

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**Невинномысский технологический институт (филиал)**

Методические указания по выполнению курсового проекта по  
дисциплине «Электрические и электронные аппараты»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Профиль подготовки – Электропривод и автоматика  
Квалификация выпускника – бакалавр

Невинномысск 2021

Методические указания предназначены для выполнения курсового проекта по дисциплине «Электрические и электронные аппараты» для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и соответствуют требованиям ФГОС ВО направления подготовки бакалавров.

Составитель: доцент кафедры ИСЭА Д.В.Самойленко

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПОНЯТИЯ	4
2 ВИДЫ И ТИПЫ СХЕМ	5
3 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ	6
4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ПРАВИЛА ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ	11
4.1 Структурная схема	11
4.2 Функциональная схема	12
4.3 Принципиальная схема	14
4.4 Эквивалентная схема	38
4.5 Схемы соединений	39
4.6 Схема подключений	45
4.7 Общая схема	45
4.8 Схема расположения	46
5 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СХЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ	48
6 ЗАДАНИЕ	50
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	53

## 1 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПОНЯТИЯ

В электрических схемах и ГОСТе используются следующие термины и понятия.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая имеет самостоятельное графическое обозначение, выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение.

Устройство – совокупность элементов, представляющая собой единую конструкцию. Устройство может не иметь в схеме строго определенного функционального назначения.

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не представляющих собой единой конструкции.

Функциональная часть – элемент, оборудование, функциональная группа или устройство, имеющее в изделии строго определенное функциональное назначение.

Изделие – совокупность устройств, представляющая собой отдельную законченную конструкцию, имеющую свою схему соединений (панель управления, пульт и т. п.). Объект – условное наименование изделия, устройства, установки, сооружения, применяемое в качестве общего понятия.

Линия связи – линия, являющаяся графическим символом связи между элементами.

Функциональная цепь – линии, канал, тракт определенного назначения.

Электрическая схема – графический конструкторский документ, на котором при помощи графических обозначений изображены составные части объекта и связи между ними. На некоторых типах схем связи могут быть и не изображены.

## 2 ВИДЫ И ТИПЫ СХЕМ

Автоматизированный электропривод, представляющий собой электромеханическую систему, включающую в себя комплекс связанных между собой электротехнических и механических (кинематических) устройств, изображается на чертежах в виде схем. Согласно ГОСТ 2.701.84 [1, 2] схемы бывают различных видов и типов.

В зависимости от используемых устройств схемы разделяются на следующие виды, обозначаемые русскими буквами: электрическая – Э, кинематическая – К, гидравлическая – Г, пневматическая – П, оптическая – Л и др.

Электрические схемы показывают соединения электротехнических устройств, связанных между собой электрическими связями, к которым относятся электрические машины, аппараты, трансформаторы, реакторы, выключатели, датчики и другие устройства, преобразующие, передающие и потребляющие электрическую энергию.

Кинематические схемы показывают соединение механических элементов, таких как вал двигателя, вал тахогенератора, передачи (редукторы, коробки скоростей) и рабочего оборудования технологической установки, связанных между собой механическими связями. Обычно в сложных промышленных установках имеются различные устройства и взаимосвязанные электрические, гидравлические, пневматические приводы. Это обуславливает наличие комбинированных и совмещенных схем, включающих различные устройства, элементы и связи между ними. В настоящем методическом указании, посвященном электрическим и электронным аппаратам, гидравлические, пневматические, оптические, вакуумные и газовые устройства и их связи не рассматриваются.

### 3 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Электротехнические устройства состоят из отдельных элементов. Например, электрическая машина состоит из индуктора или статора с обмоткой возбуждения и якоря или ротора со своей обмоткой; контакторы и реле – из катушек и контактов.

В электрических схемах электротехнические устройства и их элементы изображаются условными графическими обозначениями, регламентируемыми Государственным стандартом по Единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Позиционные обозначения по ГОСТ 2.710–81 приведены в таблице 3.1.

Размеры условных графических обозначений определяются ГОСТ 2.747–68. Их разрешается увеличивать с целью выделения отдельного элемента или размещения внутри него требуемой информации и уменьшать для повышения компактности схем.

Допускается в конце обозначения указывать функциональное назначение элемента, если оно не ясно из двухбуквенного кода. При этом каждая буква латинского алфавита соответствует функциональному коду элемента или устройства, в частности: F – защитный, H – сигнальный, M – главный, V – скорость, ускорение, торможение и т. д. Например, обозначение SQ1F расшифровывается «конечный выключатель первый, защитный».

Если в рекомендациях отсутствуют необходимые двухбуквенные обозначения, можно на основе однобуквенного кода прибавлением второй буквы латинского алфавита сформировать новое обозначение, смысл которого следует объяснить на поле схемы. Однако предпочтительнее воспользоваться однобуквенным кодом.

До введения ГОСТ 2.710–81 существовали буквенно-цифровые функциональные обозначения, которые отражают функцию элемента. Они обозначались прописными буквами русского алфавита и приведены в таблице 3.1. Такие обозначения наглядны и легко

запоминаются, что важно в учебном процессе. Узлы схем электроприводов постоянного и переменного тока и их полные схемы выполнены с позиционными обозначениями согласно ГОСТ 2.710–81.

Таблица 3.1 – Буквенные коды электрических элементов и их устройств

Позиционное обозначение по ГОСТ 2.710–81		Функциональное обозначение Буквы русские	Вид элемента (устройства)
Однобуквенный код (обязательный)	Двухбуквенный код		
1	2	3	4
А	AD, AJ AP AA, AR, AQ	У ПУ, ОУ  РТ, РС, РП	Устройство (общее обозначение), усилитель, регулятор Усилители: полупроводниковый и операционный Панель (плата) монтажная Регуляторы тока, скорости и положения
В	BE, BC  BQ, BR	СП, СД  ДП, ТГ	Преобразователи (датчики) неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) и наоборот Резольвер (сельсин, поворотный трансформатор) — приемник и датчик Датчики: положения (например, индуктосин бесконтактный) и частоты вращения (тахогенератор)
С			Конденсаторы
Д	DA, DD		Элементы логические, интегральные Аналоговые и цифровые микросхемы, логически алименты
Ф	FA FP	РМ РТ	Элементы и устройства защитные Максимально–токовое реле (элемент мгновенного действия) Тепловое реле (элемент инерционного действия)

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
	FV FU	РН Пр	Элемент релейный для защиты по напряжению (реле минимального напряжения) Предохранитель плавкий
G	GB	Г Б	Генераторы, источники питания Батарея питания (аккумуляторная) и питающее устройство
Н	НА, НЛ	Зв, ЛС	Устройства индикаторные и сигнальные Приборы звуковой и световой сигнализации
К	КА, КV, КТ КС KF KM	РТ, РН. РС РС РОП(РНТ) РВ, РН (В, Н) РУ(У), РБ(Б) РТ(Т), РД(Д), РП(П) РУП(УП). РФ(Ф)	Реле, контакторы, пускатели Реле тока, напряжения и скорости  Реле счетное Реле обрыва поля (нулевого тока) Контактор, магнитный пускатель Реле (контакторы) направления: вперед, назад, вверх, вниз Реле (контакторы) ускорения и блокировочные Реле (контакторы) торможения, механического, динамического и противовключеиня Реле (контакторы) управления полем и форсировки
L			Индуктивности (катушка индуктивности, реактор)
М		Д	Электрические двигатели
Р	РА, РV, РW РС, РF	А, V, W СИ, Hz	Приборы и устройства измерительные и испытательные указывающие, регистрирующие и дифференцирующие Амперметр, вольтметр, ваттметр  Счетчик импульсов и частотомер
Q	QF, QM	ВА, В	Устройства механические сильноточные, коммутирующие, выключатели разъединители в силовых цепях Выключатель автоматический и силовой

## Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
	QS	P	Разъединитель Резисторы
R	RP, RS RK, RT, RU	Ry, Rt, Rd, Rp, Rф, Rz П, Ш	Ускорения, торможения (механического, динамического, противовключения), форсировки и экономический Потенциометр, шунт измерительный Терморезистор, термистор, варистор
S	SA, SF SB, SQ SM	B, BA Кн, ВК, ВП КК	Устройства коммутационные для цепей управления, контроля, сигнализации и измерительных Выключатель (переключатель) простой и автоматический цепей управления Выключатель кнопочный, конечный и путевой Командоконтроллер ключ управления
T	TA, TV TM, TC TR	Tr ТТ, ТН ТС, ТУ АТ	Трансформаторы Трансформаторы тока и напряжения Трансформаторы силовой и цепей управления Автотрансформатор
U	UA, UV UZ	ДТ, ДН ПЧ	Преобразователи электрических величин в электрические (датчики) Преобразователи (датчики) тока, напряжения Преобразователь частоты (выпрямитель, инвертор)
V	VD VM, VC VS, VT	Д Вп Т	Приборы электровакуумные, полупроводниковые Диод, стабилитрон Выпрямитель силовой и цепей управления Тиристор, транзистор
W			Линии электропередач, кабели, шины, антенны
X	XP, XS	Ш	Контактные устройства соединительные, элементы выводов, разъемы Вилка (штырь) и розетка (гнездо) штепсельные

## Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
	ХТ	Кл	Набор зажимов, разъемные соединения
У	УА УВ, УС	Эм ЭмТ, ЭмМ	Устройства механические с электрическими приводами Электромагнит Тормоз и муфта с электромагнитным приводом
З			Устройства оконечные, дифференциальные трансформаторы, фильтры, ограничители

## 4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ПРАВИЛА ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

### 4.1 Структурная схема

Структурная схема определяет основные функциональные части электропривода (элементы, устройства и функциональные группы), в которые объединяются отдельные электротехнические устройства, их назначение и взаимосвязи. Она разрабатывается на стадии проектирования и используется для общего ознакомления с электроприводом. Функциональные части изображаются в виде прямоугольников или условных графических обозначений, соединенных линиями связей, определяющих их взаимосвязь. На линиях связей стрелками отмечаются направления сигналов управления, обратных связей и параметров электропривода. Наименования функциональных частей указываются внутри и вне обозначения. На рисунке 4.1 для примера приведена структурная схема электропривода, где ИП(G) – источник питания, в качестве которого в большинстве случаев используется электрическая сеть; П(U) – преобразующее устройство; Д(M) – электродвигательное устройство; ПУ(Y) – передаточное устройство; ИОРМ – исполнительный орган рабочей машины; УУ(AS) – управляющее и информационное устройства, которые получают информацию от задающего устройства (датчика) скорости ЗС(SR) и датчиков обратных связей Д1–Д6 (U1, U2, B1–B4) и вырабатывают сигналы управления преобразующим, электродвигательным и передаточным устройством. Обратные связи могут осуществляться по управляемым координатам электропривода: ЭДС преобразователя  $e_n$ , скорости двигателя  $\omega$  и скорости исполнительного органа  $\omega_{но}$  и по возмущающим воздействиям  $f_1$ – $f_3$ , действующим на П, Д и ПУ.

При большом количестве функциональных частей взамен наименований допускается проставлять порядковые номера, как правило, слева направо и сверху вниз, а наименования элементов, соответствующие номеру, указывать в таблице, помещаемой на поле схемы.

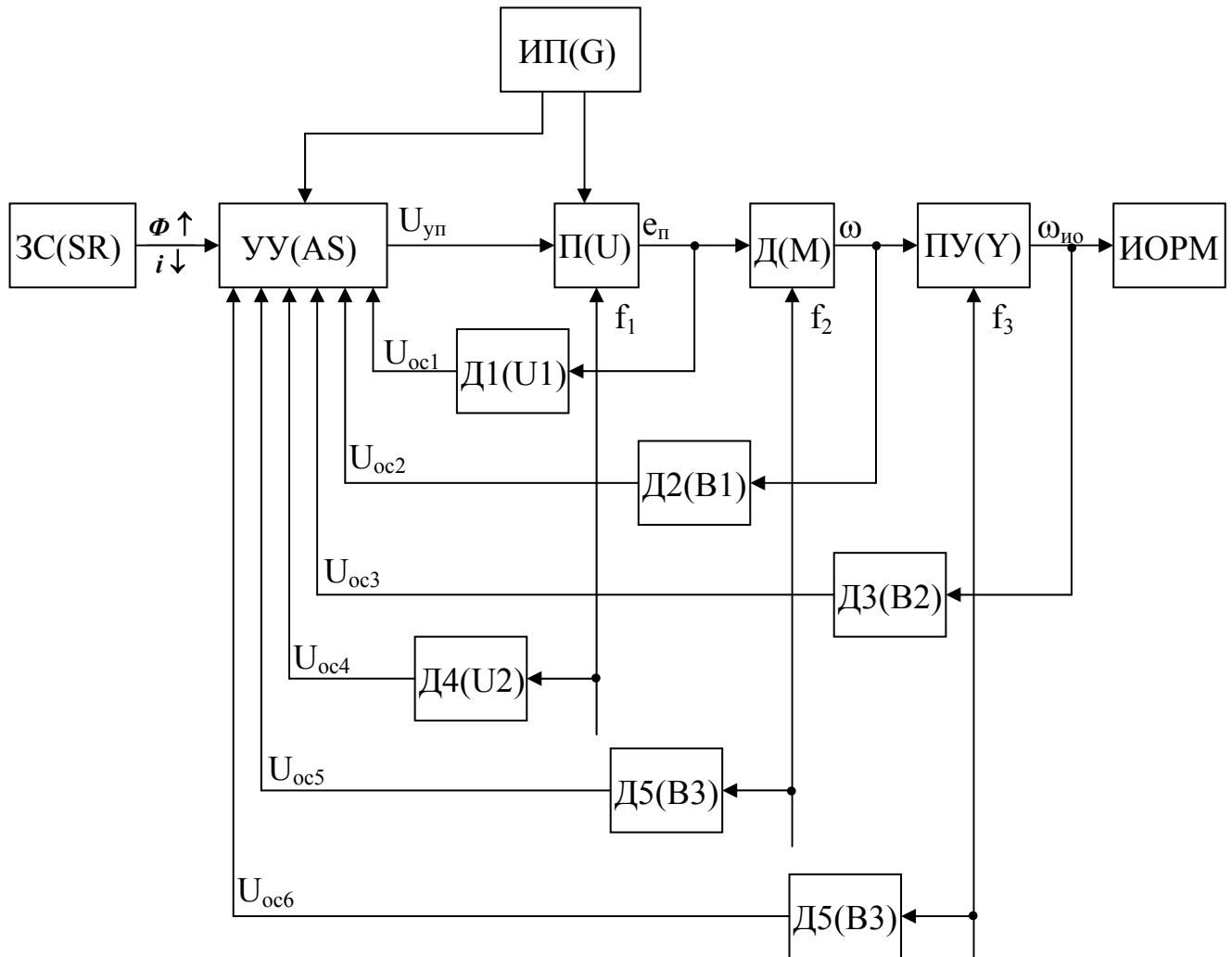


Рисунок 4.1 – Структурная схема электропривода

#### 4.2 Функциональная схема

Функциональная схема электропривода разъясняет процессы, протекающие в отдельных функциональных частях или в электроприводе в целом. Эти схемы используются для изучения принципов работы электропривода и его составных частей, а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте. На функциональной схеме изображаются функциональные части электропривода (элементы, устройства, функциональные группы) и связи между ними или конкретные электрические, магнитные и механические соединения (провода, обмотки, валы). Функциональные части, как правило,

изображают в виде условных графических обозначений, а отдельные из них допускается изображать прямоугольниками. Обычно двигатель, электромашинные преобразователи, задатчики и датчики обратных связей изображают их условными обозначениями, а сложные управляемые преобразователи и устройства системы управления – прямоугольниками. Все функциональные части должны иметь наименования, обозначения или тип, которые вписываются в прямоугольники или помещаются рядом с изображениями.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой. Функциональная схема электропривода постоянного тока приведена на рисунке 4.2. Она включает в себя те же устройства, что и структурная схема на рисунке 4.1. Задающее напряжение  $U_3$  обеспечивается задатчиком ЗС (RP). Обратная связь по скорости двигателя осуществляется тахогенератором ТГ (BR), обеспечивающим напряжение обратной связи  $u_c$ , пропорциональное скорости двигателя. Напряжение управления, равное  $u_y = U_3 - u_c$ , усиливается усилителем  $Y(A)$  или регулятором и в виде напряжения управления преобразователя  $u_{уп}$  подается на вход силового преобразователя  $\Pi(U)$ , который обеспечивает регулирование напряжения питания двигателя постоянного тока  $D(M)$ .

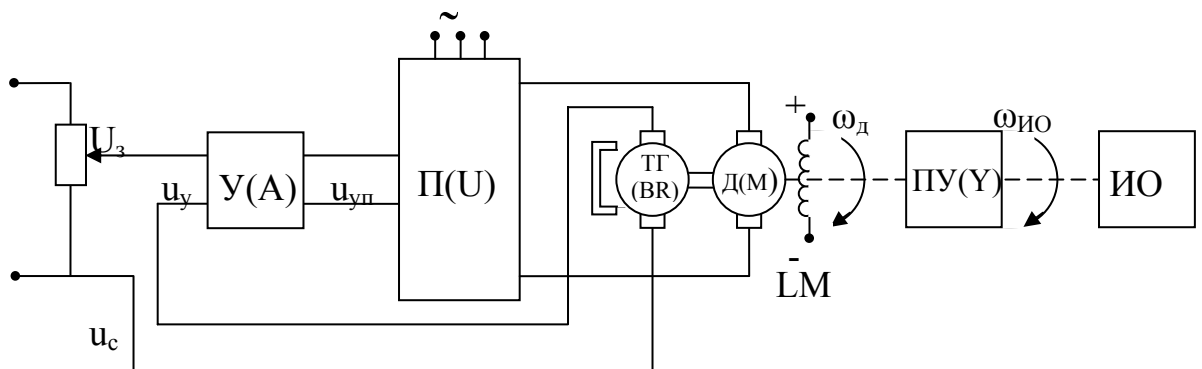


Рисунок 4.2 – Функциональная схема электропривода постоянного тока

### 4.3 Принципиальная схема

Принципиальная схема определяет полный состав элементов электротехнических устройств электропривода и связи между ними. Она используется для изучения принципов работы электроприводов, их наладки, регулировки, контроля, ремонта и является основанием для разработки схем соединений и подключений.

На принципиальной схеме электропривода изображают все элементы электротехнических устройств, необходимые для осуществления и контроля динамических и статических процессов электропривода, и все электрические, магнитные и некоторые механические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи (зажимы, разъемы и т. п.).

Элементы на принципиальной схеме изображают в виде условных графических обозначений по ЕСКД [1, 2, 3, 4]. Сложные устройства электропривода, например преобразователи, усилители, имеющие свои принципиальные схемы, в принципиальной схеме электропривода часто рассматриваются как элемент и изображаются в виде прямоугольника или другого обозначения с выходными цепями. Часто внутри прямоугольника показывают условное изображение устройства. В этом случае принцип работы электропривода определяется его принципиальной схемой и принципиальной схемой преобразователя.

Элементы в принципиальных схемах изображают для устройства в отключенном и не нажатом состояниях, совмещенным или разнесенным способами. Наибольшее распространение получило изображение разнесенным способом, когда устройства расчленяются на отдельные элементы, располагаемые в разных местах схемы для большей наглядности и простоты ее начертания. При этом позиционное обозначение, присвоенное устройству на схеме, представляется около всех его элементов сверху или справа от изображения. Последовательность присвоения порядковых номеров

должна соответствовать последовательности расположения на схеме основных элементов устройств, например, обмоток контакторов или реле, начиная от ввода источника питания. Допускается (если это не усложняет схему) отдельно изображенные элементы одного устройства соединять линией механической связи, а позиционные обозначения проставлять у одного или обоих концов линии.

В принципиальных схемах электроприводов различают силовые цепи и цепи управления. К силовым цепям относятся цепи силовых устройств двигателей и преобразователей, а к цепям управления – цепи элементов управления, информационных устройств, усилителей, электрических аппаратов и т. п.

Принципиальные схемы выполняют в однолинейном или многолинейном изображениях линиями одинаковой толщины. Допускается выделять отдельные функциональные части выполнением линий различной толщины. Например, силовые цепи рекомендуется вычерчивать более толстыми линиями, чем цепи управления. Элементы, включенные в цепь, которая выделена толщиной линии, рекомендуется вычерчивать линиями той же толщины, что и цепь.

Разрешается на принципиальных схемах графически выделять устройства, функциональные группы, части схемы и т. п. контурной штрихпунктирной линией в виде прямоугольной формы. Можно использовать фигуру и неправильной формы.

При начертании принципиальных схем используется строчный способ, когда элементы располагают последовательно друг за другом в одну цепь, а цепи чертят параллельно, образуя строки. Строки на схемах располагаются в горизонтальном и вертикальном направлениях. При начертании схем стараются по возможности уменьшить количество пересечений линий связей.

В качестве примера на рисунке 4.3 приведена электрическая принципиальная схема электропривода переменного тока с двумя асинхронными двигателями. Двигатель М1 может выполнять главное движение, а М2 – вспомогательное (обычно для производственных механизмов). Все цепи в схеме расположены вертикаль-

ми строками, как принято в станкостроении. В схеме применены автоматические выключатели QF и SF, предохранители FU1 и FU2, линейные контакторы KM1 и KM2, тепловые реле FP1, FP2, кнопки управления SB1–SB4 и сигнальные лампы HL1–HL3. В схеме использованы буквенно-цифровые позиционные обозначения.

На рисунке 4.4 приведена электрическая принципиальная схема электропривода постоянного тока смешанного возбуждения, выполненная горизонтальными строками. На схеме обозначено: Q – выключатель цепи якоря; QF, SF – автоматические выключатели силовой цепи и цепи управления; M – двигатель постоянного тока с обмотками возбуждения LM1, LM2 и дополнительных полюсов LM3; KM1, KM2 – контакторы линейный и ускорения, КТ – реле времени, отсчитывающее время разбега двигателя на пусковой ступени (резистор R1); FA1, FA2 – реле максимального тока, обеспечивающие максимально-токовую защиту двигателя и схемы управления; HL1 – HL3 – сигнальные лампы.

Для удобства чтения принципиальных схем и создания по ним схем соединений и подключений участки цепей принципиальной схемы нумеруются (маркируются) согласно ГОСТ 2.709–89. Номер присваивается зажимам двух последовательно включенных элементов и проставляется слева или сверху линии связи, соединяющей эти элементы.

Силовые цепи переменного тока маркируют латинской буквой L с номерами L1, L2, L3, обозначающими фазы, и буквой N, обозначающей «нуль», и последовательными числами, проставляемыми сверху вниз и слева направо (рисунок 4.5, а). ГОСТ 2.709–89 допускает, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами А, В, С, как это было в ГОСТ 2.709–72. Зажимы электротехнических устройств и потребителей, предназначенные для прямого или непрямого соединений с питающими проводами трехфазной системы, предпочтительно обозначать буквами U, V, W, если необходимо соблюдение последовательности фаз (рисунок 4.5, б).

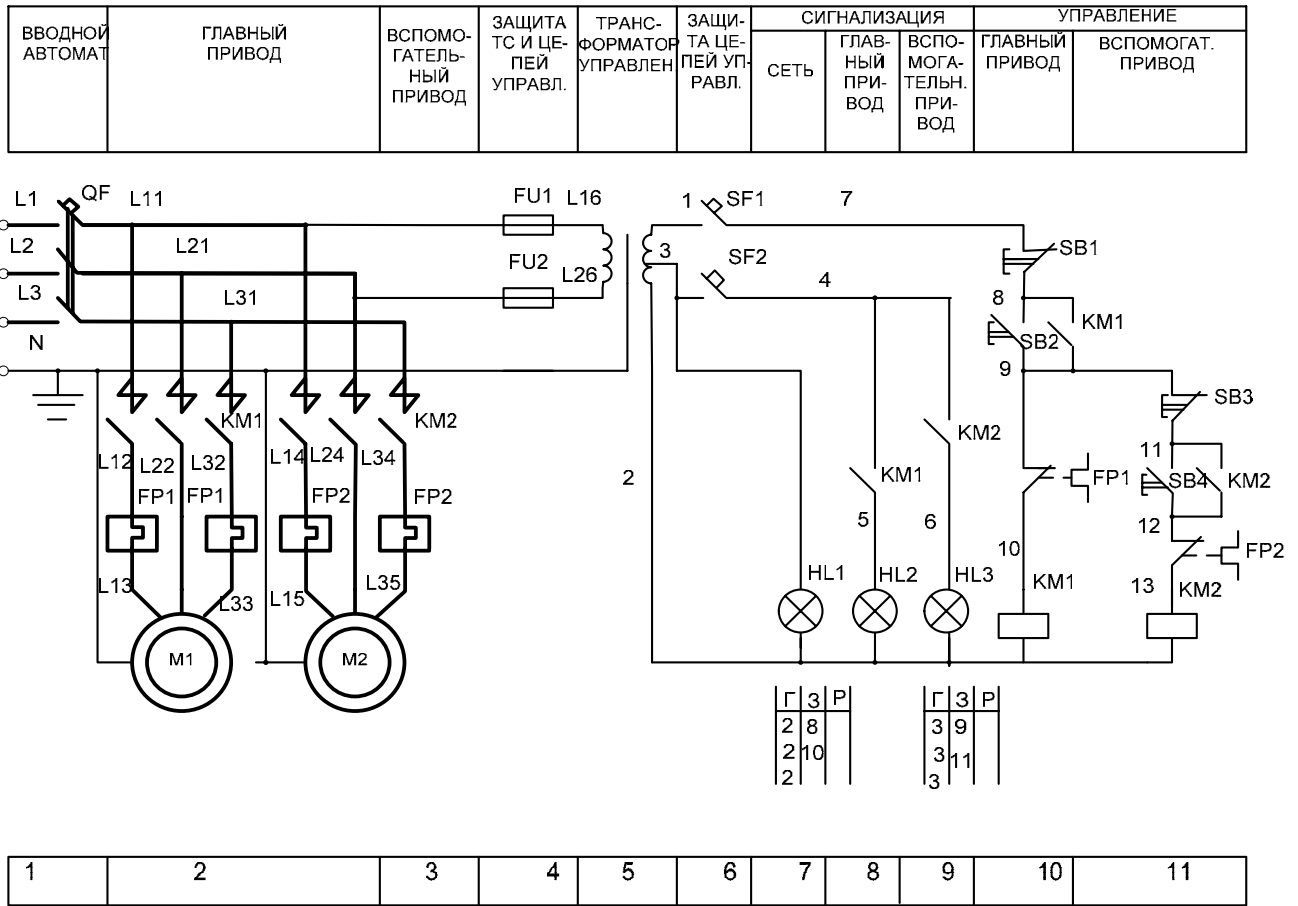


Рисунок 4.3 – Электрическая принципиальная схема электропривода переменного тока с двумя асинхронными двигателями

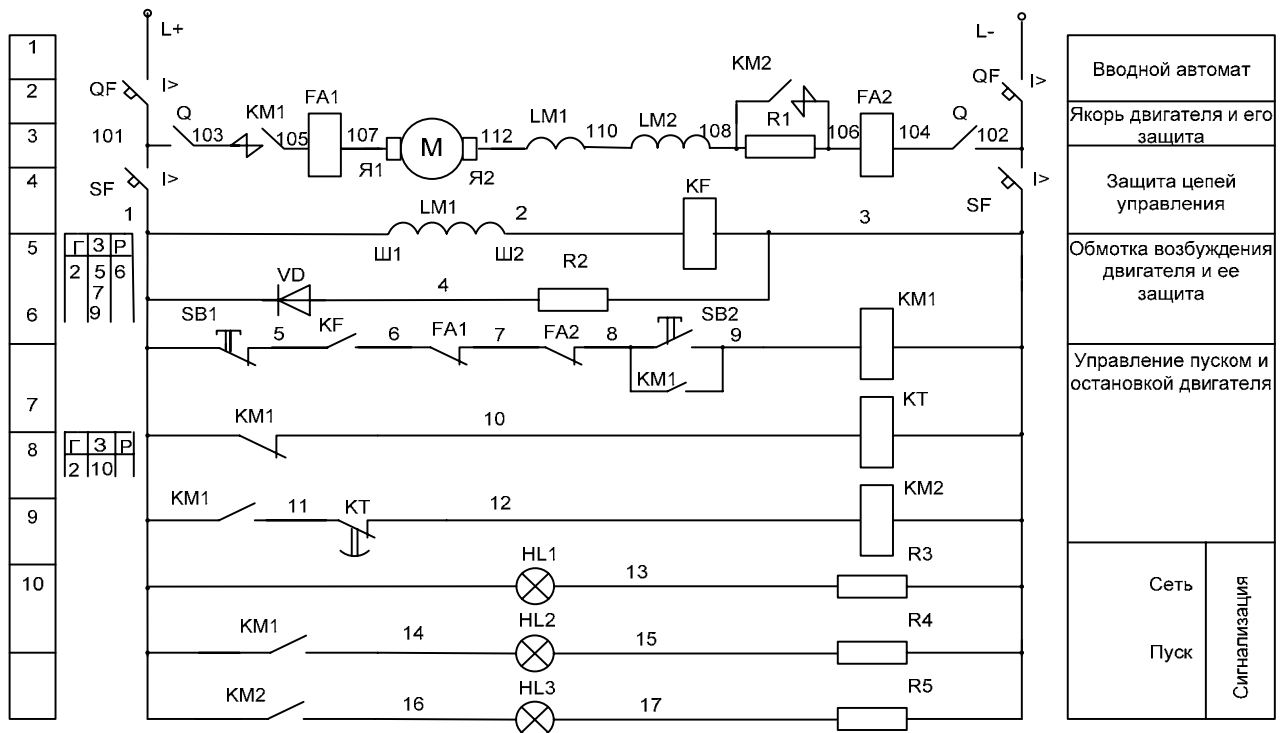


Рисунок 4.4 – Электрическая принципиальная схема электропривода постоянного тока смешанного возбуждения

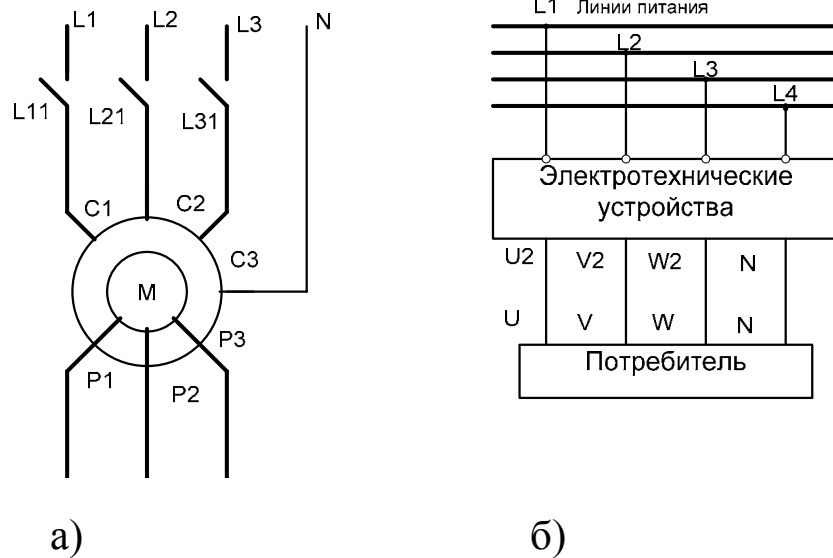


Рисунок 4.5 – Маркировка силовых цепей переменного тока

Силовые цепи постоянного тока маркируют соответственно участки цепей положительной полярности – нечетными числами, а отрицательной полярности – четными (смотрите рисунок 4.4). Допускается нумеровать цепи постоянного тока последовательными числами.

Цепи управления, защиты и сигнализации маркируют слева направо и сверху вниз последовательными числами (рисунок 4.4) Допускается цепи управления постоянного и однофазного переменного тока маркировать четными и нечетными числами. Обычно в сложных больших схемах, все цепи постоянного тока маркируются четными и нечетными числами, начиная с 1, 100, 200, 300 и т. д., отделяя функциональные назначения цепей схемы, например, силовые цепи управления, защиты и сигнализации. Границей нечетных и четных номеров являются потребители электрической энергии обмотки электрических машин и аппаратов, лампы и т. д. Такой способ маркировки имеет некоторые преимущества особенно при выполнении схем соединений и подключений, так как при изготовлении изделий уменьшается вероятность неправильных соединений и коротких замыканий.

На схеме маркировку проставляют около концов или в середине участка цепи, причем справа от изображения цепи при верти-

кальном ее расположении и сверху – при горизонтальном. В технически обоснованных случаях маркировку цепей схемы допускается проставлять справа и под изображением цепей. Обычно справа и снизу изображений цепи проставляется заводская маркировка выводов, элементов или изделия. Например, на рисунке 4.5, а показана такая маркировка, обозначающая выводы обмоток статора: С1, С2, С3 и ротора: Р1, Р2, Р3 асинхронного двигателя, и на рисунке 4.4 – выводы обмоток двигателя постоянного тока: Я1, Я2 – якоря, Д1, Д2 – дополнительных полюсов, Ш1, Ш2 – независимого или параллельного возбуждения и С1, С2 – последовательного возбуждения.

Чтобы облегчить нахождение элементов и чтение схемы, допускается нумеровать параллельные строки слева направо при вертикальном выполнении строк (рисунок 4.3) и сверху вниз – при горизонтальном (рисунок 4.4), т. е. разделять схему на зоны, номера которых указываются снизу при вертикальных строках или слева при горизонтальных строках от схемы. С другой стороны схемы приводятся в виде таблицы надписи, определяющие функциональное назначение строки (зоны) по действию исполнительного элемента (смотрите рисунки 4.3 и 4.4). Около катушек аппаратов указывается, в какой зоне схемы находятся их главные (Г) и вспомогательные замыкающие (З) и размыкающие (Р) контакты.

С целью повышения надежности в принципиальных схемах должны выполняться следующие дополнительные правила. Неподвижный контакт аппарата, выключателя простого и автоматического должен подключаться к сети, а подвижный – к потребителю (смотрите рисунки 4.3 и 4.4).

В силовых цепях схем нереверсивных электроприводов линейный контактор или контакторы направления (Вперед, Назад) в реверсивных электроприводах должны находиться со стороны «плюса» сети для того, чтобы обмотка якоря двигателя постоянного тока, резисторы и катушки аппаратов находились со стороны «минуса», так как при присоединении их к «плюсу» в большей степени

повреждается их изоляция (рисунок 4.4). В схеме управления также для повышения надежности схемы катушки аппаратов подсоединяются на общий «Минус» (рисунок 4.4).

С целью экономии меди при ошиновке в схеме электрических соединений контакты контакторов направления (КВ, КН), контакторов ускорения КУ электропривода постоянного (рисунок 4.4 и 4.6, а) и переменного тока компонуются с соединением или подвижных (рисунок 4.6, б), или неподвижных контактов (рисунок 4.6, в). С этой же целью в схеме управления контакты и катушки аппарата располагаются по возможности рядом (рисунок 4.4).

Читаются принципиальные схемы в следующем порядке: исходное положение схемы, ее работа, электрические защиты, блокировки и сигнализация.

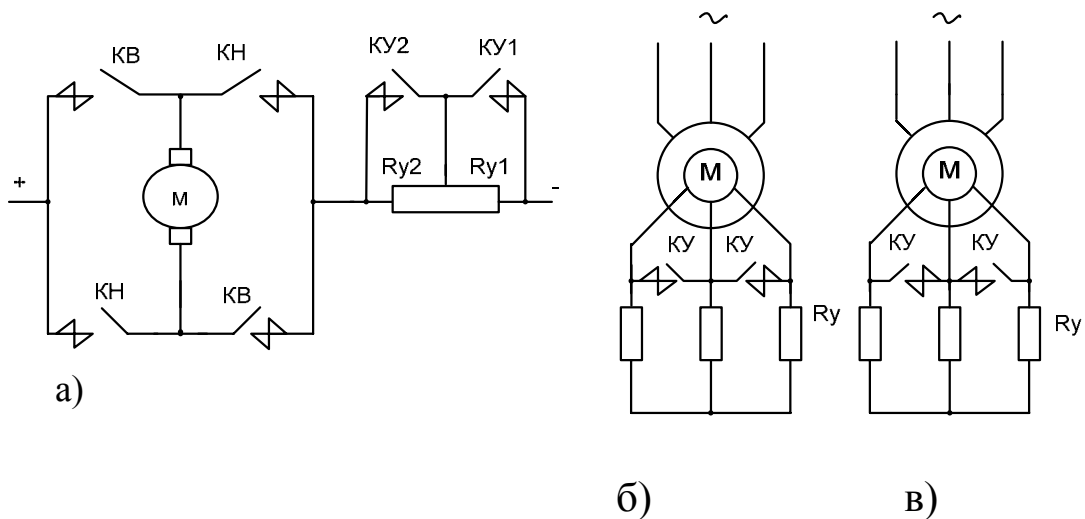


Рисунок 4.6 – Схемы подключения контактов контакторов направления и ускорения

Исходным является положение элементов после подачи на схему напряжения питания. Например, в схеме (на рисунке 4.3) после включения автоматических выключателей QF и SF в исходном положении никакие аппараты не срабатывают, а только загорается сигнальная лампа HL1, сигнализирующая о подаче напряжения. При анализе работы схемы рассматриваются состояния элементов, обеспечивающих переходные и установившиеся режимы работы электропривода. Например схема на рисунке 4.3 осуществ-

вляет пуск и остановку двигателей М1 и М2. Команды на пуск двигателей подаются кнопками SB2 и SB4. При нажатии на кнопку SB2 ее замыкающий контакт с маркировкой 8–9 подает напряжение на катушку линейного контактора КМ1, ток в которой протекает по цепи 7–8–9–10–КМ1–2. Контактор КМ1 включается и своими главными замыкающими контактами с маркировкой L11–L12, L21–L22 и L31–L32 подключает обмотку статора двигателя М1 к питающей сети. Происходит его пуск. Контактор КМ1 замыкающим вспомогательным контактом 8–9 шунтирует замыкающий контакт кнопки SB2 и обеспечивает память команды «Пуск», и контактом 4–5 включает лампу НЛ2. Описать работу схемы можно проще. Например, для осуществления пуска двигателя М2 нажимается кнопка SB4, которая контактом 11–12 включает контактор КМ2. Этот контактор главными контактами подключает обмотку статора двигателя М2 к питающей сети, а вспомогательным контактом 11–12 обеспечивает память команды на пуск и контактом 4–6 включает лампу НЛ3.

В схеме на рисунке 4.4 в исходном положении, когда включены силовой выключатель Q и автоматические выключатели QF и SF, напряжение подается на обмотку независимого возбуждения машины LM1, включается реле времени КТ, открывающее свой контакт 11–12, и загорается лампа НЛ1, сигнализирующая о подаче напряжения на схему. При работе схемы нажимается кнопка «Пуск» SB2 и включается линейный контактор КМ1, который главным контактом 103–105 подключает якорь электрической машины М к напряжению сети с последовательно включенным пусковым резистором R1. Начинается пуск машины по реостатной характеристике, соответствующей пусковому резистору R1. Одновременно линейный контактор КМ1 вспомогательным контактом 1–11 подключает цепь контактора КМ2 и контактом 1–10 обесточивает реле времени КТ. Это реле отсчитывает время разбега двигателя на реостатной характеристике, замыкает контакт 11–12 и им включает контактор ускорения КМ2, который главным контактом

108–106 выводит пусковой резистор R1, и двигатель выходит на естественную характеристику. При необходимости остановки двигателя нажимается кнопка «Стоп» SB1, обесточивается линейный контактор KM1 и отключает якорь машины от напряжения сети. Схема управления при этом приходит в исходное состояние.

В схемах электроприводов используются электрические защиты. В схеме рисунка 4.3 имеются нулевая, максимально-токовая и тепловая защиты, осуществляемые соответственно контакторами KM1 и KM2, автоматическими выключателями QF и SF, предохранителями FU1, FU2 и тепловыми реле FP1 и FP2.

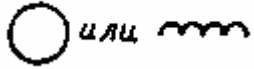



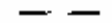
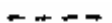




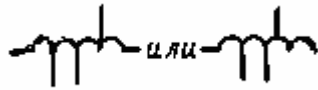
В схеме рисунка 4.4 применена нулевая защита (контактор KM1), максимально-токовая силовой цепи (QF, FA1 и FA2) и цепи управления (SF) и защита независимой обмотки возбуждения двигателя от перенапряжения при отключении (резистор R2).

В схемах электроприводов используются также блокировки и сигнализация. В схеме рисунка 4.3 имеется блокировка, обеспечиваемая контактом 8–9 контактора KM1, которая разрешает включаться машине M2 только при включенной машине M1. Память команд на пуск машины обеспечивают блокировки, реализуемые контактами 8–9 и 11–12 контакторов KM1 и KM2.

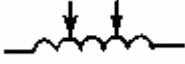


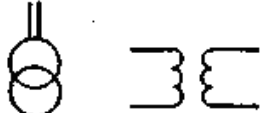
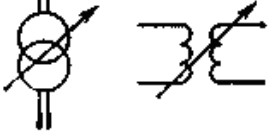

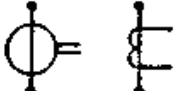
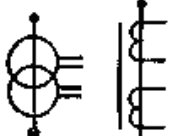
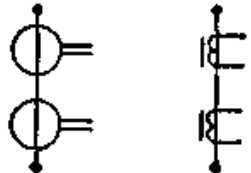
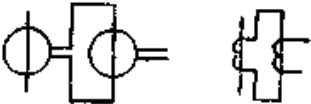
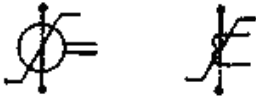
В схеме на рисунке 4.4 имеется блокировка, обеспечивающая память команды на пуск двигателя (контакт 8–9 контактора KM1). В схемах рисунков 4.3 и 4.4 применена световая контрольная сигнализация, осуществляемая лампами HL1–HL3 и показывающая наличие напряжения на схеме (HL1) и включенное и отключенное состояния машин M1 (HL2) и M2 (HL3) (рисунок 4.3), и включенное и отключенное состояния контакторов KM1 и KM2 (рисунок 4.4).

Для удобства чтения схем приведены условные графические обозначения аппаратов и их элементов (табл. 4.1).


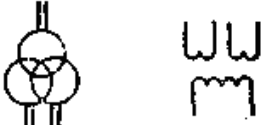

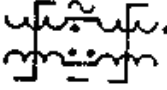






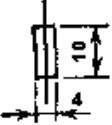


Таблица 4.1 – Обозначение электрических аппаратов и их элементов в электрических схемах

Наименование	Обозначение
<p><i>Обозначение элементов катушек индуктивностей, дросселей, трансформаторов, автотрансформаторов и магнитных пускателей</i></p> <p>Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя</p> <p>Примечания:</p> <p>1. Количество полуокружностей в изображении обмотки и направление выводов не устанавливаются</p> <p>2. При изображении магнитных усилителей разнесенным способом используют следующие обозначения:</p> <p>а) рабочая обмотка</p> <p>б) управляющая обмотка</p> <p>3. Для указания начала обмотки используют точку</p> <p>Магнитопровод:</p> <p>а) ферромагнитный</p> <p>б) ферромагнитный с воздушным зазором</p> <p>в) магнитодиэлектрический</p> <p>Характер кривой намагничивания отражают при помощи следующих знаков:</p> <p>а) прямоугольная петля гистерезиса</p> <p>б) непрямоугольная петля гистерезиса</p> <p><i>Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители</i></p>	       
<p>Катушка индуктивности, дроссель без магнитопровода</p>	
<p>Реактор</p>	
<p>Катушка индуктивности с отводами</p>	




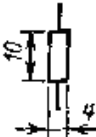

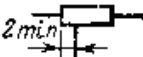
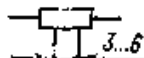


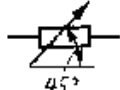

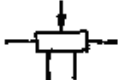
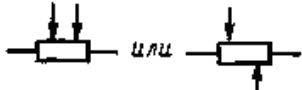
## Продолжение таблицы 4.1

Катушка индуктивности (обмотка автотрансформатора) со скользящими контактами	
Катушка индуктивности с магнитодиэлектрическим магнитопроводом	
Катушка индуктивности, реактор, дроссель с магнитопроводом	
Трансформатор без магнитопровода:	
а) с постоянной связью между обмотками	
б) с переменной связью между обмотками	
Трансформатор однофазный с магнитопроводом	
Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой	
Трансформатор тока с одним магнитопроводом и двумя вторичными обмотками	
Трансформатор тока с двумя магнитопроводами и двумя вторичными обмотками	
Примечание. При наличии нескольких магнитопроводов допускается магнитопроводы не изображать	
Трансформаторы тока в каскадном соединении	
Трансформатор тока быстро насыщающийся	

Продолжение таблицы 4.1

Трансформатор напряжения измерительный	
Трансформатор напряжения измерительный с двумя вторичными обмотками	
Усилитель магнитный с двумя рабочими и общей управляющей обмотками	
Усилитель магнитный с двумя последовательно соединенными рабочими обмотками и двумя встречно включенными секциями управляющей обмотки	
Элемент ферромагнитный, трансформатор запоминающий, элемент памяти	
<i>Разрядники. Предохранители (ГОСТ 2.727–68)</i>	
Разрядник. Общее обозначение	
Примечание. Если необходимо уточнить тип разрядника, то применяют следующие обозначения:	
а) разрядник трубчатый	
б) разрядник вентильный в магнитовентильный	
в) разрядник шаровой	
г) разрядник роговой	
Предохранитель плавкий. Общее обозначение	
Предохранитель инерционно-плавкий	
Предохранитель быстродействующий	

## Продолжение таблицы 4.1

Предохранитель с сигнализирующим устройством с самостоятельной цепью сигнализации	
Выключатель-предохранитель	
Разъединитель-предохранитель	
<i>Резисторы. Конденсаторы (ГОСТ 2.728—74)</i>	
Резистор постоянный	
Резистор постоянный с дополнительными отводами:	
а) одним симметричным	
б) одним несимметричным	
в) с двумя	
Примечание. Если резистор имеет более двух дополнительных отводов, то допускается длинную сторону обозначения увеличивать, например резистор с шестью дополнительными отводами	
Шунт измерительный	
Резистор переменный	
Резистор переменный в реостатном включении:	
а) общее обозначение	
б) нелинейное регулирование	
Резистор переменный с дополнительными отводами	
Резистор переменный с несколькими подвижными контактами:	
а) механически не связанными	

## Продолжение таблицы 4.1

б) механически связанными

Резистор переменный сдвоенный

Резистор подстроечный:

а) общее обозначение

б) в реостатном включении

Резистор переменный с подстройкой

Примечание. Приведенному изображению соответствует эквивалентная схема

Тензорезистор:

а) линейный

б) нелинейный

Элемент нагревательный

Терморезистор:

а) прямого подогрева

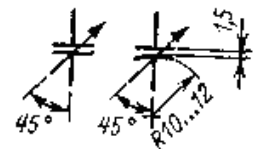
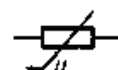
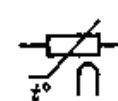
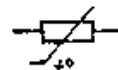
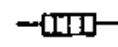
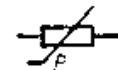
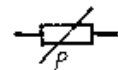
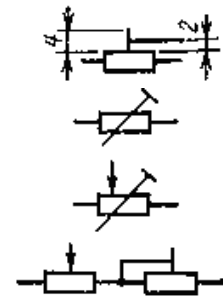
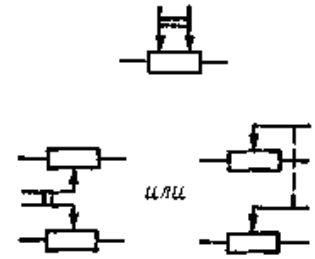
б) косвенного подогрева

Варистор

Конденсатор постоянной емкости

Конденсатор переменной емкости

Конденсатор электролитический



Продолжение таблицы 4.1

## Полупроводниковые приборы (ГОСТ 2.730—73)

Диод. Общее обозначение

a 5; 6

b 4; 5

d 1,5; 2

Туннельный диод

Обращенный диод

Стабилитрон:

а) односторонний

б) двусторонний

Варикап

Тиристор диодный (динистор)

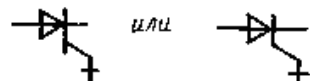
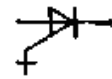
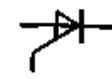
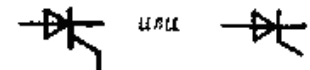
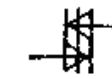
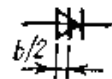
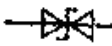
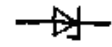
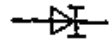
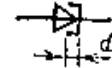
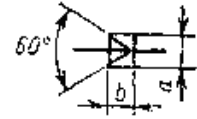
Тиристор диодный симметричный

Тиристор триодный незапираемый с управлением по катоду (тиристор с инжектирующим управляющим электродом *p*-типа)Тиристор триодный незапираемый с управлением по аноду (тиристор с инжектирующим управляющим электродом *n*-типа)

Тиристор триодный запираемый с управлением по аноду

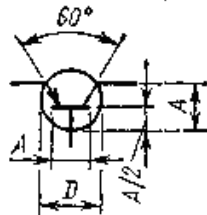

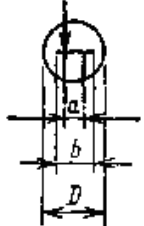





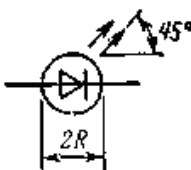
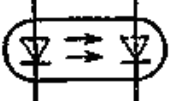

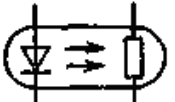
Тиристор триодный запираемый с управлением по катоду

Тиристор триодный симметричный незапираемый



Примечание. Для упрощения допускается выполнять условные графические обозначения тиристоров в зеркальном изображении

## Продолжение таблицы 4.1

Транзистор типа <i>p-n-p</i>	
D 12 14	
A 9 11	
a 2,5 3,5	
Транзистор типа <i>n-p-n</i> с коллектором, электрически соединенным с корпусом	
Полевой транзистор с каналом <i>p</i> -типа	
D 12 14	
a 2,5 3,5 Г	
b 3 4	
Полевой транзистор с каналом <i>n</i> -типа	
Фоторезистор	
Фотодиод	
Фототиристор диодный	
Фототранзистор типа <i>p-n-p</i>	
Светоизлучающий диод (R = 5 или 6 мм)	
Диодная оптопара	
Тиристорная оптопара	
Резисторная оптопара	

Продолжение таблицы 4.1

Однофазная мостовая выпрямительная схема

а) развернутое изображение

б) упрощенное изображение

Трехфазная мостовая выпрямительная схема

*Коммутационные устройства и контактные соединения  
(по ГОСТ 2.755—74)*

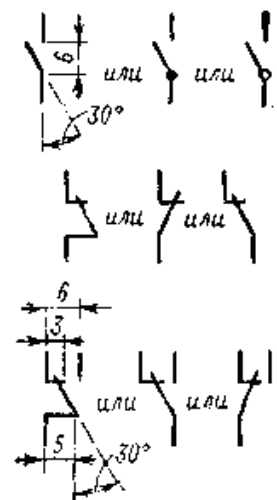
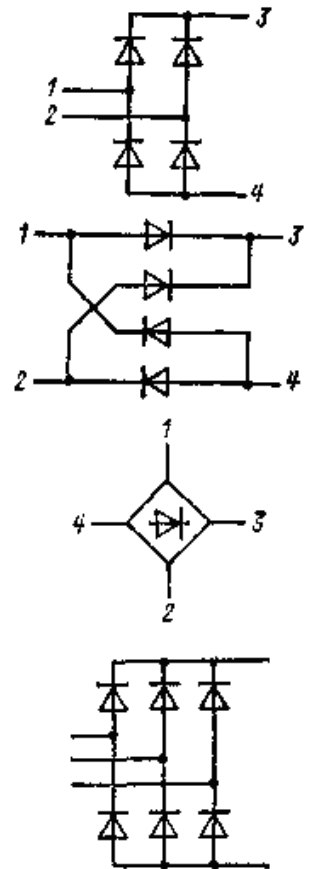
Коммутационные устройства на схемах должны изображаться в положении, принятом за начальное.

Контакт коммутационного устройства. Общее обозначение:

а) замыкающий

б) размыкающий

в) переключающий



## Продолжение таблицы 4.1

г) переключающий без размыкания цепи	
д) переключающий со средним положением	
е) с двойным замыканием	
ж) с двойным размыканием	
Контакт в контактной группе, срабатывающий раньше по отношению к другим контактам группы:	
а) замыкающий	
б) размыкающий	
Контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим контактам группы:	
а) замыкающий	
б) размыкающий	
Контакт замыкающий с замедлителем, действующим:	
а) при срабатывании	
б) при возврате	
в) при срабатывании и возврате	
Контакт размыкающий с замедлителем, действующим:	

## Продолжение таблицы 4.1

а) при срабатывании

б) при возврате

в) при срабатывании и возврате

Примечание. Обозначение замедлителя допускается изображать с противоположной стороны

Контакт без самовозврата:

а) замыкающий

б) размыкающий

Контакт с самовозвратом:

а) замыкающий

б) размыкающий

Контакт для коммутации силовоточной цепи:

а) замыкающий

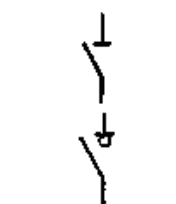
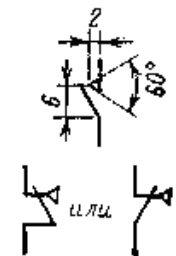
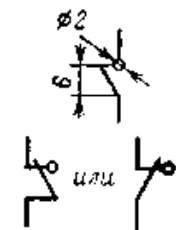
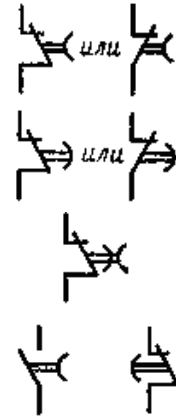
б) размыкающий

в) замыкающий дугогасительный


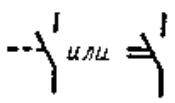
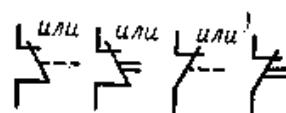
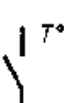
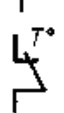

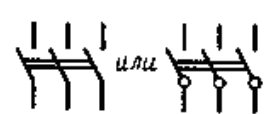
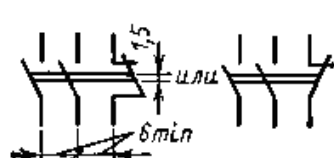
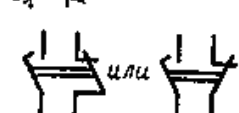

г) размыкающий дугогасительный

Контакт разъединителя

Контакт выключателя-разъединителя



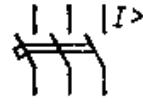
## Продолжение таблицы 4.1

Контакт автоматического выключателя	
Контакт с механической связью:	
а) замыкающий	
б) размыкающий	
Контакт чувствительный к температуре (темоконтакт):	
а) замыкающий	
б) размыкающий	
Контакт электротеплового реле при разнесенном способе изображения реле	
Выключатель трехполюсный	
Выключатель трехполюсный с двумя замыкающими и одним размыкающим контактами	
Выключатель двухполюсный, замыкающий одну цепь раньше размыкания другой	
Выключатель трехполюсный автоматический	
Примечание. При необходимости указания величины, при изменении которой происходит срабатывание, используют следующие знаки:	
а) максимального тока	I >
б) минимального тока	I <
в) обратного тока	I ←
г) максимального напряжения	U >
д) минимального напряжения	U <
е) максимальной температуры	T° >

## Продолжение таблицы 4.1

Знаки проставляют около обозначения выключателя, например:

выключатель трехполюсный автоматический максимального тока



Выключатель высокого напряжения



Отделитель



Короткозамыкатель

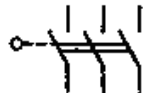


Выключатель путевой:

а) однополюсный



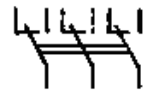
б) многополюсный, например трехполюсный



Разъединитель трехполюсный



Переключатель многополюсный, например трехполюсный



Выключатель кнопочный нажимный:

а) с замыкающим контактом



б) с размыкающим контактом

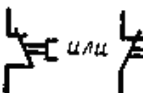


Выключатель кнопочный вытяжной:

а) с замыкающим контактом



б) с размыкающим контактом

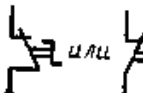


Выключатель кнопочный поворотный:

а) с замыкающим контактом



б) с размыкающим контактом



## Продолжение таблицы 4.1

Выключатель кнопочный без самовозврата:

а) нажимной с возвратом посредством вытягивания кнопки

б) нажимной с возвратом посредством вторичного нажатия кнопки

Переключатель однополюсный многопозиционный, например четырехпозиционный

Переключатель многопозиционный независимых цепей, например шести цепей

Переключатель со сложной коммутацией изображают на схеме одним из следующих способов:

по первому способу переключатель изображают в виде условного обозначения, а на поле схемы помещают таблицу замыкания контактов

по второму способу в положениях 1 замыкаются контакты I и II, 2 – замыкаются II, III и IV и т. д.

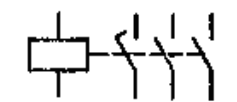
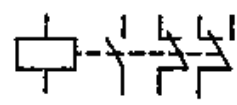
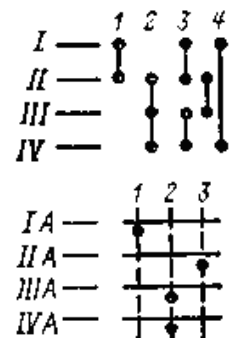
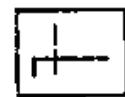
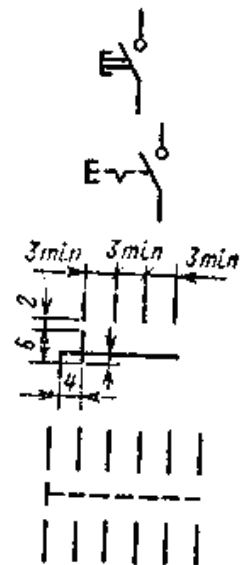
по третьему способу. В положениях 1 контакт I соединяется с шиной IA, 2 – контакт III соединяется с шиной IIIA, а контакт IV соединяется с шиной IVA и т. д.

Переключатель двухполюсный трехпозиционный с нейтральным положением

Переключатель двухполюсный трехпозиционный с самовозвратом в нейтральное положение

Реле электрическое с замыкающим, размыкающим и переключающими контактами

Реле электрическое с замыкающими контактами, один из которых срабатывает раньше другого



## Продолжение таблицы 4.1

Реле поляризованное:

- а) на одно направление тока в обмотке с самовозвратом
- б) на одно направление тока в обмотке без самовозврата
- в) на оба направления тока в обмотке с нейтральным положением

Примечание. Контакт, отмеченный точкой, замыкается при приложении напряжения постоянного тока, положительный полюс которого подан к выводу, отмеченному точкой

Реле электротепловое без самовозврата (с возвратом нажатием кнопки)

Контакты и контактные соединения

Контакт контактного соединения:

- а) разъемного соединения:  
штырь

гнездо

- б) разборного соединения
- в) неразборного соединения

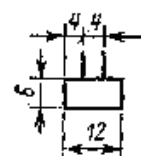
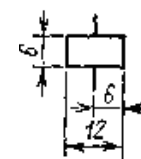
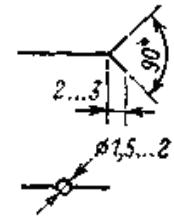
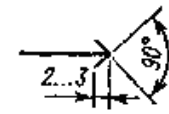
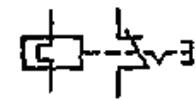
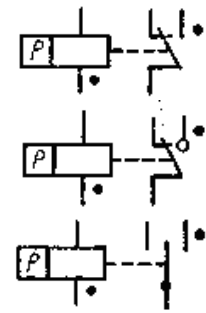
Заземление

Корпус (машины, аппарата, прибора)

*Воспринимающая часть электромеханических устройств  
(ГОСТ 2.756–76)*

Катушка электромеханического устройства

Примечание. Выводы допускается изображать с одной стороны прямоугольника



## Продолжение таблицы 4.1

Катушка электромеханического устройства с двумя обмотками

Катушка электромеханического устройства с  $n$  обмотками

Катушка электромеханического устройства с двумя встречными обмотками

Катушка электромеханического устройства с одним выводом

Катушка электромеханического устройства трехфазного тока

Катушка электромеханического устройства с указанием вида обмотки:

а) обмотка напряжения

б) обмотка максимального тока

Катушка поляризованного электромеханического устройства

Катушка электромеханического устройства, обладающего остаточным намагничиванием

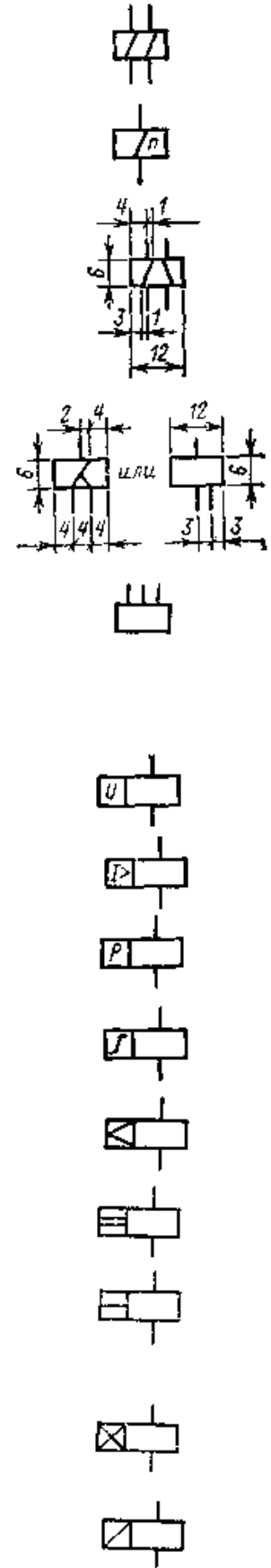
Катушка электромеханического устройства, имеющего механическую блокировку

Катушка электромеханического устройства, работающего с ускорением при срабатывании

Катушка электромеханического устройства, работающего с ускорением при срабатывании и отпуске

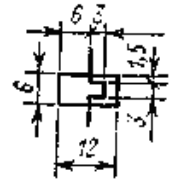
Катушка электромеханического устройства, работающего с замедлением при срабатывании

Катушка электромеханического устройства, работающего с замедлением при отпуске



Продолжение таблицы 4.1

Воспринимающая часть электротеплового реле



#### 4.4 Эквивалентная схема

Эквивалентная схема – это схема, предназначенная для анализа и расчета параметров (характеристик) отдельных функциональных частей или объекта в целом. К эквивалентным схемам относятся все расчетные схемы, например, схемы замещения электротехнических устройств, векторные диаграммы. *Сюда относится и неправильно названная в теории автоматического регулирования структурная схема, приведенная на рис. 4.7.* Это эквивалентная расчетная схема динамических режимов электропривода. На этой схеме изображают функциональные части электропривода с их динамическими характеристиками в виде передаточных функций. Причем функциональная часть представлена в виде динамического звена с одним входным и одним выходным сигналами. Все функциональные части изображаются в виде прямоугольников произвольного размера, соединенных линиями связи, на которых стрелкой указываются направления сигналов, их наименования и изображение этих сигналов.

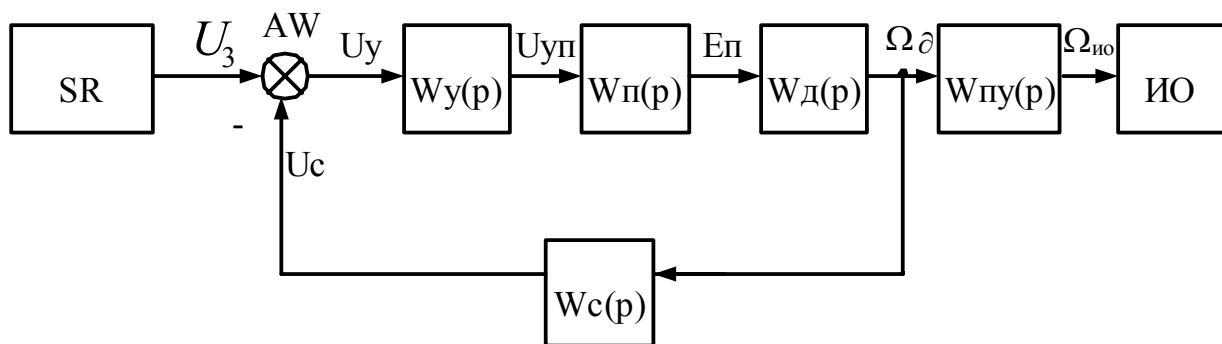


Рисунок 4.7 – Эквивалентная схема электропривода

## 4.5 Схемы соединений

Схема соединений показывает электрические соединения составных частей (электротехнических устройств) электропривода и определяет провода, жгуты, шины и кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также их прокладку и места присоединения и ввода (зажимы, разъемы, и т. п.). Схемы соединений используются при изготовлении отдельных устройств и электропривода в целом, а также при их наладке, контроле, ремонте и эксплуатации. Различают схемы внутренних и внешних соединений, хотя эти термины введены в ГОСТ условно для удобства изложения правил выполнения схем и не указываются в наименовании схем соединений. Схемы внутренних соединений показывают соединения между элементами внутри отдельного устройства или изделия, а схемы внешних соединений – внешние соединения между отдельными устройствами, входящими в состав изделия. Допускается выполнять схему соединений, определяющую полный объем соединений в электроприводе, внутри устройств и между ними.

Элементы устройств на схемах соединений изображают условными графическими обозначениями в совмещенном виде, а устройства – прямоугольниками или в виде внешних очертаний. Устройства на схеме, как правило, изображают полностью с указанием задействованных и незадействованных частей, например, все контакты реле или контактора.

Расположение обозначений элементов и устройств на схеме должно давать примерное представление об их действительном расположении изделия, однако допускается не отражать действительного их расположения. На схеме соединений около или внутри условных графических изображений устройств приводят буквенно-цифровое обозначение элементов и устройств, маркировку их выводов, присвоенные им на принципиальной схеме или принятые в их конструкции.

В схеме электрических соединений все присоединения выполняются непосредственно к контактным болтам аппаратов или к клеммам с электрической пайкой.

Зажимы располагают внизу панели или сбоку так, чтобы обеспечить удобство обслуживания и иметь минимальный расход проводов. К каждому зажиму с каждой стороны можно присоединить не более двух проводов, а при большем количестве проводов предусматривают несколько зажимов с одинаковой маркировкой, соединенных между собой перемычками.

На рисунке 4.8 приведен пример схемы (внутренних) соединений устройства в виде панели управления электропривода, принципиальная схема которого показана на рисунке 4.3. На панели расположены автоматические выключатели QF и SF1, SF2, контакторы КМ1, КМ2, тепловые реле FP1, FP2, предохранители FU1, FU2, трансформатор ТС и наборы зажимов (клеммники) ХТ1–ХТ3.

Изображение электрических соединений, выполненных проводами (ГОСТ 2.782–69), разрешается показывать на схеме отдельными линиями связи с их примерным расположением, как это показано на рисунке 4.8 для аппаратов, расположенных с левой стороны панели. Для упрощения начертания схемы соединений разрешается сливать отдельные линии связи (провода), идущие на схеме в одном направлении, в линию групповой связи в виде жгута. Это показано на рисунке 4.8 для аппаратов, расположенных в средней части панели. Допускается применять адресный способ, при котором около линии, отходящей от вывода элемента, указывается номер клеммы и адрес, то есть наименование устройства или элемента, к которому должен идти провод. Это показано на рисунке 4.8 с правой стороны панели.

Марки и сечения проводов, которыми выполняется монтаж, указывают около изображений соединений или на полях схемы. При большом количестве соединений, когда схема получается громоздкой и неудобной для пользования, ГОСТ разрешает не разрабатывать схему соединений, а составлять таблицу соедине-

ний, в которой указываются адреса электрических соединений и данные о проводах. Форма таблицы соединений выбирается разработчиком схемы в зависимости от сведений, которые нужно поместить в ней. Для примера составлена таблица соединений (смотрите таблицу 4.2) панели управления (рисунок 4.8). Форма таблицы принята согласно ГОСТ 2.702–68. При составлении таблицы 4.2 сечение проводов силовых цепей принято для двигателя М1 мощностью 10 кВт, М2 – 5 кВт. Расцветка проводов силовых цепей выполняется черной, цепей управления переменного тока – красной, постоянного тока – синей, заземлений – зеленой.

На рисунке 4.9 показана схема (внешних) соединений электропривода, соответствующая принципиальной схеме рисунка 4.3. Панель управления изображена в виде прямоугольника с клеммниками ХТ1, ХТ2, ХТ3, элементы, находящиеся на технологической установке – условными графическими обозначениями, без действительного расположения их на установке. Электрические соединения осуществляются согласно таблице соединений (см. табл. 4.3).

При выполнении схемы (внешних) соединений может быть также использован адресный способ.

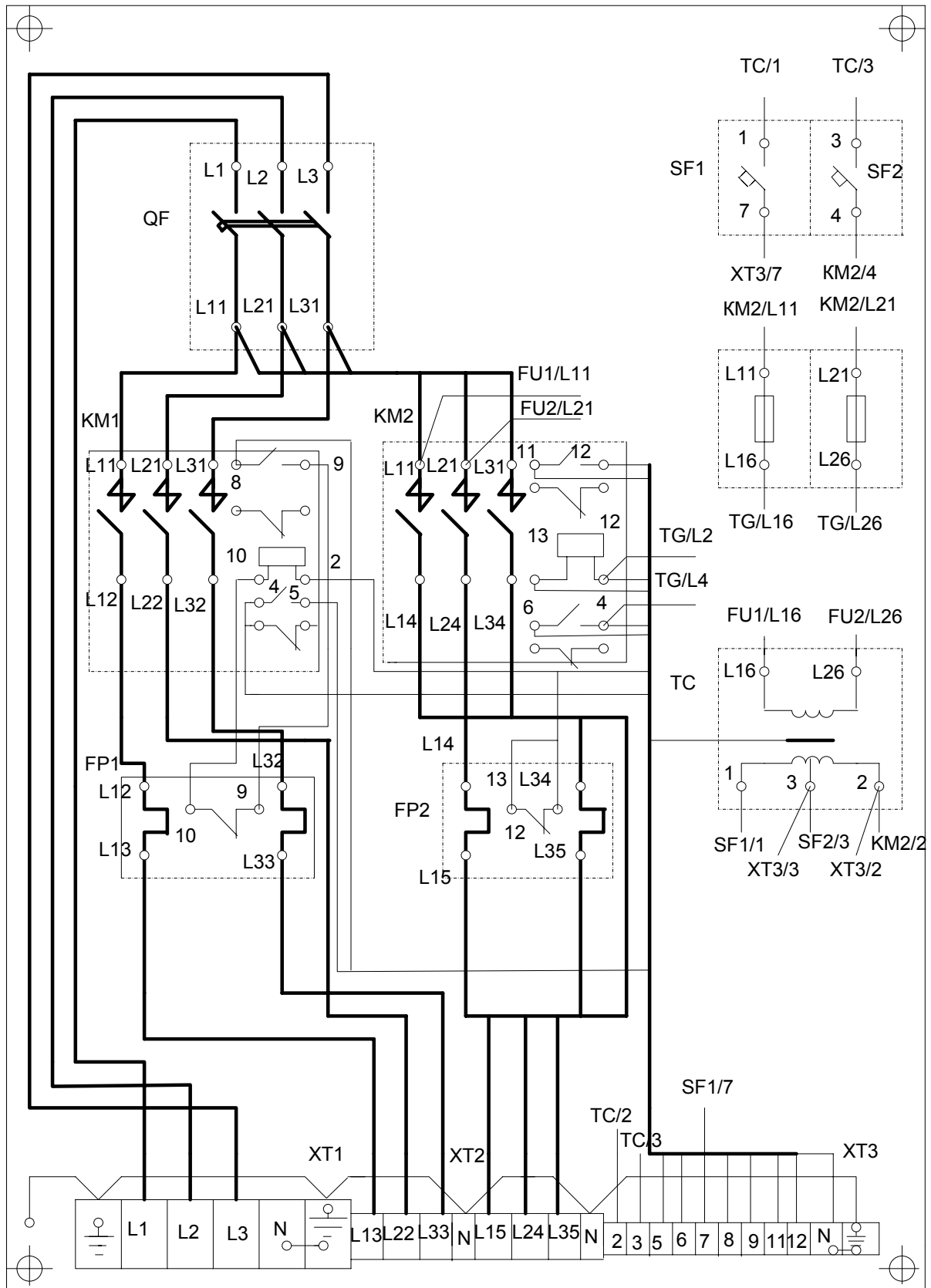


Рисунок 4.8 – Схема соединений (внутренних) в виде панели управления принципиальной схемы электропривода, представленной на рисунке 4.3

Таблица 4.2 – Таблица соединений (внутренних) принципиальной схемы электропривода, представленной на рисунке 4.3

Номер провода	Соединение		Данные провода		
	Откуда идет	Куда поступает	Расцветка	Марка	Сечение, мм <sup>2</sup>
L1, L2, L3	XT1	QF	черный	ПГВ	10
N	XT1	XT2	зеленый	ПГВ	6
N	XT2	XT3	зеленый	ПГВ	4
N	XT3	TC	зеленый	ПГВ	1,5
L11, L21, L31	QF	KM1	черный	ПГВ	10
L11, L21, L31	QF	KM2	черный	ПГВ	10
L11	KM2	FU1	черный	ПГВ	2,5
L21	KM2	FU2	черный	ПГВ	2,5
L12, L32	KM1	FP1	черный	ПГВ	6
L22	KM1	XT2	черный	ПГВ	6
L13, L33	FP1	XT2	черный	ПГВ	6
L14, L34	KM2	FP2	черный	ПГВ	4
L24	KM2	XT2	черный	ПГВ	4
L15, L35	FP2	XT2	черный	ПГВ	4
L16	FU1	TC	черный	ПГВ	2,5
L26	FU2	TC	черный	ПГВ	2,5
1	TC	SF1	красный	ПГВ	1,0
2	TC	KM2	красный	ПГВ	1,0
2	KM2	KM1	красный	ПГВ	1,0
2	TC	XT3	красный	ПГВ	1,0
3	TC	SF2	красный	ПГВ	1,0
3	TC	XT3	красный	ПГВ	1,0
4	SF2	KM2	красный	ПГВ	0,75
4	KM2	KM1	красный	ПГВ	0,75
5	KM1	XT3	красный	ПГВ	0,75
и т.д.					

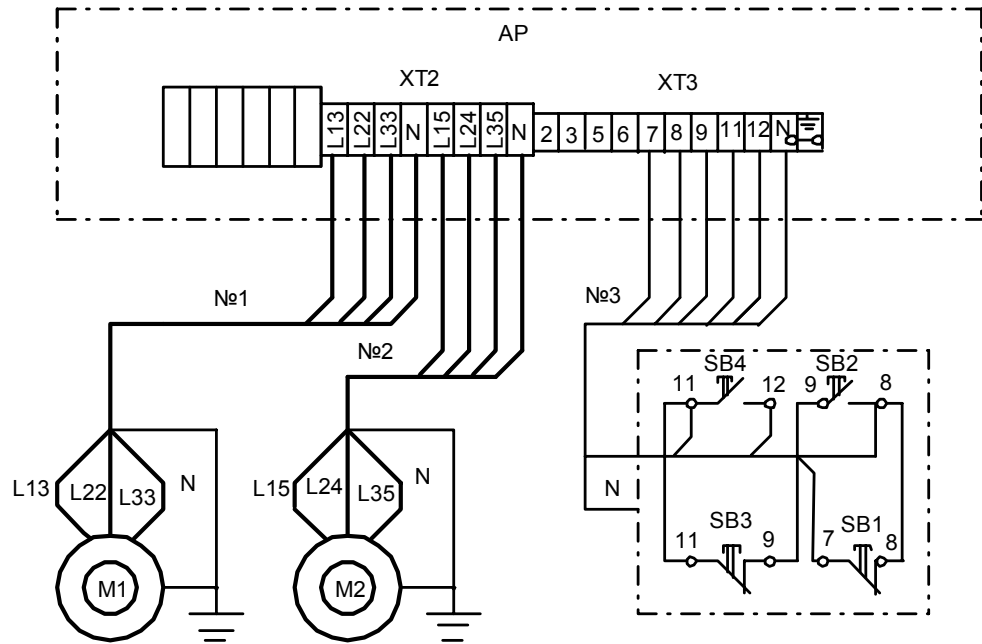


Рисунок 4.9 – Схема соединений (внешних) принципиальной схемы электропривода, представленной на рисунке 4.3

Таблица 4.3 – Таблица соединений (внешних) принципиальной схемы электропривода, представленной на рисунке 4.3

Номер трассы	Номер провода	Соединение		Данные провода			Примечания
		Откуда идет	Куда поступает	Расцветка	Марка	Сечение, мм <sup>2</sup>	
1	L13, L22, L33	AP-XT2	M1	черный	ПГВ	3X6	Металлорукав РЗ-Ц-Х; Ду25
1	N	AP-XT2	M1	зеленый	ПГВ	1X6	
2	L15, L24, L35	AP-XT2	M2	черный	ПГВ	3X4	Металлорукав РЗ-Ц-Х; Ду25
2	N	AP-XT2	M2	зеленый	ПГВ	1X4	
3	7, 8, 9, 11, 12	AP-XT3	SB	красный	ПГВ	5X0,75	Металлорукав РЗ-Ц-Х; Ду18
3	N	AP-XT2	SB	зеленый	ПГВ	1X0,75	

## 4.6 Схема подключений

Схема подключений показывает внешние подключения изделия, его входные и выходные элементы (зажимы, разъемы и т. п.) и определяет провода, жгуты и кабеля, которыми осуществляются подключения. Изделиями в схемах электроприводов являются отдельные законченные устройства, имеющие свои схемы соединений, например, панели и пульта, сложные преобразователи и др. Они на схемах подключений изображаются прямоугольниками, внутри которых условными графическими обозначениями показывают только его входные и выходные элементы, расположенные в местах, примерно соответствующих их расположению в изделии. Допускается изделие и его входные и выходные элементы изображать в виде внешних очертаний их конструкций. Около изображений входных и выходных элементов или внутренних проставляются позиционные обозначения, присвоенные им на принципиальной схеме или на схеме соединений. Провода, жгуты и кабели показываются на схеме подключений отдельными линиями. Допускается указывать марки, сечения и при необходимости расцветку проводов. На рисунке 4.10, а приведена схема подключений пульта сигнализация АН, выполненного в виде отдельного изделия с клеммником ХТ4, к панели управления АР (смотрите рисунки 4.3 и 4.8). Для выполнения схем подключений используется также адресный способ (рисунок 4.10, б) и таблицы соединений.

## 4.7 Общая схема

Общая схема определяет составные части комплекса, к которому относится групповой электропривод. На общей схеме изображают устройства, включающие индивидуальные электроприводы и другие установки и элементы схем управления, защиты, сигнализации и др., а также соединяющие их провода, жгуты и кабе-

ли. Устройства и элементы на общей схеме изображают в виде прямоугольников или внешних очертаний, а элементы – в виде условных графических обозначений. Расположение графических обозначений устройств и элементов на общей схеме должно давать примерное представление об их действительном расположении в комплексе, однако, если размещение устройств неизвестно, то их расположение должно обеспечивать простоту и наглядность показа электрических соединений между ними.

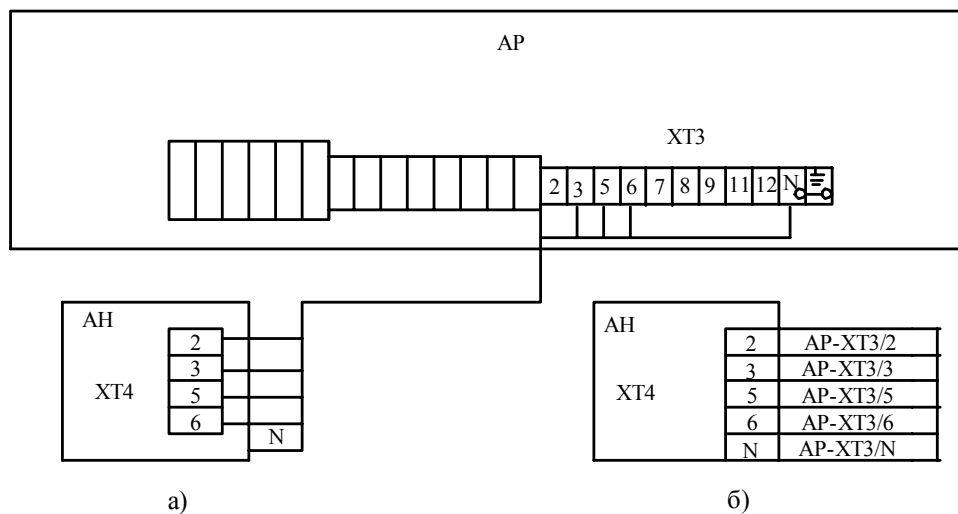


Рисунок 4.10 – Схема подключений принципиальной схемы электропривода, представленной на рисунке 4.3

#### 4.8 Схема расположения

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей изделия (устройств и элементов), электрические связи между ними (провода, жгуты, кабели). Составные части изделия изображают в виде условных графических обозначений или в виде внешних очертаний. Провода, жгуты и кабели изображают в виде отдельных линий или внешних очертаний.

В качестве изделия может рассматриваться, например, панель управления электропривода, расположенная в машинном отделении в открытом виде или в шкафу (смотрите рисунок 4.8). На панели управления располагаются контакторы, реле, выключатели, транс-

форматоры цепи управления и другие элементы. При размещении электрооборудования и составлении схем электрических соединений руководствуются требованиями удобства и простоты панели управления, удобства обслуживания ее, сокращения длины соединительных проводов, их числа с целью экономии меди и расстояний между токоведущими частями. Расположение аппаратуры управления на панели должно удовлетворять эстетическому восприятию панели.

## 5 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СХЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

Количество разрабатываемых схем должно быть минимальным. Схемы должны содержать сведения, достаточные для проектирования, изготовления, наладки, эксплуатации и ремонта, выполняться компактно, но без ущерба для понимания и удобства их чтения. Принципиальная схема должна обеспечивать нормальное функционирование промышленной установки, и в то же время быть простой и надежной, содержать по возможности наименьшее количество однотипных элементов и устройств. Минимизация схем зависит от опыта проектировщиков и их интуиции или достигается применением математических методов синтеза релейных схем.

Для повышения надежности работы промышленной установки в схемах используются электрические защиты и защитные блокировки, действующие при нарушении нормального режима работы электроприводов и промышленной установки.

Надежность работы схем повышается при использовании более надежных в работе аппаратов и особенно бесконтактных элементов и интегральных микросхем.

Простая электрическая схема должна обеспечить четкость действия аппаратуры при нормальных и аварийных режимах работы, то есть осуществлять требуемую последовательность работы электротехнических устройств. Эта последовательность при рабочих режимах часто задается технологическими блокировками, обеспечивающими, например, включение или отключение одного аппарата при включении или отключении другого (смотрите рисунок 4.3).

Электрические схемы должны обеспечить гибкость и удобство управления электроприводами, что позволяет быстро изменять режимы работы электроприводов и установок, ускорять и облегчать работу оператора. Для этого в схемах используются многопозиционные выключатели или ключи управления, осуществляющие пе-

реключение схемы с автоматического режима работы на ручной, и кнопки управления, обеспечивающие толчковые наладочные режимы. При больших размерах промышленных установок для удобства управления электроприводами широко используется управление из нескольких мест или применение подвесных пультов, перемещаемых при необходимости в нужное для оператора место.

Электрические схемы особенно сложных и ответственных механизмов должны обеспечивать простой контроль исправности цепей и аппаратов. С этой целью отдельные цепи схем секционируют и используют световую, звуковую и визуальную сигнализацию, позволяющую определить исправность цепей и аппаратов. Контроль исправности облегчается при использовании маркировок и разноцветных проводов.

Для удобства подключений, эксплуатации и ремонта современные электротехнические установки изготавливают состоящими из отдельных плат, блоков, панелей, шкафов. Эти узлы выполняются в специализированных цехах и заводах, а на промышленной установке производятся только их внешние соединения и подключения. Это позволяет повысить производительность труда при создании установок и их качество. Блочные конструкции устройств управления при их выходе из строя в процессе эксплуатации быстро заменяются запасными, а ремонт неисправных производится в специализированном цехе или участке.

Чтобы удовлетворить всем перечисленным здесь требованиям, обычно разрабатывают несколько вариантов схем управления и выбирают наилучший после проведения технико-экономического сравнения.

Задание на курсовое проектирование по дисциплине  
«Электрические и электронные аппараты»

1. Тема курсового проекта «Расчет и выбор аппаратов схемы управления электродвигателем».
2. Вариант курсового проекта (таблица 1.
3. Исходными данными для проектирования являются:
  - 3.1 Тип двигателя (паспортные данные представлены в приложении А);
  - 3.2 Принцип пуска двигателя (в функции...);
  - 3.3 Принцип торможения (в функции...);
  - 3.4 Наличие реверсирования двигателя;
  - 3.5 Виды используемых защит;
  - 3.6 Режим работы двигателя – ПВ 100 %;
  - 3.7 Двигатель пускается при номинальном моменте нагрузки  $M_c$  до номинальной скорости  $\omega_c$ .
4. В курсовом проекте требуется выполнить следующее:
  - 4.1 Дать описание типовых узлов автоматического пуска, торможения, реверсирования и защиты электродвигателя в зависимости от варианта задания;
  - 4.2 Построить естественную механическую характеристику электродвигателя;
  - 4.3 Построить пусковую диаграмму электродвигателя;
  - 4.4 Построить диаграмму при торможении;
  - 4.5 Разработать схему управления электродвигателем;
  - 4.6 Рассчитать и выбрать аппараты управления автоматическим пуском, торможением и защитой электродвигателя;
  - 4.7 Составить в соответствии с ЕСКД спецификацию на разработанную схему.
5. Графический материал курсового проекта должен содержать два листа формата А1.
  - 5.1 Лист 1 – Типовые узлы автоматического управления электродвигателем;
  - 5.2 Лист 2 – Схема управления электродвигателем.

Лист задания заполняется студентом лично и сдается руководителю курсового проекта на подпись и утверждение заведующим кафедрой.

Таблица 1 – Варианты задания на курсовой проект

Вариант	Тип двигателя*	Пуск в функции	Торможение ***	Реверс	Вид защиты					
					Нулевая	Максимально токовая	Минимально токовая	ОВ от перенапряжения	температурная	путевая
01	Д12	Время	Д t	-	+	+				
02	Д806	Ток	Д t	+				+		+
03	Д812	Скорость	Д t	-	+			+		
04	МТН111-6	Время	Д V	+	+	+				
05	МТН411-6	Ток	Д V	-			+		+	
06	МТН611-6	Скорость	Д V	+		+	+			
07	Д21	Время	П t	-		+		+		
08	Д808	Ток	П t	+	+		+			
09	Д814	Скорость	П t	-		+		+		
10	МТН112-6	Время	Д V	+	+				+	
11	МТН411-8	Ток	Д V	-			+			+
12	МТН713-10	Скорость	Д V	+		+			+	
13	Д22	Время	П t	-	+			+		
14	Д810	Ток	П t	+	+	+				
15	Д816	Скорость	П t	-		+		+		
16	МТН211-6	Время	П V	+		+				+
17	МТН412-8	Ток	П V	-	+				+	
18	МТН613-10	Скорость	П V	+			+			+
19	Д31	Время	Д t	-	+	+				
20	Д41	Ток	Д t	+		+		+		
21	Д818	Скорость	Д t	-		+				+
22	МТН311-6	Время	П V	+	+	+				
23	МТН612-10	Ток	П V	-					+	+
24	МТН712-10	Скорость	П V	+		+				+
25	Д21**	Время	Д V	-	+		+			
26	Д41**	Ток	П V	+			+	+		
27	Д808**	Скорость	Д V	-	+			+		
28	МТН312-8	Время	П V	+		+			+	
29	МТН512-8	Ток	Д V	-	+		+			
30	МТН711-10	Скорость	П V	+		+				+

\*Двигатели серии Д выбираются на напряжение 220 В тихоходного исполнения, параллельного возбуждения.

\*\*Эти двигатели выбираются быстроходного исполнения.

\*\*\* Д – торможение динамическое, П – торможение противовключением, t, V – соответственно в функции времени, скорости.

Приложение А  
(Справочное)

Технические данные металлургических электродвигателей серии МТН с фазным ротором, 50 Гц,  
220/380, 240/415, 400 и 500 В, ПВ = 100 %

Вариант	Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	КПД, %	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами	Максимальный момент, Н·м	Маховый момент ротора, кг·м <sup>2</sup>
04	МТН111-6	2,0	940	9,2	0,52	63,0	8,5	176	83	0,19
05	МТН411-6	14,0	975	46,0	0,57	80,5	38,0	235	683	2,00
06	МТН611-6	45,0	970	107,0	0,74	86,0	108,0	270	2610	13,1
10	МТН112-6	3,0	945	12,1	0,58	65,0	10,0	203	118	0,27
11	МТН411-8	10,0	720	35,6	0,55	77,5	31,5	206	569	2,15
12	МТН713-10	100,0	593	313,0	0,54	89,5	148,0	408	7310	60,00
16	МТН211-6	4,2	955	19,5	0,47	69,0	10,7	236	196	0,46
17	МТН412-8	13,0	730	55,0	0,46	78,0	33,0	248	883	3,00
18	МТН613-10	40,0	585	132,0	0,53	87,0	76,0	320	4120	25,00
22	МТН311-6	7,0	965	26,5	0,55	73,0	25,5	172	314	0,90
23	МТН612-10	35,0	580	108,0	0,58	85,0	88,0	248	3140	21,00
24	МТН712-10	80,0	592	195,0	0,57	88,5	147,0	272	4560	41,00
28	МТН312-8	6,0	725	25,0	0,49	74,0	24,0	165	422	1,25
29	МТН512-8	25,0	725	70,0	0,63	86,0	50,0	305	1370	5,70
30	МТН711-10	65,0	592	195,0	0,57	88,5	147,0	272	4560	41,00

Технические данные двигателей серии Д на напряжение 220 В, параллельное возбуждение, ПВ = 100 %.

Вариант	Тип двигателя	Мощность, кВт	Номинальный ток, А	Частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	Сопротивление последовательно обмотки, Ом	Ток параллельной обмотки, А
01	Д12 – тихоходный	2,5	15	1180	0,05	260	0,7
02	Д806 – тихоходный	22,0	116	650	1,0	65	2,7
03	Д812 – тихоходный	75,0	380	515	7,0	34	5,3
07	Д21 – тихоходный	4,5	26	1030	0,125	142	1,2
08	Д808 – тихоходный	37,0	192	575	2,0	44	3,93
09	Д814 – тихоходный	110,0	550	500	10,2	34	5,5
13	Д22 – тихоходный	6,0	33	1100	0,15	130	1,35
14	Д810 – тихоходный	55,0	282	550	3,65	46	3,9
15	Д816 – тихоходный	150,0	745	480	16,3	26	7,1
19	Д31 – тихоходный	8,0	44	840	0,3	120	1,45
20	Д41 – тихоходный	16,0	86	690	0,8	70	2,5
21	Д818 – тихоходный	185,0	920	450	27,5	22	8,3
25	Д21 – быстроходный	5,5	31	1440	0,125	142	1,2
26	Д41 – быстроходный	24,0	124	1100	0,8	70	2,5
27	Д808 – быстроходный	47,0	238	800	2,0	44	3,93

Примечание:

- 1) Перегрузочная способность электродвигателей серии Д при напряжении 220 В составляет  $I_{\text{н}} = 300\%$
- 2) Дополнительные паспортные данные можно посмотреть, например, в [6, 9].

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волович, Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств Электронный ресурс / Г. И. Волович. - Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств, 2019-04-19. - Саратов : Профобразование, 2017. - 528 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4488-0123-5
2. Синюкова, Т.В. Электрические и электронные аппараты Электронный ресурс : учебнометодическое пособие / А.В. Синюков / Т.В. Синюкова. - Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. - 27 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
3. Дудченко, О. Л. Теоретические основы электротехники Электронный ресурс : Учебнометодическое пособие / О. Л. Дудченко. - Теоретические основы электротехники, 2019-09-01. - Москва : Издательский Дом МИСиС, 2017. - 60 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 2227-8397
4. Крутов, А. В. Теоретические основы электротехники : учебное пособие / А.В. Крутов, Э.Л. Кочетова, Т.Ф. Гузанова. - 2-е изд., стер. - Минск : РИПО, 2016. - 376 с. : схем., ил. - <http://biblioclub.ru/>.