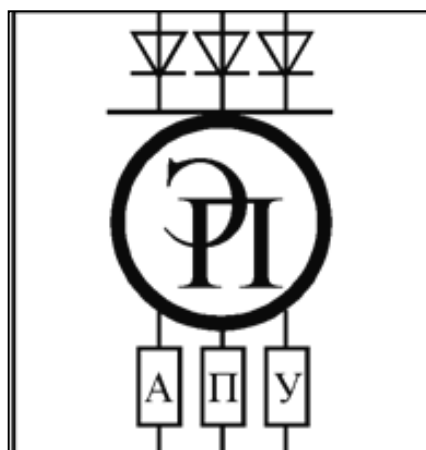


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

*Методические рекомендации к самостоятельной работе  
для студентов специальности  
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»  
заочной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 62-83  
ББК 31.291  
Э62

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «30» марта 2022 г.,  
протокол № 9

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

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

Методические рекомендации к самостоятельной работе предназначены для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заочной формы обучения. В методических рекомендациях изложены программа дисциплины и основные положения, необходимые для выполнения аудиторной контрольной работы студентами заочной формы обучения, а также приведены основные теоретические положения и соотношения, необходимые студентам при выборе электрических аппаратов.

Учебно-методическое издание

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Ответственный за выпуск	С. М. Фурманов
Корректор	А. А. Подошевко
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 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

1 Темы дисциплины для изучения.....	4
2 Аудиторная контрольная работа.....	4
3 Задания для выполнения аудиторной контрольной работы.....	5
4 Методические указания к выполнению контрольной работы.....	7
4.1 Выбор низковольтных электрических аппаратов.....	9
5 Технические данные основных серий электрических аппаратов.....	16
5.1 Магнитные пускатели серии ПМЛ.....	16
5.2 Тепловые реле серии РТЛ и ТРН.....	17
5.3 Автоматические выключатели серии АЗ700, ВА47, АЕ2000.....	18
5.4 Автоматические выключатели серии АЕ2000.....	20
5.5 Автоматические выключатели серии ВА47.....	20
5.6 Предохранители серии ПРС-6 и ПР-2.....	20
5.7 Реле промежуточные серии РПЛ.....	21
5.8 Реле промежуточные серии РП-21.....	22
5.9 Реле времени серии РВП72.....	22
5.10 Выключатели кнопочные серии КМЕ и КЕ.....	23
5.11 Путевые выключатели серии БВК.....	23
5.12 Контакторы серии МК.....	24
5.13 Тиристорные пускатели для цепей переменного тока.....	24
Список литературы.....	25
Приложение А.....	26

## **1 Темы дисциплины для изучения**

Электрический аппарат как средство управления режимами работы, защиты и регулирования параметров системы.

Классификация электрических и электронных аппаратов по назначению, по току и напряжению, по области применения. Понятие термической и электродинамической стойкости электрических аппаратов.

Процессы коммутации в электромеханических аппаратах. Гашение электрических дуг в аппаратах постоянного и переменного токов. Условия гашения дуг постоянного и переменного токов и их реализация в аппаратах.

Переходное сопротивление контактов и факторы его определяющие. Конструкции контактов. Износ контактов. Контактные материалы.

Общие сведения о магнитных цепях аппаратов. Сила тяги электромагнитов. Динамика работы электромагнитов.

Контакты переменного и постоянного токов. Магнитные пускатели. Конструкция, основные параметры, выбор.

Общепромышленные предохранители, быстродействующие предохранители, автоматические выключатели. Конструкция, основные параметры, выбор.

Тепловые, электромагнитные реле тока и напряжения, реле времени, командоаппараты. Конструкция, основные параметры, выбор.

Типовые структуры и основные функциональные узлы систем управления. Элементная база реализации функциональных узлов (цифровые непрограммируемые интегральные микросхемы). Структура и функционирование программируемых логических контроллеров (ПЛК). Примеры применения ПЛК в дискретных системах управления. Силовые диоды, силовые транзисторы, традиционные и запираемые тиристоры. Статические вольт-амперные характеристики силовых электронных ключей. Тиристорные пускатели и тиристорные регуляторы переменного тока с естественной коммутацией.

Гибридные силовые аппараты переменного тока. Сравнительный анализ электромеханических и гибридных силовых аппаратов.

Полупроводниковые реле постоянного и переменного токов.

## **2 Аудиторная контрольная работа**

Целью аудиторной контрольной работы является закрепление студентами навыков выбора электрических аппаратов и разработки электрических схем.

Аудиторная контрольная работа выполняется в соответствии с заданием и включает:

– разработку схемы электрической принципиальной систем управления электроприводом;

– выбор необходимых электрических аппаратов (контактных и бесконтактных).

Графическая часть выполняется на одном листе формата А4 в соответствии с требованиями ЕСКД.

Оценка аудиторной контрольной работы производится с учетом правильного и качественного, в соответствии с ЕСКД, выполнения работы.

### **3 Задания для выполнения аудиторной контрольной работы**

#### **Задание 1**

Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет пять ступеней роторного сопротивления. При пуске сопротивления выводятся с выдержкой времени. Схема должна иметь необходимые защиты. Разработать релейную схему управления.

#### **Задание 2**

Электропривод состоит из двух асинхронных нереверсивных двигателей с короткозамкнутым ротором, работающих на общий вал. Пуск обоих двигателей прямой, второй двигатель включается на время  $t_1$  позже первого.

При отключении первый двигатель переводится в режим динамического торможения, а в цепь статора второго вводится ступень силового реостата. Предусмотреть в схеме необходимые защиты. Разработать релейную схему управления.

#### **Задание 3**

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором пускается дистанционно из двух разных мест. При управлении из одного места предусмотреть возможность реверса, а из другого (при отключении) режим динамического торможения. Предусмотреть в схеме необходимые защиты. Разработать релейную схему управления. Для включения асинхронного двигателя использовать тиристорные пускатели.

#### **Задание 4**

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором реверсируется пять раз в минуту автоматически. Разработать релейную схему управления. Предусмотреть в схеме необходимые защиты.

#### **Задание 5**

Электропривод состоит из двух асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Одновременная работа двигателей исключена. Пуск прямой, но в цепь статора одного из двигателей на время  $t$  вводится ступень пускового реостата. При отключении для обоих двигателей использовать электродинамическое торможение. Предусмотреть возможность реверса для двигателя без пускового реостата. Разработать релейную схему управления. Предусмотреть в схеме необходимые защиты.

### Задание 6

Разработать схему управления перемещением механизма (рисунок 1) по заданному циклу. Привод осуществляется асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором (схема реверсивная). Выполнение цикла перемещений начинается кнопкой «Пуск» и заканчивается остановкой в исходном положении после отработки всего цикла. Цикл перемещений задан в таблице 1 в виде последовательности перемещений между положениями 1, 2, 3, контроль которых осуществляется конечными выключателями. Схему реализовать на контактных элементах. Для включения асинхронного двигателя использовать тиристорные пускатели.

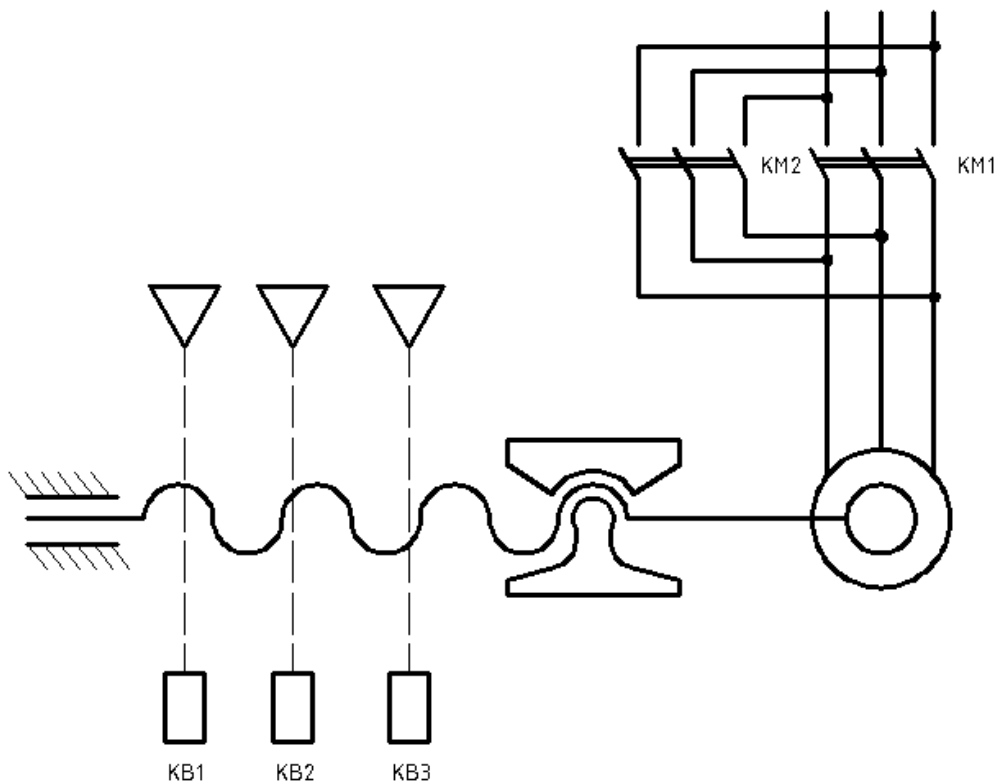


Рисунок 1 – Схема электропривода перемещения механизма

Таблица 1 – Цикл перемещений к заданию 6

Номер цикла	Цикл перемещений
0	1-2-3-2-1
1	3-2-1-3-1
2	1-2-1-3-1
3	1-3-2-3-1
4	1-3-1-2-1
5	1-2-1-2-1
6	1-3-1-3-1
7	2-3-1-2-1
8	2-1-2-3-1
9	3-2-1-2-1

## 4 Методические указания к выполнению контрольной работы

В аудиторной контрольной работе необходимо разработать схему управления электроприводом в соответствии с заданием. Графическая часть предполагает разработку схемы электрической принципиальной электропривода.

Принципиальная (полная) электрическая схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципе работы электрооборудования устройства.

Принципиальная схема является основанием для разработки других конструкторских документов и выполняется с использованием языка схемы, представляющего собой совокупность графических изображений элементов, электрических устройств и линий связи, их символических, буквенных и цифровых обозначений.

Базой для разработки принципиальной схемы в проекте является словесное описание работы электропривода, которое предполагает использование типовых операций по управлению работой нерегулируемых по скорости приводов:

- пуск, остановка, реверс асинхронного двигателя;
- динамическое торможение асинхронного двигателя;
- коммутация электрических цепей с задержкой по времени.

Это позволяет при разработке схемы электрической принципиальной использовать типовые решения:

- пуск, остановка, реверс асинхронного двигателя с помощью магнитного пускателя или тиристорного пускателя;
- использование реле времени для реализации задержек при коммутации цепей;
- использование электромагнитных реле напряжения для реализации алгоритма работы схемы управления электроприводом и контакторов постоянного тока при реализации динамического торможения.

В качестве питающей сети рекомендуется использовать трехфазную четырехпроводную (с нулевым проводом) сеть переменного тока  $\sim 380$  В.

Соответственно напряжение питания цепей рекомендуется брать либо  $\sim 380$  В, либо  $\sim 220$  В.

В схеме необходимо предусмотреть защиты от токов короткого замыкания (автоматические выключатели, предохранители) и перегрузки двигателей привода (тепловые реле, автоматические выключатели с тепловым расцепителем, устройства встроенной тепловой защиты). Размещать аппараты защиты в схеме рекомендуется на завершающей стадии разработки схемы электрической принципиальной.

В качестве примера разработки схемы электрической принципиальной рассмотрим схему пуска двигателем с фазным ротором в соответствии с заданием 1, но с двумя ступенями пускового реостата (рисунок 2).

Схема работает следующим образом. При нажатии кнопки *SB1* магнитный пускатель *KM1* подключает своими силовыми контактами обмотку статора двигателя *M1* к трехфазному источнику питания и одновременно становится на

самопитание. Начинается пуск двигателя при включенных резисторах  $R1-R2$  в цепь питания ротора. Двигатель разгоняется по механической характеристике.

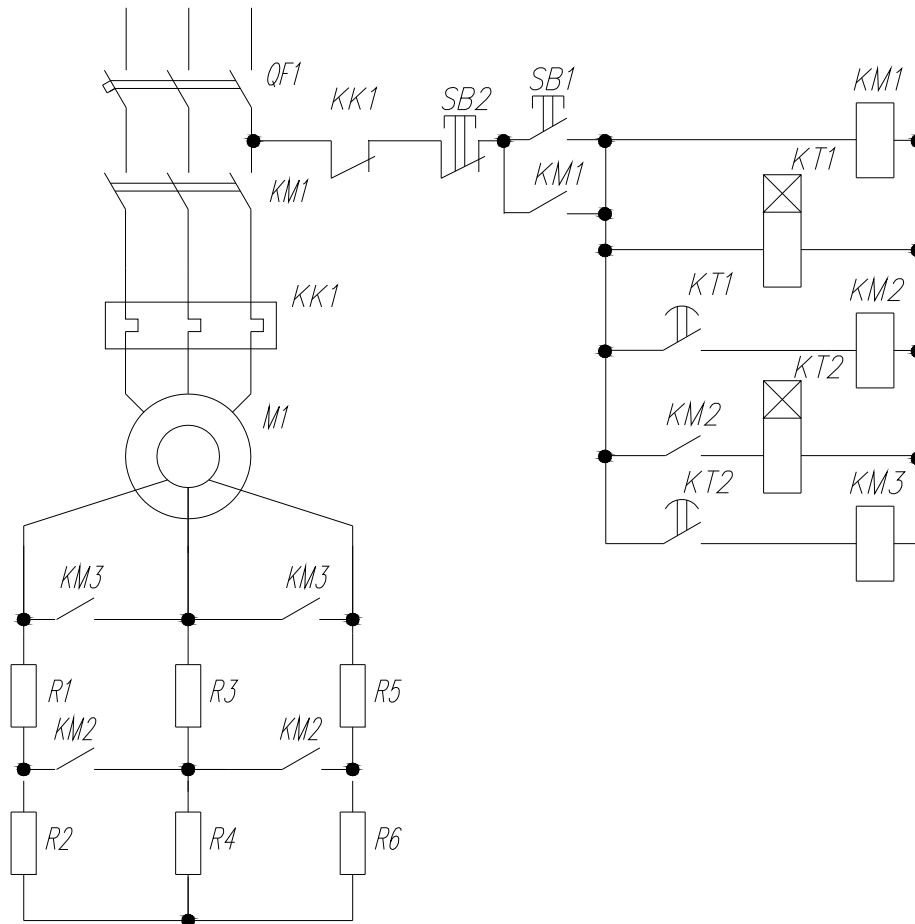


Рисунок 2 – Схема электропривода

Одновременно с включением пускателя  $KM1$  запитывается реле времени  $KT1$ , которое определяет время  $t_1$  работы двигателя на этой механической характеристике, и через это время своим замыкающим контактом подает напряжение на катушку контактора  $KM2$ , который, в свою очередь, своими силовыми контактами шунтирует резисторы  $R2$  в цепи ротора, обеспечивая работу двигателя на механической характеристике 2, а также запитывает следующее реле времени  $KT2$ . Реле времени  $KT2$  через выдержку времени  $t_2$  включает магнитный контактор  $KM3$ , что приводит к полному шунтированию резисторов в цепи ротора  $M1$  и завершению пуска двигателя по естественной механической характеристике 3. Отключение двигателя  $M1$  обеспечивается кнопкой «Стоп»  $SB2$  или при срабатывании тепловой защиты тепловым реле  $KK1$ . Контакт этого реле размыкает цепь питания аппаратов  $KM1-KM3$ .

Оформление схемы электрической принципиальной на основе схемы (см. рисунок 2) необходимо выполнить в соответствии с требованиями ЕСКД.



#### 4.1 Выбор низковольтных электрических аппаратов

Выбор аппаратов управления и защиты производится с учетом следующих основных требований и соотношений [2, 3]:

1) номинальное напряжение, ток аппаратов должны соответствовать напряжению и допустимому длительному току цепи. Номинальные токи аппаратов защиты следует выбирать по возможности наименьшими, по расчетным токам отдельных электроприемников, при этом аппараты защиты не должны отключать цепь при кратковременных перегрузках (например, при пусках двигателей);

2) аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать токам короткого замыкания в начале защищаемого участка;

3) при коротких замыканиях, по возможности, должна быть обеспечена селективность работы защитных аппаратов;

4) аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение одно-, многофазных и трехфазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью и двух- и трехфазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью в наиболее удаленной точке защищаемой цепи. Для этого токи однофазных коротких замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью, двух- и трехфазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью должны превышать не менее, чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя данной цепи; в 3 раза номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратозависимую от тока характеристику; в 1,4 раза ток установки мгновенного срабатывания автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель (отсечку) с номинальным током до 100 А;

5) если известны номинальные мощности электроприемников, то их номинальные токи могут быть определены по следующим соотношениям:

– для трехфазных электроприемников переменного тока

$$I_{ном} = P_{ном} / 1,73 U_{ном.лин.} \cos\varphi_{ном} \eta_{ном};$$

– для электроприемников постоянного тока

$$I_{ном} = P_{ном} / U_{ном} \eta_{ном},$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность электроприемника (или группы электроприемников), Вт;

б) при выборе аппаратов необходимо учитывать, что есть серии аппаратов, имеющих различия в конструкции в пределах серии, связанные с формой, цветом отдельных элементов конструкции, количеством и исполнением контактов. Поэтому при выборе необходимо пользоваться по возможности наиболее полной информацией, имеющейся в справочниках.

Кроме того, все выбираемые аппараты должны удовлетворять и всем другим условиям выбора аппаратуры, в частности, условиям окружаю-

щей среды.

Аппараты управления и защиты устанавливаются во всех линиях и присоединениях питающей и распределительной сетей. Основные требования, которыми в этом случае необходимо руководствоваться, изложены в [3].

Выбор конкретных электрических аппаратов по электрическим параметрам производится в соответствии со следующими правилами.

**Рубильники, пакетные выключатели, тумблеры, кнопки, конечные выключатели.**

Выбор производится:

- 1) по номинальному напряжению сети

$$U_{ном} \geq U_{сети},$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение аппарата;

$U_{сети}$  – номинальное напряжение сети;

- 2) по длительному расчетному току цепи

$$I_{ном} \geq I_{длит},$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток аппарата;

$I_{длит}$  – длительный расчетный ток цепи.

Под длительным расчетным током в общем случае здесь и дальше понимается не номинальный ток отдельного электроприемника, а действительно протекающий по линии ток.

**Магнитные пускатели, контакторы.**

Выбор производится:

- 1) по номинальному напряжению сети

$$U_{ном} = U_{сети},$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение катушки аппарата;

- 2) по номинальному току нагрузки контактов

$$I_{ном} \geq I_{ном\ нагр},$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток аппарата для конкретного режима работы;

3) по мощности электродвигателя исполнительного механизма (для магнитных пускателей). Этот выбор предполагает наличие в справочниках таблиц, в которых конкретному двигателю указывается конкретный тип пускателя;

4) по номинальному напряжению силовых и вспомогательных контактов аппарата

$$U_{ном\ конт} \geq U_{сети};$$

- 5) по режиму работы (АС1, АС2, АС3, АС4 – для аппарата переменного

тока и ДС1, ДС2, ДС3, ДС4, ДС5 – для аппарата постоянного тока);

6) по числу включений в час с учетом коммутационной и механической износостойкости;

7) по времени включения и отключения (для контакторов в схемах управления, где необходимо определять в целом общее время срабатывания аппаратов).

#### **Реле напряжения.**

Выбор производится:

1) по номинальному напряжению сети

$$U_{ном} = U_{сети} ,$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение катушки аппарата;

2) по току, коммутируемому контактами,

$$I_{ном} \geq I_{ном\ нагр} ,$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток, коммутируемый контактами (зависит в том числе от характера нагрузки – индуктивная и т. д.);

3) по напряжению контактов

$$U_{конт} \geq U_{сети} ,$$

где  $U_{конт}$  – допустимое напряжение контактов;

4) по числу и исполнению контактов;

5) по создаваемым выдержкам времени (для реле времени) и их стабильности.

#### **Предохранители.**

Выбор производится:

1) по номинальному напряжению сети

$$U_{ном} \geq U_{сети} ,$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение предохранителя. Рекомендуется номинальное напряжение предохранителей выбирать по возможности равным номинальному напряжению сети;

2) по длительному расчетному току линии

$$I_{ном\ вст} \geq I_{длит} ,$$

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

3) по условиям пуска асинхронных двигателей (с короткозамкнутым ротором)

$$I_{ном\ вст} = \frac{I}{\alpha} ;$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от условий пуска (продолжительность пуска),  
 $\alpha = 1,5 \dots 2,2$ ;

$I$  – пусковой ток двигателя;

4) если предохранитель стоит в линии, питающей сразу несколько двигателей с короткозамкнутым ротором,

$$I_{ном вст} = 0,4 [I_{расч} + (I_{пуск} - I_{ном дв})],$$

где  $I_{расч}$  – расчетный номинальный ток линии, равный  $\Sigma I_{ном.дв}$ .

Разность  $(I_{пуск} - I_{ном дв})$  берется для двигателя, у которого она наибольшая.

Для двигателя с фазным ротором, если  $I_{пуск} \leq 3I_{ном}$ , то

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

5) по предельно отключаемому току короткого замыкания

$$I_{пред} \geq I_{к. з.},$$

где  $I_{пред}$  – предельно отключаемый ток короткого замыкания предохранителем;

б) проверка по условиям короткого замыкания

$$I_{к. з.} / I_{ном вст} \geq (3 \dots 4),$$

где  $I_{к. з.}$  – ток короткого замыкания у цепи.

Значения  $I_{к. з.}$  зависят от активного и реактивного сопротивления источника питания (трансформатора) и питающих линий. Обычно расчет выполняется для двухфазного короткого замыкания  $I_{2к. з.}$  (для сети с изолированной нейтралью) и однофазного короткого замыкания  $I_{1к. з.}$  (для сети с глухозаземленной нейтралью).

$$I_{1к. з.} = U_{ном сети} / 1,73Z_{\phi}; \quad I_{2к. з.} = U_{ном сети} / 1,73Z_{\phi 0};$$

$$Z_{\phi} = \sqrt{(\Sigma R_{\phi} + R_T)^2 + (\Sigma X_{\phi} + X_T)^2};$$

$$Z_{\phi 0} = \sqrt{(\Sigma R_{\phi} + R_{\phi 0})^2 + (\Sigma X_{\phi} + X_{\phi 0})^2},$$

где  $R_{\phi}, X_{\phi}$  – активное и индуктивное сопротивление проводников фазы;

$R_{\phi 0}, X_{\phi 0}$  – то же нулевого провода;

$R_T, X_T$  – то же трансформатора.

$$R_{\phi} = bl/S_{\phi}; \quad X_{\phi} = al; \quad R_0 = bl/S_p; \quad X_p = al,$$

где  $l$  – длина участка, км;

$S_{\phi}$  – сечение фазного и нулевого проводов, мм<sup>2</sup>;

$a$  – коэффициент,  $a = 0,07$  – для кабелей;  $a = 0,09$  – для проводов в трубе;  
 $b$  – коэффициент,  $b = 19$  – для медных проводов и кабелей,  $b = 32$  – для алюминиевых проводов и кабелей.

**В цепях управления и сигнализации плавкие вставки** выбираются по соотношению

$$I_{ном\ вст} \geq \sum I_{раб\ max} + 0,1 \sum I_{вкл\ max},$$

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

$\sum I_{вкл\ max}$  – наибольший суммарный ток, потребляемый при включении катушек одновременно включаемых аппаратов.

Необходимо отметить, что плавкие предохранители, выбираемые по вышеуказанным формулам для защиты цепей, осуществляют защиту только от режима короткого замыкания.

Кроме того, как уже отмечалось выше, все последовательно установленные плавкие предохранители должны работать по возможности селективно. Это условие выполняется, если номинальные токи плавких вставок, защищающих соседние участки, различаются между собой не менее, чем на одну ступень [2].

**Выбор быстродействующих предохранителей** для защиты полупроводниковых приборов. Этот выбор осуществляется с учетом полного джоулевого интеграла потерь тиристоров и предохранителей в зависимости от силовой схемы полупроводниковой установки. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [2].

**Автоматические выключатели.** Выбор производится по следующим условиям:

$$1) U_{ном\ авт} \geq U_{сети}; I_{ном\ авт} \geq I_{долг},$$

где  $I_{долг}$  – длительный расчетный ток линии;

$$2) I_{ном\ расц} \geq I_{долг},$$

где  $I_{ном\ расц}$  – номинальный ток теплового расцепителя.

Для двигателей, работающих в длительном режиме работы,  $I_{ном\ расц}$  должен равняться номинальному току. Для режимов работы двигателей, отличных от длительного, эффективная защита не обеспечивается при таком выборе и необходима, например, терморезисторная защита;

$$3) I_{уст\ max\ расц} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{пуск},$$

где  $I_{уст\ max\ расц}$  – ток установки расцепителя защиты от короткого замыкания (электромагнитный расцепитель),

$I_{пуск}$  – пусковой ток двигателя с короткозамкнутым ротором;

4) для асинхронных двигателей с фазным ротором

$$I_{уст \max расц} \geq (2,5 \dots 3) I_{ном \ двиг};$$

5) для группы асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

$$I_{уст \max расц} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{ном \ двиг} \cdot [\Sigma I_{ном \ дв} + (I_{пуск} - I_{ном \ дв})],$$

где  $(I_{пуск} - I_{ном \ дв})$  берется для двигателя самого мощного;

$\Sigma I_{ном \ дв}$  – сумма номинальных токов одновременно работающих двигателей;

6) для группы асинхронных двигателей с фазным ротором

$$I_{уст \max расц} \geq (1,5 \dots 2) I'_{ном \ двиг} + \Sigma I_{ном \ дв},$$

где  $I'_{ном \ двиг}$  – ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Надежность срабатывания автоматов может проверяться как и для предохранителей по расчетному току короткого замыкания. При этом для автоматов с электромагнитным расцепителем должно выполняться условие

$$I_{к. з.} / I_{уст \max расц} \geq (1,25 \dots 1,4).$$

Предельно отключаемый автоматом ток должен быть не менее  $I_{к. з.}$ .

**Тепловые реле** выбираются по номинальному току теплового элемента и номинальному току двигателя.

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

Для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, рекомендуется использовать встроенные блоки защиты с терморезисторами для защиты от перегрузки (устройства встроенной тепловой защиты).

Для двигателей, работающих в кратковременном режиме, тепловая защита не используется, за исключением случаев возможной работы двигателя на упор [2].

Для предотвращения соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими или подвижными частями и исключения попадания в аппараты инородных тел устанавливаются специальные защитные оболочки. Защитные свойства оболочки обозначаются буквами IP и двумя цифрами. Первая цифра обозначает степень защиты от прикосновения персонала к опасным деталям аппарата, вторая характеризует защиту от попадания внутрь аппарата инородных предметов и жидкостей.

IP00. Открытое исполнение. Защита персонала от соприкосновения с токоведущими или подвижными частями отсутствует. Инородные тела могут попадать внутрь аппарата.

IP20. Защитное исполнение. Оболочка таких аппаратов предохраняет от случайного соприкосновения к токоведущим или подвижным частям или от проникновения внутрь аппарата посторонних предметов.

IP50. Оболочка аппарата защищает от вредного воздействия пыли (допускается попадание внутрь пыли в количестве, не нарушающем нормальной работы).

IP60. Пылезащитное исполнение. Оболочка полностью препятствует попаданию пыли.

IP65. Пылеводозащищенное исполнение.

IP67. Герметичное исполнение. Оболочка обеспечивает полную герметичность аппарата.

В условиях эксплуатации также регламентируются действующими стандартами воздействия механических и климатических факторов на электрические аппараты [1]. К климатическим факторам относят температуру, влажность, давление (высота над уровнем моря), дождь, ветер, пыль, действие плесневых грибков, содержание коррозионно-активных агентов и т. д. В технической документации на аппарат всегда оговариваются значения климатических факторов, в пределах которых обеспечивается нормальная эксплуатация изделий (таблица 2).

Таблица 2 – Климатические исполнения электрических аппаратов

Исполнение для макроклиматических районов	Обозначение исполнения аппарата		
	буквенное		цифровое
	Русские буквы	Латинские буквы	
С умеренным климатом	У	(N)	0
С умеренным и холодным климатом	УХЛ	(NF)	1
С влажным тропическим климатом	ТВ	(TH)	2
С сухим тропическим климатом	ТС	(TA)	3
Общеклиматическое исполнение, кроме районов с очень холодным климатом	О	(U)	5

В зависимости от места размещения в условиях эксплуатации аппараты делятся на категории (таблица 3).

Таблица 3 – Исполнение аппаратов в зависимости от категории размещения

Категория размещения	Обозначение исполнения аппарата
На открытом воздухе	1
Под навесом или в помещениях, где имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха	2
В закрытых помещениях с естественной вентиляцией	3
В помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями	4
В помещениях с повышенной влажностью	5

На работу аппаратов оказывает влияние и атмосферное давление (определяет прочность внешней электрической изоляции и охлаждение электрических аппаратов).

Таким образом, при выборе электрических аппаратов и их заказе обязательно указываются исполнение, категория размещения и предельная высота места над уровнем моря. (Большинство аппаратов изготавливается для работы на нормальной высоте до 1000 м над уровнем моря [1, 2]).

## 5 Технические данные основных серий электрических аппаратов

### 5.1 Магнитные пускатели серии ПМЛ

Технические данные представлены в таблицах 4–7.

Таблица 4 – Основные технические данные ПМЛ

Величина пускателя	Ток номинальный, А	Ток контактов главной цепи (режим АС3) при напряжении					
		380 В		500 В		660 В	
		Исполнение по степени защищенности					
		IP00	IP54	IP00	IP54	IP00	IP54
1	10	10	10	6	6	4	4
2	25	25	25	25	25	16	16
3	40	40	40	40	40	25	25
4	63	63	63	63	63	40	40
5	80	80	80	80	80	50	50
6	125	125	100	125	100	60	60
7	200	200	160	200	160	120	120

Таблица 5 – Потребляемая мощность катушки пускателя

Величина пускателя	Потребляемая мощность при $f = 50 \dots 60$ Гц	
	при включении, В·А	при удержании, В·А
1	84	9,5
2	115	9,5
3	235/275	25/31
4	235/275	25/31
5	380/455	36/45
6	510/600	46/58
7	800/996	57/75



Таблица 6 – Время срабатывания пускателей серии ПМЛ

Величина пускателя	1	2	3	4	5	6	7
Время замыкания, мс	18	22	19	19	63	55	42
Время размыкания, мс	10	11	11	11	15	15	15

Таблица 7 – Контактные приставки пускателей серии ПКЛ

Тип контактных приставок	Количество контактов	
	замыкающих	размыкающих
ПКЛ-2004	2	0
ПКЛ-1104	1	1
ПКЛ-4004	4	0
ПКЛ-2204	2	2
ПКЛ-0404	0	4

Номинальное напряжение втягивающих катушек: 24, 36, 42, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 500, 660 В при частоте 50 Гц и 110, 220, 380, 440 В при частоте 60 Гц.

Номинальный ток контактов вспомогательной цепи – 10 А.

Номинальное напряжение по изоляции – 660 В.

## 5.2 Тепловые реле серии РТЛ и ТРН

Основные технические данные реле серии РТЛ представлены в таблице 8.

Номинальный рабочий ток защищаемого электродвигателя не должен превышать максимальный ток несрабатывания реле, выбранного по таблице 8.

Термическая стойкость главной цепи реле при 18-кратном номинальном токе составляет 0,5 с, для реле РТЛ-1016, 1021, 1022, РТЛ-2000 и РТЛ-3000 1 с.

Для защиты реле от токов короткого замыкания рекомендуется применять предохранители или автоматические выключатели.

Тепловые реле двухполюсные ТРН предназначены для применения в электрических цепях переменного тока с напряжением до 660 В (ТРН-10 А до 500 В) частоты 50 и 60 Гц и в цепях постоянного тока с напряжением до 440 В. Время срабатывания при  $I = 1,2I_{ном}$  – в течение 20 мин. При других токовых нагрузках время срабатывания – в соответствии с времятоковыми характеристиками. Термическая стойкость реле при  $I = 18I_{ном}$  на номинальные токи до 10 А – 0,5 с, а на токи до 25 А – 1 с.

Номинальные токи (ток несрабатывания) реле ТРН-10А: 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5 и 3,2 А.

Номинальные токи реле ТРН-25 А: 5; 6; 3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20 и 25 А.

Таблица 8 – Основные технические данные реле РТЛ

Тип реле	Предел регулировки номинального тока несрабатывания, А	Номинальное напряжение, В	Мощность, потребляемая одним полюсом реле, Вт, не более	Мощность электродвигателя, при частоте 50 и 60 Гц, кВт				
				Напряжение, В				
				220	380	440	500	660
РТЛ-1001	0,1...0,17	660	2,2	–	–	–	–	–
РТЛ-1002	0,16...0,26		2,3	–	–	–	–	–
РТЛ-1003	0,24...0,4		2,4	–	–	–	–	–
РТЛ-1004	0,38...0,65		2,6	–	–	–	–	0,37
РТЛ-1005	0,61...1,0		2,7	–	–	–	0,37	0,75
РТЛ-1006	0,95...1,6		2,8	–	0,37	–	0,75	1,1
РТЛ-1007	1,5...2,6		2,9	0,37	0,75	0,75	1,1	1,5
РТЛ-1008	2,4...4		3,0	0,75	1,5	1,5	2	3
РТЛ-1010	3,8...6		3,1	1,1	2,2	2,2	3	4
РТЛ-1012	5,5...8		3,2	1,8	3	3	4	5,5
РТЛ-1014	7...10		3,3	2,2	4	3,7	5,5	7,5
РТЛ-1016	9,5...14		3,4	3	5,5	5,5	7,5	10
РТЛ-1021	13...19		3,5	4	7,5	7,5	10	15
РТЛ-1022	18...25		3,6	5,5	11	11	15	18,5
РТЛ-2053	23...32		4,7	7,5	15	15	18,5	22
РТЛ-2055	30...41		5,2	10	18,5	18,5	22	30
РТЛ-2057	38...52		5,8	11	22	25	30	37
РТЛ-2059	47...64		6,3	15	25	30	37	45
РТЛ-2061	54...74		6,9	18,5	30	37	45	55
РТЛ-2063	63...86		7,4	22	37	45	50	75
РТЛ-3005	75...105		7,8	30	55	59	75	90
РТЛ-3025	90...125		8,5	33	63	75	80	110
РТЛ-3060	115...160		11,6	45	80	90	110	150
РТЛ-3000	145...200		16	55	100	125	132	185

### 5.3 Автоматические выключатели серии АЗ700, ВА47, АЕ2000

Автоматы АЗ700 предназначены для использования в цепях с номинальным напряжением до 440 В постоянного тока, до 660 В переменного тока частотой 50 Гц и до 380 В переменного тока частотой 400 Гц.

Серия АЗ700 состоит из четырех величин (1, 2, 3, 4) на номинальные токи 160, 250, 400 и 630 А.

Выключатели допускают нечастые пуски короткозамкнутых асинхронных двигателей. Выключатели выполняются с максимальной токовой защитой в зонах перегрузки и короткого замыкания. Расцепители токовой защиты выполнены на полупроводниковых и электромагнитных элементах. Автоматы выпускаются в двух основных исполнениях: для селективной защиты (с полупроводниковыми расцепителями) и токоограничивающие. Последние находят наибольшее применение. Основные технические данные токоограничивающих автоматов приведены в таблице 9. Более подробно основные технические данные автоматов АЗ700 представлены в [5]. Габаритные размеры – в зависимости от исполнения.

Таблица 9 – Выключатели токоограничивающие с тепловыми и электромагнитными максимальными расцепителями тока

Величина выключателя	Номинальный ток, А		Число полюсов, шт.	Род тока	Напряжение, В, не более	Частота, Гц	Тип выключателя	Параметры электромагнитного расцепителя		
	выключателя и электромагнитного расцепителя	теплого расцепителя						Номинальная уставка по току, А	Допустимое отклонение уставки по току, А	
1	160	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	2	Постоянный	440		А3715БУЗ	600	±90	
		32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160						960	±140	
	250	160, 200, 250						А3725БУЗ	1520	±220
	400	250, 320, 400						А3735БУЗ	2400	±360
4	630	400, 500, 630				А3735БУЗ	3800	±570		
1		16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	2	Переменный	660	50 и 60	А3715БУЗ	630	±125	
			3							А3716БУЗ
		32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	2				А3715БУЗ	1600	±320	
			3				А3716БУЗ			
		16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	2		380	400	А3715БУЗ	630	±125	
			3				А3716БУЗ			
		32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	2		660		А3715БУЗ	1600	±320	
			3				А3716БУЗ			
2	250	160, 200, 250	2	Переменный	660		А3725БУЗ	2500	±370	
			3							
170	170	2	380				400	А3726БУЗ	2000	±400
		3								
3	400	250, 320, 400	2		660	50 и 60	А3735БУЗ	4000	±600	
			3				А3736БУЗ			
4	630	400, 500, 630	2		660	50 и 60	А3745БУЗ	6300	±940	
			3				А3746БУЗ			

Примечание – Двухполюсные и трехполюсные выключатели исполняются в одном габарите.

#### 5.4 Автоматические выключатели серии АЕ2000

Предназначены для использования в цепях с номинальным напряжением до 660 В (50 и 60 Гц) переменного тока и 220 В постоянного тока.

Серия АЕ2000 состоит из четырех величин (2, 3, 4, 5) на номинальные токи 16, 25, 63 и 100 А.

Выключатели допускают нечастые пуски короткозамкнутых асинхронных двигателей и имеют защиту от токов короткого замыкания и от токов перегрузки. Количество расцепителей электромагнитных и тепловых – в зависимости от исполнения. Максимальное число – три тепловых и три электромагнитных, есть контактный блок. Количество и исполнение контактов – в зависимости от исполнения автомата. Наибольшее количество контактов – один размыкающий и один замыкающий. Ток отсечки для автоматов переменного и постоянного токов равен  $12I_{ном}$ . Предел регулирования  $I_{уст}$  теплового расцепителя –  $0...1,15(I_{ном})$ . Предельно отключаемый ток (в зависимости от исполнения) в цепях переменного тока – до 12,5 кА, а в цепях постоянного тока – до 25 кА.

Для автоматов второй величины (АЕ2020) –  $I_{ном авт}$  от 0,3 до 16 А.

Для автоматов третьей величины (АЕ2030) –  $I_{ном авт}$  от 0,6 до 25 А.

Для автоматов четвертой величины (АЕ2040) –  $I_{ном авт}$  от 10 до 63 А.

Для автоматов пятой величины (АЕ2050) –  $I_{ном авт}$  от 16 до 100 А.

Габаритные размеры – в зависимости от исполнения.

#### 5.5 Автоматические выключатели серии ВА47

Предназначены для использования в цепях управления двигателями, а также в бытовых электрических сетях.

Технические характеристики автоматов приведены в таблице 10.

#### 5.6 Предохранители серии ПРС-6 и ПР-2

Предохранители ПРС-6 с плавкими вставками серии ПВД (Ш) предназначены для защиты промышленных установок и сетей с напряжением до 380 В переменного тока и 440 В постоянного тока.

Номинальный ток основания (патрона) – 6 А.

Номинальный ток плавких вставок – от 1 до 6 А.

Номинальный ток основания – 25 А (номинальные токи вставок – от 4 до 25 А).

Номинальный ток основания – 63 А (номинальные токи вставок – от 20 до 63 А).

Номинальный ток основания – 100 А (номинальные токи вставок – 40, 63, 80 и 100 А).

Таблица 10 – Технические характеристики автоматов ВА47

Номинальный ток, А	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63
Номинальное рабочее напряжение, В	230 / 400
Номинальная частота, Гц	50 Гц
Электрическая износостойкость операций переключения, не менее	4000
Механическая износостойкость операций переключения, не менее	10000
Количество полюсов	1, 2, 3, 4
Коммутационная способность, А	4500
Степень защиты	IP20
Масса, г	96
Диапазон рабочих температур, °С	-5...+40
Максимальное сечение провода, присоединяемого к клеммам, мм <sup>2</sup>	25
Характеристики теплового расцепителя	При $I = 1,13 I_{ном} t \geq 1$ ч – без расцепления. При $I = 1,45 I_{ном} t < 1$ ч – расцепление. При $I = 2,55 I_{ном} 1 с < t < 60 с, 1 с < t < 120 с$

Предохранители ПР-2 предназначены для защиты электрооборудования в цепях с напряжением до 500 В (при частоте 50 и 60 Гц) и до 440 В постоянного тока.

Номинальный ток патрона – 15 А (номинальные токи плавких вставок 6, 10 и 15 А).

Номинальный ток патрона – 60 А (15, 20, 25, 35, 45 и 60 А).

Номинальный ток патрона – 100 А (60, 80 и 100 А).

Номинальный ток патрона – 200 А (100, 125, 160 и 200 А).

Номинальный ток патрона – 350 А (200, 225, 260, 300 и 350 А).

### 5.7 Реле промежуточные серии РПЛ

Исполнение контактов РПЛ представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Исполнение контактов РПЛ

Тип реле	Количество контактов	
	замыкающих	размыкающих
РПЛ-40	4	0
РПЛ-22	2	2
РПЛ-31	3	1

Номинальный ток контактов реле – 10 А.

Катушка реле рассчитана на номинальные напряжения 24, 36, 42, 48, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500 и 660 В при частоте 50 Гц, 110, 220, 380 и 440 В при частоте 60 Гц. Величина потребляемой мощности катушки реле во

включенном состоянии – не более 9 В·А. Среднее время срабатывания при включении – 16 м/с, при отключении – 10 м/с. Частота включений – до 1200 включений в час при продолжительности включения 40 %.

Реле комплектуется контактными приставками серии ПКЛ и пневматическими приставками типа ПВЛ (рисунок 3), обеспечивающими выдержки времени от 0,1 до 180 с. Номинальный ток контактов приставок – 10 А. Механическая износостойкость реле и приставок контактных – не менее  $10 \cdot 10^6$  циклов.

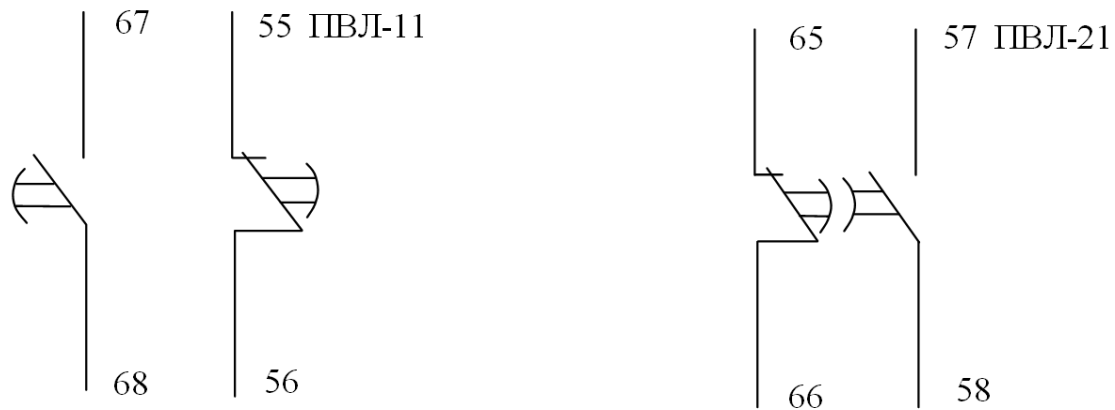


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная для пневмоприставок ПВЛ-11, ПВЛ-12, ПВЛ-21, ПВЛ-22

### 5.8 Реле промежуточные серии РП-21

Катушка реле РП-21 рассчитана на номинальные напряжения по постоянному току 6, 12, 24, 27, 48, 60 и 100 В и по переменному току (50 Гц) 12, 24, 36, 110, 127, 220, 240 В (50 Гц) и 12, 24, 36, 110, 220, 230, 240 В.

Номинальные напряжения цепи контактов – от 12 до 220 В при постоянном токе и от 12 до 380 В при переменном токе.

Ток, коммутируемый контактами до 6 А в цепях переменного тока и до 5 А в цепях постоянного тока, зависит от напряжения цепи и режима работы.

Число контактов до четырех – в зависимости от исполнения в цепи четыре контакта. Возможны исполнения с четырьмя замыкающими и четырьмя размыкающими, двумя замыкающими и двумя размыкающими контактами. Механическая износостойкость – не менее  $16 \cdot 10^6$  циклов. Потребляемая мощность в длительном режиме при  $U_{ном}$ : для реле переменного тока с четырьмя контактами – 3,5 В·А; с тремя контактами – 3 В·А; для реле постоянного тока с четырьмя контактами – 2,5 Вт.

### 5.9 Реле времени серии РВП72

Катушка реле рассчитана на переменное напряжение 36, 110, 127, 220, 380, 400, 440, 500 В.

Ток, коммутируемый контактами, – до 10 А.

Диапазон регулируемой выдержки времени – от 0,4 до 180 с.

Мощность, потребляемая катушкой, – 40 В·А. Количество и исполнение контактов – в зависимости от исполнения реле.

### **5.10 Выключатели кнопочные серии КМЕ и КЕ**

Выключатели кнопочные серии КМЕ и серии КЕ предназначены для коммутации электрических цепей управлений переменного тока до 660 В (50 и 60 Гц) и постоянного тока до 440 В (таблицы 12 и 13).

Таблица 12 – Выключатели серии КМЕ

Напряжение и ток, коммутируемые контактами	Параметры нагрузки			
	Переменное напряжение, В	660	380	22
Переменный ток, А	0,6	1,5	3А	4
Постоянное напряжение, В	440	220	110	24
Постоянный ток, А	0,06	0,12	0,3	1,6

Таблица 13 – Выключатели серии КЕ

Напряжение и ток, коммутируемые контактами	Параметры нагрузки			
	Переменное напряжение, В	660	380	220
Переменный ток, А	1	2,5	4	6
Постоянное напряжение, В	440	220	110	48
Постоянный ток, А	0,1	0,3	0,6	1,6

Механическая износостойкость – до  $10^7$  циклов.

Коммутационная износостойкость – до  $10^6$  циклов.

Режим работы – продолжительный, повторно-кратковременный, кратковременный. Форма и цвет кнопочного толкателя – в зависимости от исполнения.

### **5.11 Путьевые выключатели серии БВК**

Переключатели бесконтактные путьевые БВК предназначены для контроля положения механизма или отдельных его узлов в станках, автоматических линиях.

Основные технические характеристики следующие.

Номинальное напряжение – 24 В.

Максимальный ток в цепи катушки – 120 мА.

Частота срабатывания – 200 Гц.

Потребляемая мощность – 0,5 Вт.

Сопротивление обмотки реле нагрузки – 220 Ом, не менее.

Дифференциал хода (в зависимости от исполнения) – от 3 до 2,5 мм.

### 5.12 Контактторы серии МК

Контактторы электромагнитные серии МК применяются в силовых электрических цепях и цепях управления постоянного и переменного тока общепромышленных механизмов с напряжениями до 440 В (постоянный ток) и 660 В (переменный ток).

Серия контактора МК состоит из четырех величин. 1, 2, 3, 4 – на номинальные токи 40, 63, 100, 160 А соответственно. Номинальные напряжения втягивающих катушек постоянного тока – 24, 27, 48, 50, 75, 110 и 220 В.

Мощность, потребляемая втягивающей катушкой, – 60 Вт, не более.

Режим работы кратковременный, повторно-кратковременный, длительный. Механическая износостойкость равна  $16 \cdot 10^6$ . Коммутационная износостойкость –  $2,5 \cdot 10^6$  циклов. Номинальный цикл контактов (блок-контактов) равен 10 А. Собственное время срабатывания при включении – 0,08 с, при отключении – 0,07 с.

Число контактов замыкающих – до трех, четырех; размыкающих – до двух (в зависимости от исполнения). Количество блок-контактов замыкающих – до трех, размыкающих – два. Возможно исполнение с бездуговой коммутацией.

### 5.13 Тиристорные пускатели для цепей переменного тока

Тиристорный пускатель SIKOSTART 3RW22 (Германия) предназначен для управляемого (за счет регулирования действующего значения напряжения питания) пуска, торможения (динамическое торможение), а также экономии энергии асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Имеет компьютерный интерфейс.

Основные данные пускателей на мощность двигателя до 50,0 кВт приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики пускателей

Исполнение пускателя	Мощность, кВт	Номинальный рабочий ток, А
3RW2221-1AA05	3	7
3RW2223-1AA05	4	10,5
3RW2225-1AA05	11	22
3RW2226-1AA05	15	28
3RW2227-1AA05	18,5	35
3RW2228-1AA05	22	45
3RW2230-1AA05	25	50
3RW2231-1AA05	37	70

Типовые варианты включения тиристорного пускателя 3RW22 показаны на рисунках А.1–А.3, габаритные размеры – на рисунке А.4.



## Список литературы

- 1 Электрические и электронные аппараты: учебник / Под ред. Ю. К. Розанова. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 745 с.
- 2 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты / А. А. Чунихин. – Москва : Энергоатомиздат, 2017. – 681 с.
- 3 **Дубровский, А. Х.** Устройство электрической части систем автоматизации / А. Х. Дубровский. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 271 с.
- 4 **Клюев, А. С.** Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский. – Москва : Энергия, 1980. – 512 с.
- 5 **Горобец, А. С.** Автоматические выключатели серии АЗ700 / А. С. Горобец, И. Х. Евзеров. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 72 с.
- 6 **Вораксо, Л. С.** Основы проектирования оборудования станков / Л. С. Вораксо, А. С. Родионов. – Москва : Машиностроение, 1984. – 215 с.
- 7 **Игловский, И. Г.** Справочник по электрическим реле / И. Г. Игловский, Г. В. Владимиров. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 559 с.
- 8 **Марголин, Ш. М.** Функциональные узлы схем автоматического управления / Ш. М. Марголин, А. С. Гуров. – Москва : Энергоиздат, 1983. – 165 с.

## Приложение А (справочное)

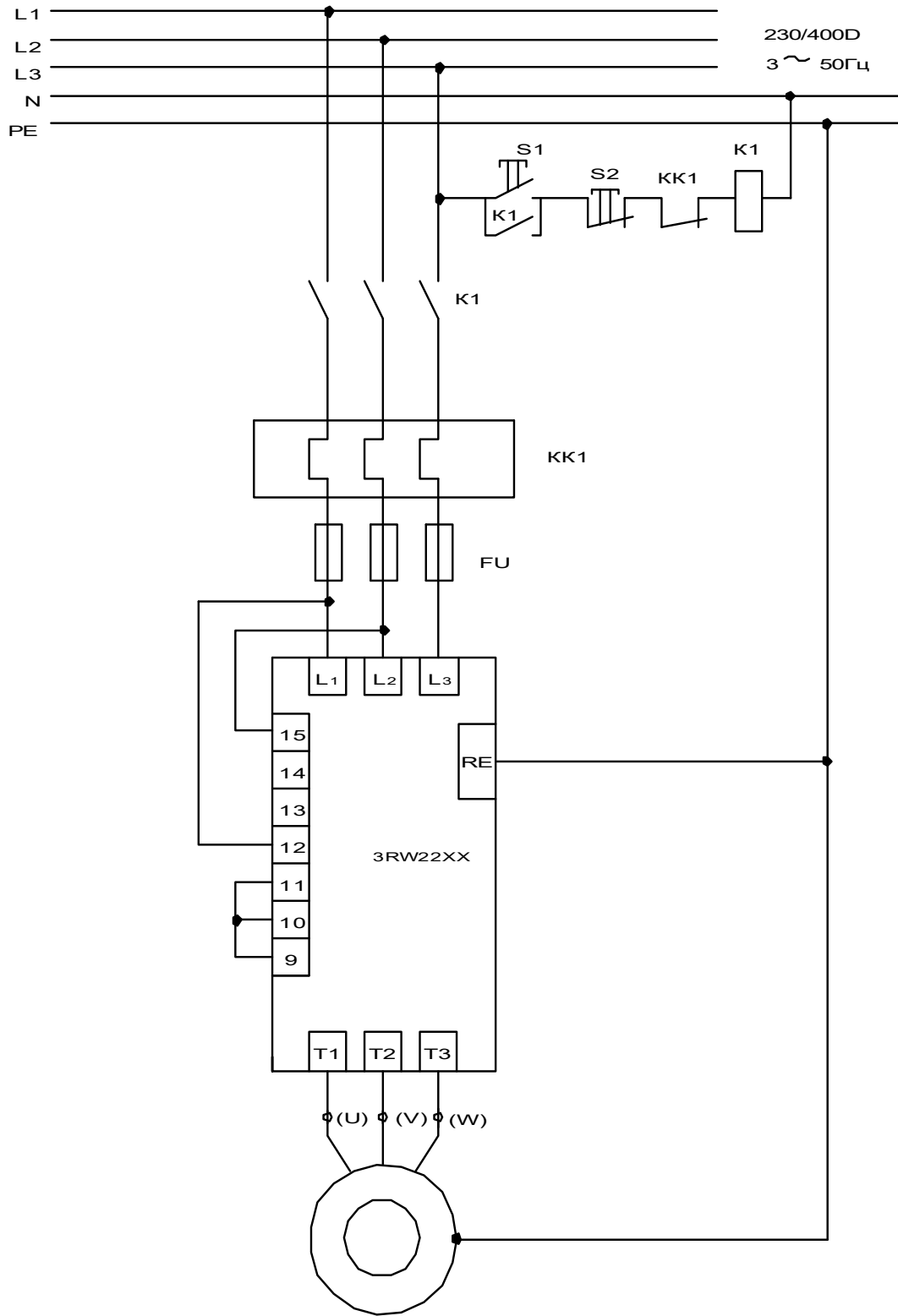


Рисунок А.1 – Неуправляемый пуск асинхронного двигателя

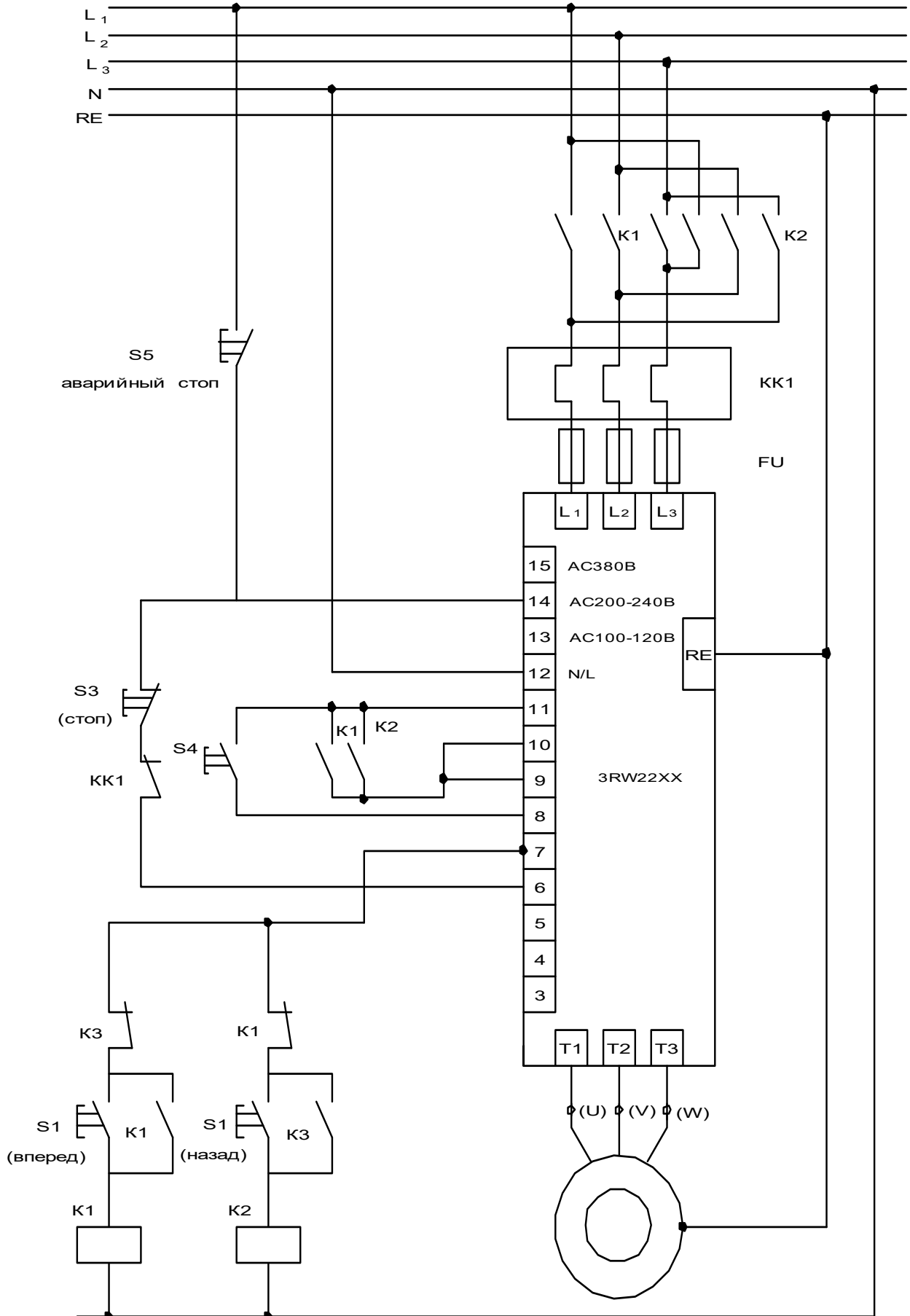


Рисунок А.2 – Плавный пуск «вперед» или «назад»

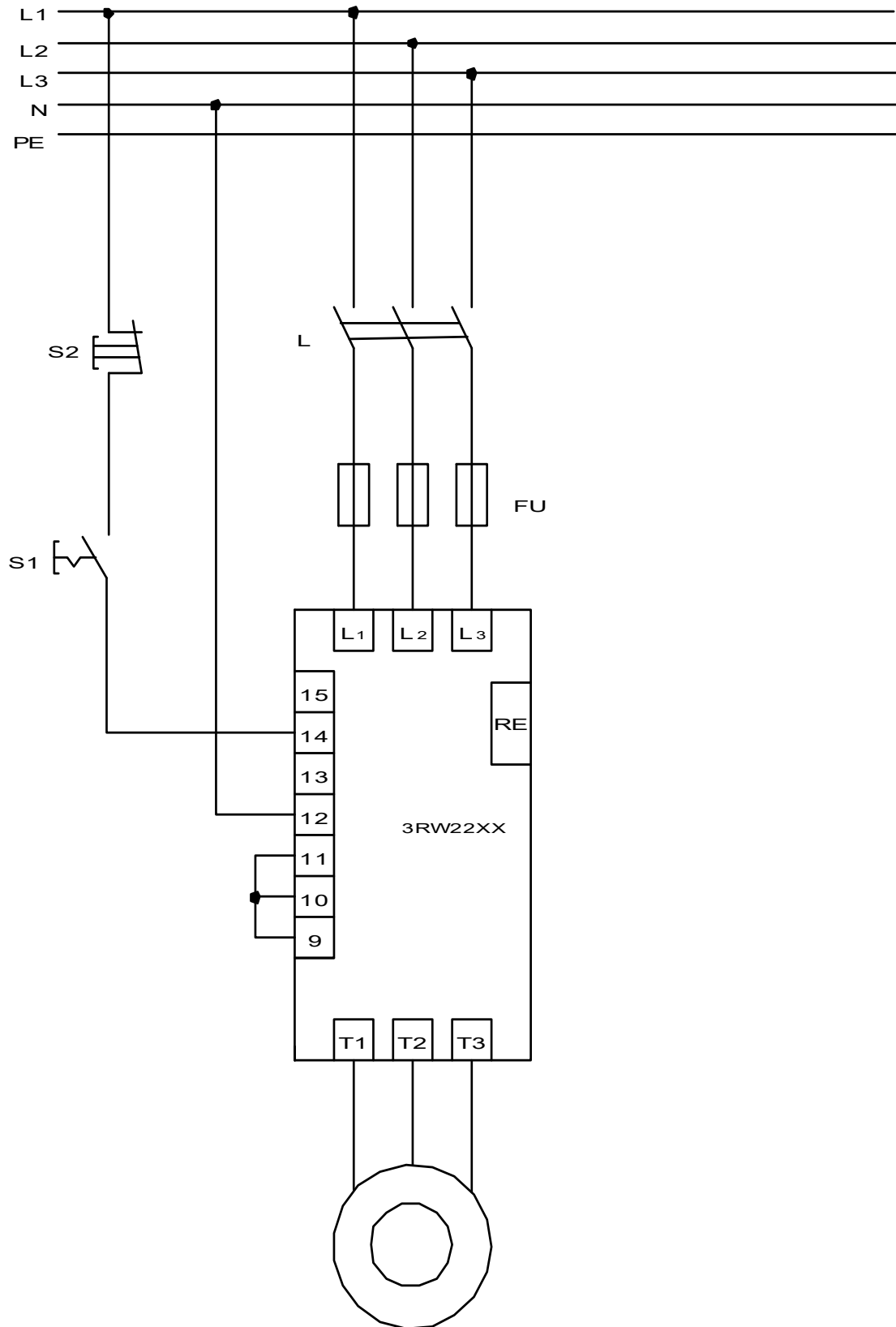


Рисунок А.3 – Использование в качестве пускателя для пуска асинхронного двигателя

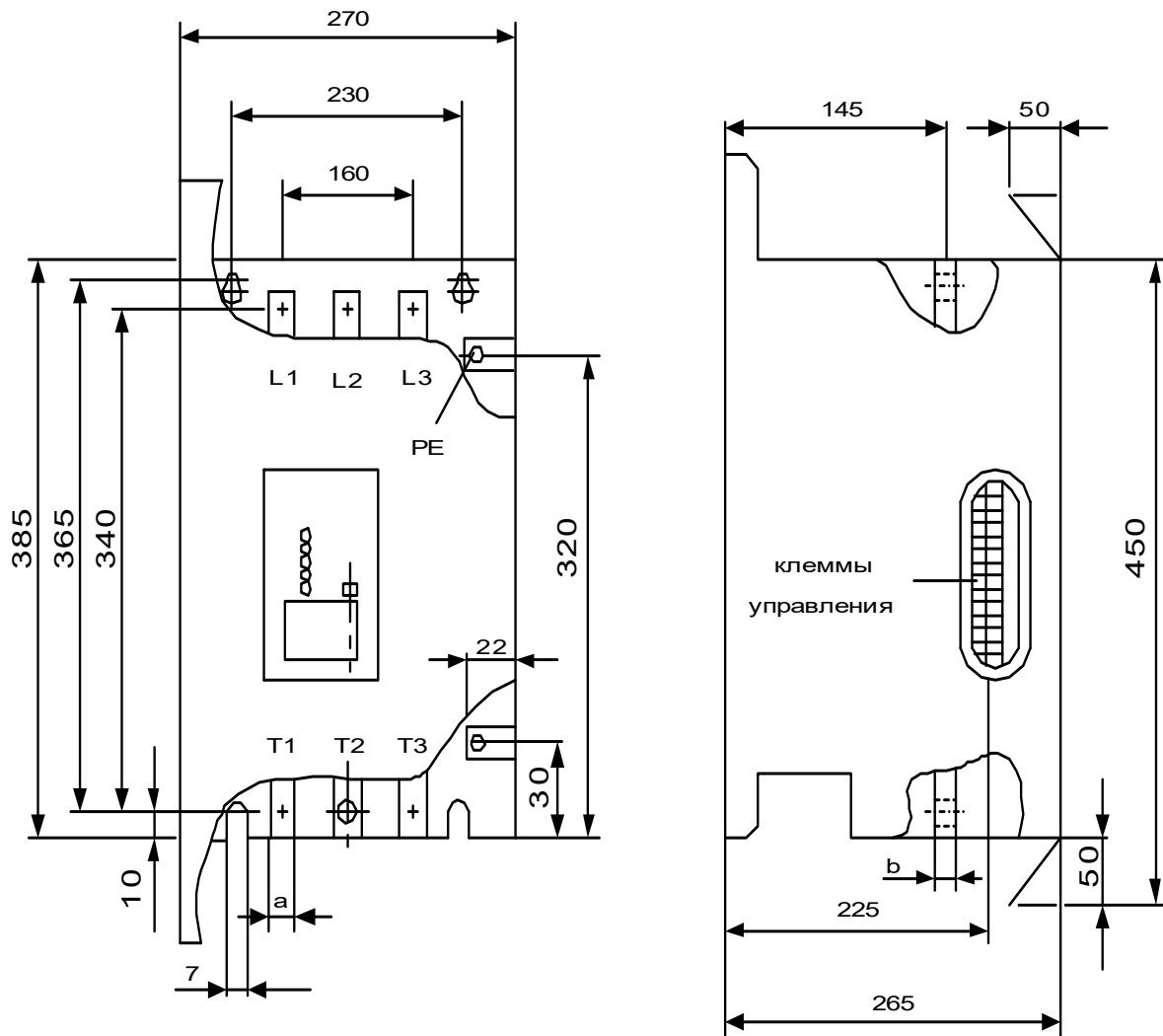


Рисунок А.4 – Габаритные размеры 3RW22