристорного пускателя в течение заданного промежутка времени, либо определение времени, в течение которого пускатель выдерживает заданную перегрузку. Способы

ограничения температуры структуры в переходных режимах до значений, не превышающих допустимые в статических режимах.

#### 4.5. Описание конструкции пускателя

Конструктивно пускатели выполняются в виде единого блока, помещенного в металлический кожух. Тиристоры устанавливаются на охладители и располагаются в два ряда в верхней части пускателя (рисунок 11). В нижней части пускателя размещается бок управления, который прикреплен к стойке винтами и может откидываться для доступа к элементам, расположенным с обратной стороны блока. Реле в пускателях размещаются в контейнере для защиты контактов реле от механических повреждений и пыли.

Пускатель может монтироваться как на металлическом, так и на изоляционном основании. Охлаждение тиристоров естественное. Пускатели имеют два исполнения: для взрывобезопасного применения и общепромышленного исполнения. На рисунке 10 представлен общий вид пускателя типа ПТ 40 - 380.

Защита пускателей от токов короткого замыкания осуществляется быстродействующими предохранителями или автоматическими выключателями, установленными перед пускателем. Термодатчик тепловой защиты установлен на нижнем первом охладителе тиристора.

Графическая часть проекта и спецификация должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов. На общем виде указываются только габаритные и установочные размеры.

В качестве дополнительного раздела курсового проекта может быть предложена разработка монтажной платы узла управления тиристорного пускателя (Приложение 1). В Приложении 2 приведены варианты выполнения монтажной платы, печатной платы, платы управления в сборе.

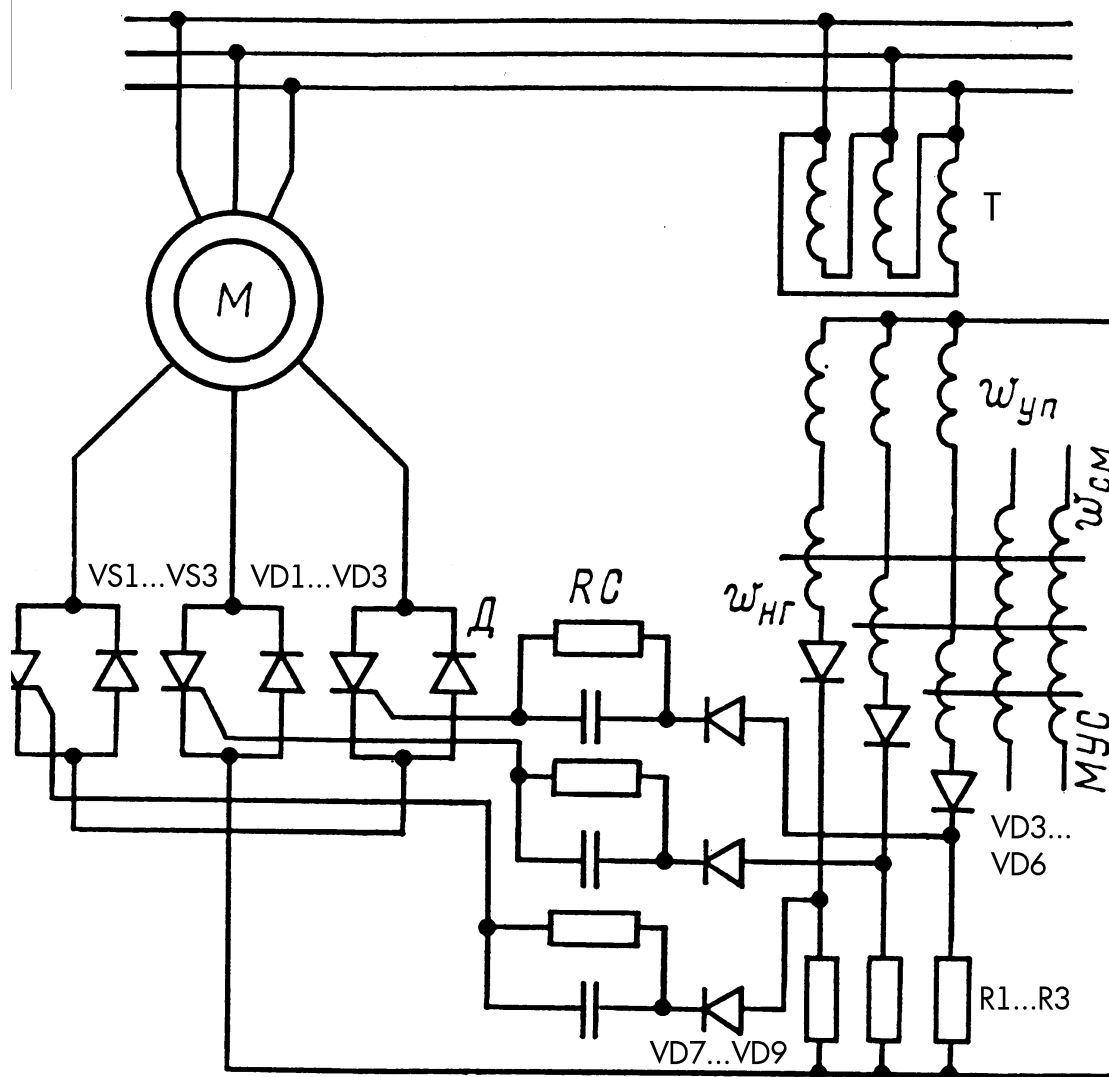


Рис. 8. Принципиальная схема пускателя

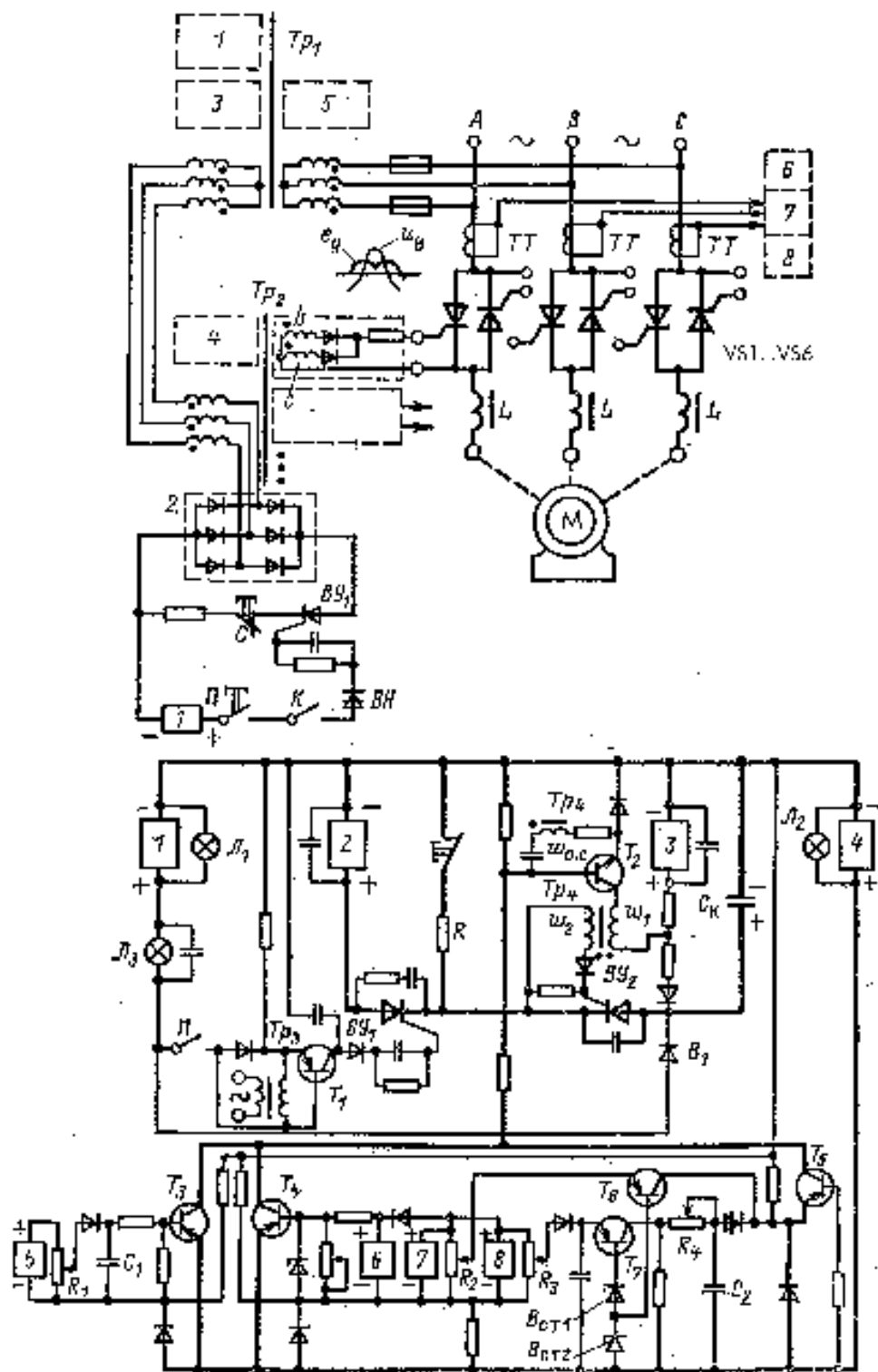


Рис.9. Принципиальная схема пускателя ПТУ

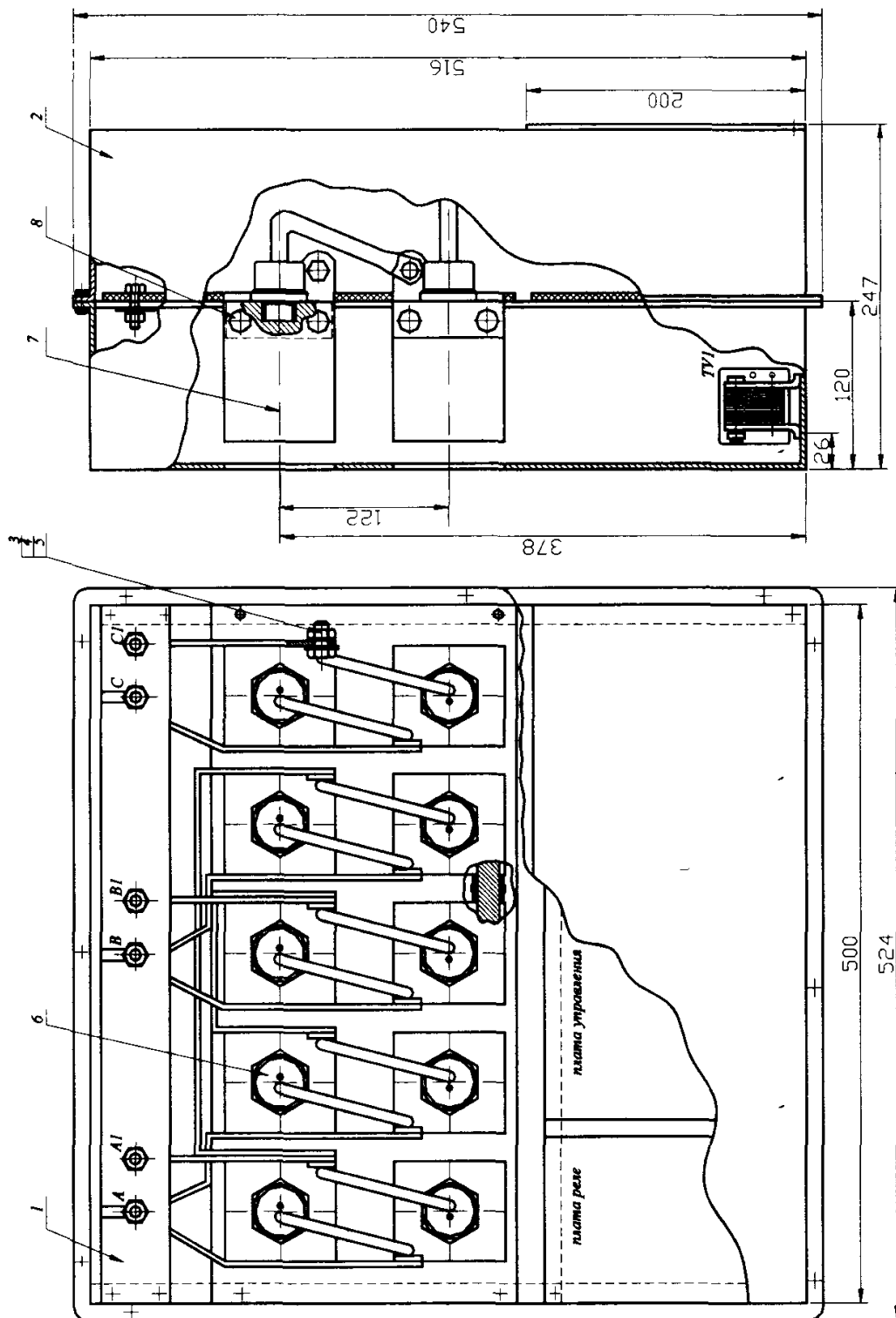


Рис. 10. Конструкция пускателя ПТ

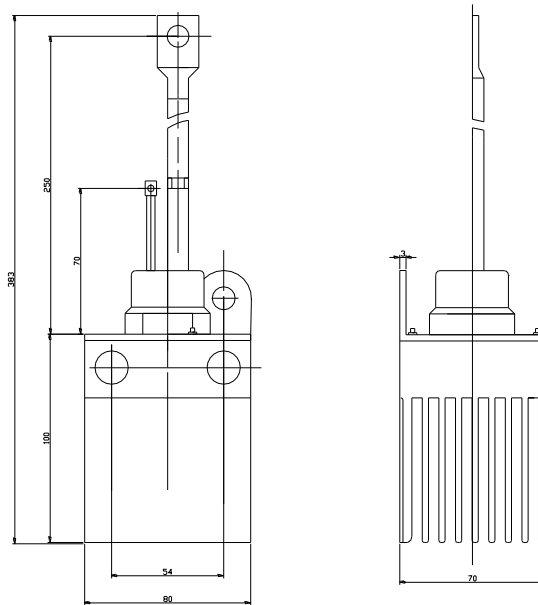
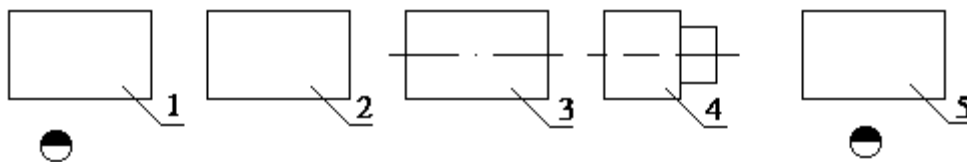


Рис.11. Эскиз тиристора с охладителем

*Приложение 1*

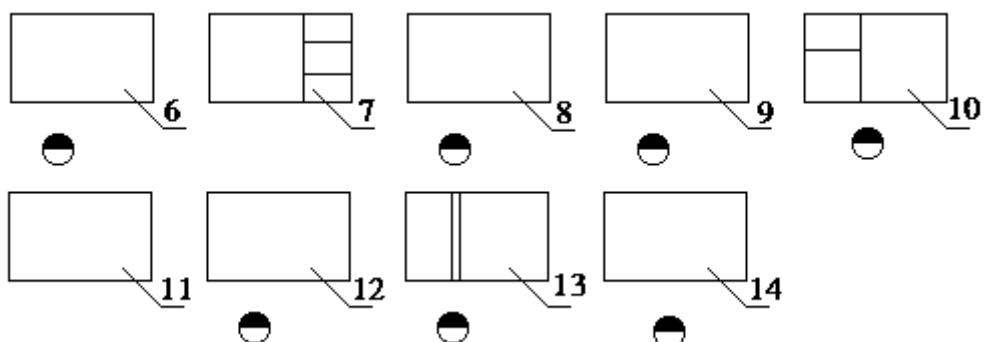
## Примерный технологический процесс изготовления печатной платы управления.

### 1. Участок контроль-подготовка заготовок.



1. Контроль заготовок;
2. Дырочной пресс;
3. Снятие заусенцев;
4. Чистка отверстий сжатым воздухом;
5. Контроль.

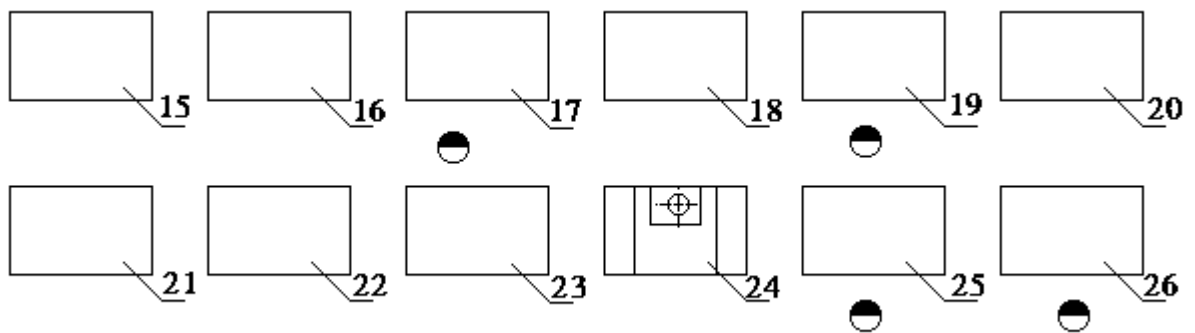
### 2. Участок изготовления сетчатого трафарета.





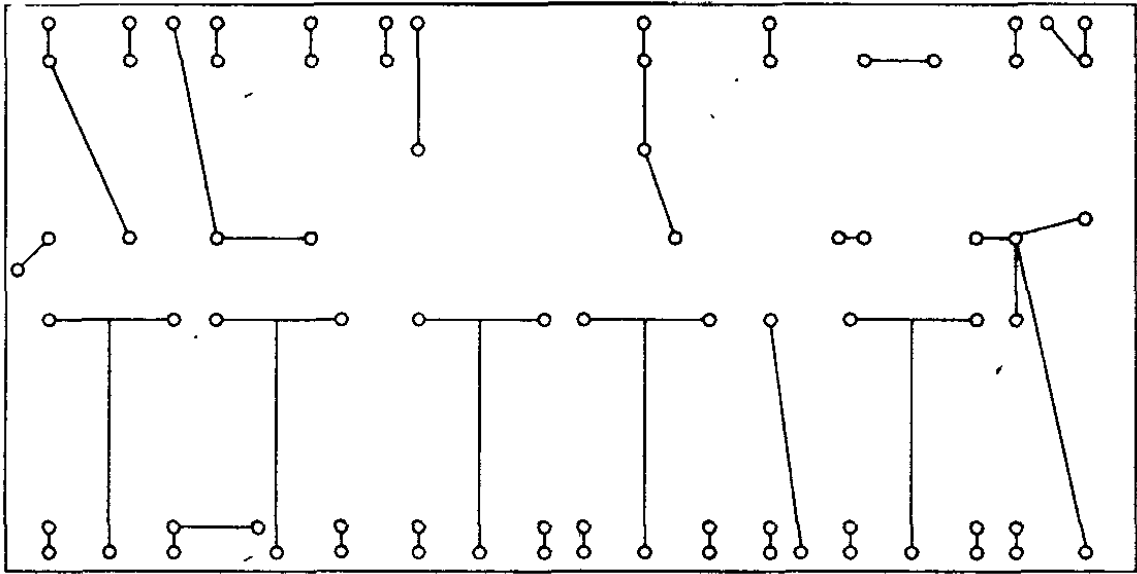
6. Подготовка сетки трафарета;
7. Натяжение сетки на рамки;
8. Заклеивание рамки;
9. Промывка и нанесение фотокомпозиции;
10. Светокопировальная установка;
11. Ванна проявления;
12. Ретуширование;
13. Сеткографический станок;
14. Контроль и ретушь.

### 3. Участок травления.

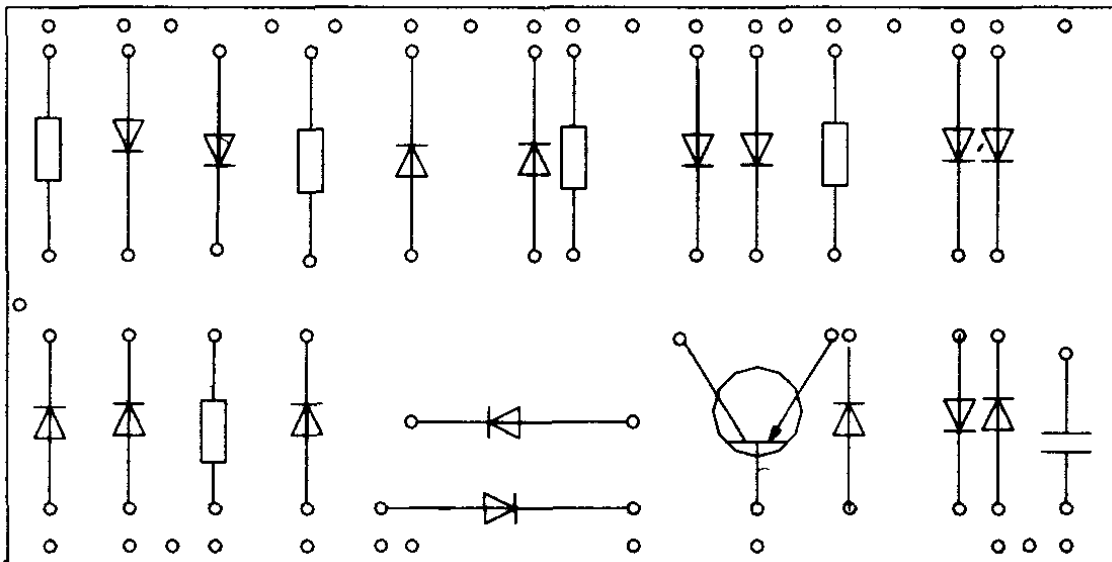


15. Ванна для травления;
16. Ванна для промывки;
17. Контроль;
18. Смывка защитного рисунка;
19. Контроль;
20. Ванна декапирования;
21. Нанесение сплава Розе;
22. Промывка;
23. Сушка и контроль;
24. Сверление;
25. Контроль;
26. Маркировка и упаковка.

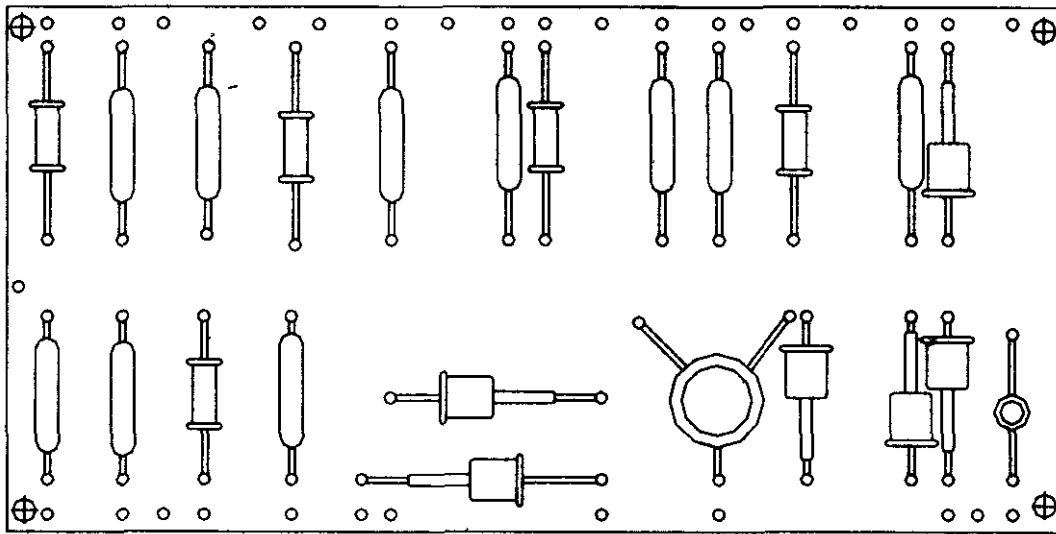
Плата печатная



Плата монтажная



## Плата управления в сборе



### ***5. Контрольные вопросы***

1. Каким образом происходит включение и выключение тиристорного пускателя ?
2. Какие виды защиты имеет пускатель и как происходит его отключение при перегрузках ?
3. Как осуществляется реверс двигателя переменного тока тиристорным пускателем ?
4. Из каких соображений выбираются силовые тиристоры ?
5. От каких факторов зависит мощность потерь, выделяемая в полупроводниковой структуре тиристоров ?
6. Что такое основные и дополнительные потери ?
7. В чем сущность проверки теплового режима силовых полупроводниковых приборов ?
8. Какие параметры характеризуют интенсивность теплоотвода с кристалла полупроводникового прибора ?
9. В каких случаях тепловые процессы смогут считаться стационарными ?
10. В чем заключается методика расчета теплового режима полупроводниковых приборов ?
11. Как формируются импульсы управления тиристорами ?
12. От чего зависят параметры элементов цепи управления тиристорами ?

13. Как определить величину максимального тока пускателя, который он выдержит в течении заданного времени ?
14. Изобразите и поясните основные участки вольт-амперной характеристики тиристора.
15. Назовите условия ключевого режима работы тиристора.
16. Что такое тепловое сопротивление и какие тепловые сопротивления используются при расчете теплового режима тиристора ?
17. В чем смысл коэффициента формы  $K_f$  ?
18. Для чего блок управления пускателя располагается в нижней части ?
19. Как крепятся тиристоры с радиаторами к стойке пускателя ?
20. Почему термодатчик тепловой защиты устанавливается на нижнем первом радиаторе тиристора ?

#### ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

№ пп	Наименование раздела проекта	Объем работы %
1	Выбор принципиальной схемы и определение исходных данных для электрического расчета	10
2	Электрический расчет и выбор элементов схемы	20
3	Тепловой расчет силовых полупроводниковых приборов	25
4	Разработка конструкции и выполнение чертежа общего вида	30
5	Оформление пояснительной записки и чертежей	15
	Итого:	100

## **6. Список используемых источников**

1. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. - М.: Энергия, 1986.
2. Чебовский О.Г., Моисеев Л.Г., Сахаров Ю.В. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. - М. : Энергия, 1975.
3. Полупроводниковые приборы. Транзисторы. Справочник. Аронов В.А. и др.; / Под общ. ред. Горюнова Н.Н. - М. : Энергоиздат, 1982.
4. Справочник по полупроводниковым диодам. Бородин Б.А. и др.; / Под ред. Н. Ф. Николаевского. - М.: Связь, 1979.
5. Резисторы. Справочник. Андреев Б.Н. и др.; / Под ред. И.И. Четверикова. - М.: Энергоиздат, 1981.
6. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры./ Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Советское радио, 1972.
7. Поскробко А.А., Братолобов В.Б. Бесконтактные коммутирующие и регулирующие полупроводниковые устройства на переменном токе. - М.: Энергия, 1978.
8. Лукутин Б.В. Силовые преобразователи электроэнергии. Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 1997.
9. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника, - М. : Высшая школа, 1982.

## **Содержание**

1. Задача курсового проектирования.....	3
2. Тематика курсового проекта .....	3
3. Содержание и объем курсового проекта .....	4
4. Указания по выполнению разделов проекта .....	5
4.1. Введение .....	5
4.2. Выбор и описание принципиальной схемы пускателя.....	5
4.3. Электрический расчет и выбор элементов схемы.....	8
4.4. Тепловой расчет силовых полупроводниковых приборов.....	10
4.5. Описание конструкции пускателя.....	12
5. Контрольные вопросы.....	19
6. Список используемых источников.....	21

## ТИРИСТОРНЫЙ ПУСКАТЕЛЬ

Методические указания к выполнению курсового проекта

Составители: Борис Владимирович Лукутин  
Владимир Степанович Стукач  
Евгений Петрович Богданов

Подписано к печати

Формат 60×84/16. Бумага офсетная .

Плоская печать. Усл. печ. л. . Уч. изд. л. .

Тираж 100 экз. Заказ № . Цена свободная.

ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ №1 от 18.07.97.

Ротапринт ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина 30.