

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики  
и электротехники

П.А. Воронин, А.С. Безгин

# **ДИСКРЕТНЫЕ (ЛОГИЧЕСКИЕ) СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Оренбург  
2018

УДК 62-83(07)  
ББК 31.291я 7  
В 75

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С.В Митрофанов

**Воронин, П.А., А.С. Безгин**  
В75 Дискретные (логические) системы управления электроприводов и систем автоматизации: методические указания / П.А. Воронин, А.С. Безгин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. - 36 с.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, изучающих разделы дисциплины «Автоматизированный электропривод» очной формы обучения.

УДК 62-83(07)  
ББК 31.291я 7

© Воронин П.А.,  
Безгин А.С., 2018  
© ОГУ, 2018

## Содержание

Введение.....	4
1 Цель самостоятельной работы и организация работы над ней .....	5
2 Программа работы.....	5
3 Выбор исходных данных для варианта задания .....	6
4 Типовые узлы и схемы систем управления электроприводов.....	7
4.1 Общие сведения о электроприводе .....	7
4.2 Требования к выполнению электрических схем.....	8
4.3 Принципы автоматического управления пуском и торможением двигателя .	10
4.4 Составление релейно-контакторных систем управления электроприводов постоянного и переменного тока с использованием типовых узлов .....	11
4.5 Введение в РКСУ элементов защиты.....	12
4.6 Введение в РКСУ электрических блокировок .....	13
5 Анализ электрических схем логической системы управления .....	13
6 Элементы проектирования дискретной логической системы управления (ДЛСУ) на бесконтактных элементах .....	17
6.1 Общие сведения о проектировании логических схем управления на бесконтактных элементах.....	17
6.2 Проектирование дискретных бесконтактных схем управления на основе релейно-контакторного варианта схемы .....	17
6.3 Примеры построения простейших бесконтактных схем по релейно- контакторным схемам последовательно-параллельной структуры (класса П) ....	20
Заключение .....	26
Список использованных источников .....	26
Приложение А .....	28
Приложение Б .....	32

## Введение

Системы управления, придающие необходимые свойства электроприводу производственных механизмов и выполняющие задачи автоматизации технологических процессов, представляют собой часть автоматизированного электропривода и предназначены для управления электромеханическим преобразованием энергии с целью обеспечения заданного движения исполнительного органа рабочей машины. Дисциплина «Автоматизированный электропривод» рассматривается как логическое продолжение дисциплин «Электротехника», «Электронные устройства мехатронных и робототехнических систем», «Теория автоматического управления», «Электрические и гидравлические приводы мехатронных и робототехнических устройств».

Раздел дисциплины «Дискретные (логические) системы управления электроприводов и систем автоматизации» посвящен логическим системам управления в электроприводах, построенным на основе законов классической логики на дискретных элементах (электромагнитных реле, логических бесконтактных элементах и узлах).

Освоение методики и техники проектирования дискретных систем управления электропривода и систем автоматизации рабочих установок является неотъемлемой частью подготовки бакалавров по направлению подготовки 15.03.06.

В методических указаниях приводятся варианты технического задания для проектирования релейно-контакторной системы управления электропривода с силовыми резисторами в силовой цепи. Варианты заданий позволяют освоить методы синтеза электропривода, обеспечивающего автоматический пуск и торможение двигателей постоянного и переменного тока с использованием различных электрических аппаратов

Методические указания по проектированию релейно-контакторных систем управления дополнены сведениями по проектированию логических систем управ-

ления на бесконтактных элементах, что способствует более глубокому самостоятельному изучению студентами разделов учебной дисциплины.

В приложениях приведены основные технические данные элементов логических систем управления и примеры типовых электрических схем систем управления электроприводов.

## **1 Цель самостоятельной работы и организация работы над ней**

Целью выполнения самостоятельной работы по проектированию системы управления является закрепление практических навыков самостоятельного решения инженерных задач, развитие творческих способностей и умения пользоваться технической, нормативной и справочной литературой.

В качестве объекта управления для проектируемого электропривода рассматривается силовой канал привода постоянного или переменного тока в соответствии с вариантами задания.

Методы решения задач проектирования рассматриваются на лекционных и практических занятиях и консультациях, проводимых преподавателем дисциплины. При выполнении работы рекомендуется использовать примеры расчетов узлов электропривода, приведенные в приложении к методическим указаниям.

## **2 Программа работы**

Тема – Проектирование дискретной логической системы управления по условиям работы механизма.

2.1 В соответствии с вариантом задания разработать принципиальную схему объекта управления - силового канала электропривода.

2.2 По принципиальной схеме объекта управления построить механические характеристики двигателя (естественную и три искусственных) и диаграммы пуска

и торможения привода (для обезличенных параметров элементов принципиальной схемы или для конкретного типа электродвигателя – по выбору преподавателя).

2.3 Разработать принципиальную схему релейно-контакторной системы управления пуском и торможением электродвигателя, соответствующую заданному типу электродвигателя.

### 3 Выбор исходных данных для варианта задания

3.1 Исходные данные по заданному варианту определяются следующим образом. По таблице 3.1 для заданного варианта (от №1 до №24) по горизонтали от номера заданного варианта определяется тип электродвигателя и заданный принцип управления пуском двигателя. По вертикали определяется вид электрического торможения и принцип управления торможением.

Таблица 3.1 - Варианты исходных данных задания

Тип электродвигателя	Пуск двигателя по принципу	Вид торможения					
		Противовключением по принципу			Динамическое по принципу		
		времени	скорости	тока	времени	скорости	тока
		№ варианта задания					
Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением	времени	1	2	3	4	5	6
	тока	13	14	15	16	17	18
Асинхронный двигатель с фазным ротором и контактными кольцами	времени	7	8	9	10	11	12
	тока	19	20	21	22	23	24

3.2 Пуск двигателя до рабочей скорости осуществляется в 3 ступени.

3.3 Разработанная система управления должна быть предназначена для реверсивного электропривода.

## **4 Типовые узлы и схемы систем управления электроприводов**

### **4.1 Общие сведения о электроприводе**

В соответствии с [6] в состав электропривода входят электрический, электромеханический, механический преобразователи (силовой канал электропривода) и система управления электропривода, представляющая собой совокупность управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения электропривода, предназначенных для управления электромеханическим преобразованием энергии с целью обеспечения заданного движения исполнительного органа рабочей машины.

Для широкого класса механизмов применяются простой по технической реализации электропривод, координаты которого регулируются путем изменения сопротивления резисторов, включаемых в силовую цепь двигателя – электропривод с силовыми резисторами [6]. В приводах с двигателями постоянного тока средней и большой мощности и с асинхронными двигателями с фазным ротором при пуске и торможении двигателя требуется ограничить максимальное значение тока (пусковой ток, бросок тока при торможении), исходя из перегрузочной способности двигателя и требований к рабочей машины. Эта задача возлагается в автоматизированном электроприводе на систему управления, воздействующую на объект управления – силовой канал привода путем введения в силовые электрические цепи двигателя пусковых и тормозных резисторов. При пуске двигатель разгоняется по искусственной механической (электромеханической) характеристике, а в установившемся режиме работает на естественной характеристике. Наглядное представление о процессе пуска и торможения дают пусковые диаграммы, представленные и описанные в [1,2]. Пример электрической принципиальной схемы силовых цепей и

пусковая диаграмма электропривода постоянного тока при двух ступенях ускорения приведен на рисунке 4.1.

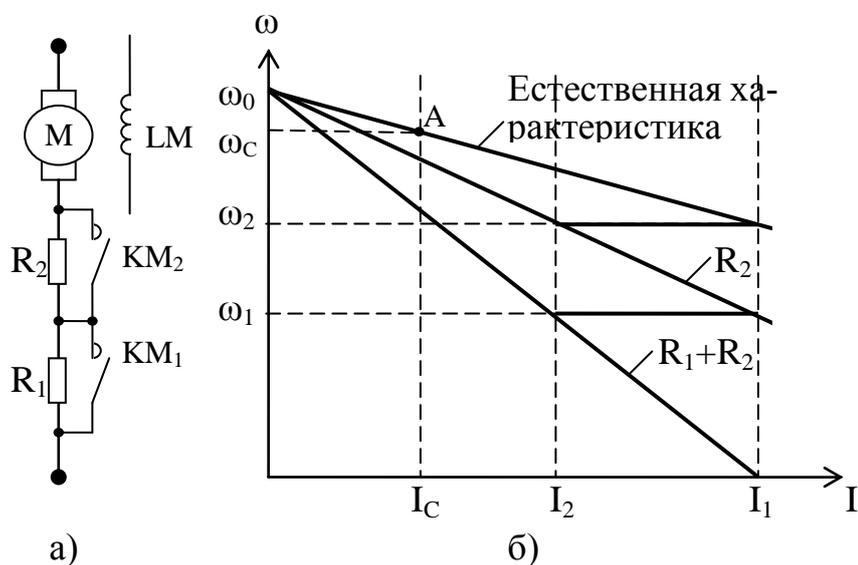


Рисунок 4.1 - Схема силовых цепей (а) и пусковая диаграмма привода (б)

## 4.2 Требования к выполнению электрических схем

Полное представление о составе, функционировании и связях элементов и узлов электроприводов и других электротехнических устройств дают электрические схемы. С точки зрения связей, способов передачи сигналов и возможности анализа удобно использовать принятое разделение электрических схем на системы и цепи.

Система – совокупность информационных и/или функциональных узлов, характеризующихся однонаправленной передачей информации и/или энергии (от входа к выходу). Для графического представления систем используются структурные схемы.

Цепь – совокупность элементов и связей между ними, причем элементы описываются определенными соотношениями токов, напряжений и их производных, а связи образуют замкнутые контуры, для которых справедливы законы Кирхгофа.

Цепи в электрических схемах подразделяются на силовые и цепи управления. Для графического представления цепей используются принципиальные схемы.

ГОСТ 2.701-84 определяет типы электрических схем:

- структурная (шифр схемы Э1);
- функциональная (Э2);
- принципиальная (Э3);
- схема соединения (Э4);
- схема подключения (Э5);
- общая (Э6);
- схема расположения (Э7).

Принципиальная схема определяет полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дает детальное представление о принципах работы установки. В электрических схемах узлы и их элементы обозначаются в соответствии с правилами, принятыми в Государственном стандарте по Единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Буквенные коды электрических элементов приведены в [2, таблица 1.1] и соответствуют ГОСТ 2.710-81. ГОСТ не запрещает применение буквенно-функциональных обозначений (на русском языке) элементов в дополнение к основному (латинскому) коду, если это способствует лучшему пониманию схемы.

В целом электрическая схема состоит из ряда электрических цепей, расположенных горизонтально или вертикально. Желательно располагать электрические цепи в соответствии с последовательностью действий отдельных элементов во времени. Для обозначения положения контактов, ключей и переключателей управления и других многопозиционных аппаратов и устройств используют специальные диаграммы, характеризующие состояние контактов при различных положениях аппаратов.

### 4.3 Принципы автоматического управления пуском и торможением двигателя

При пуске двигателя стремятся к получению «оптимальной» пусковой диаграммы, когда броски тока  $I_1$  при переключении ступеней между собой равны, а все токи переключения  $I_2$  тоже одинаковы. Типовые операции, выполняемые системой управления согласно законам классической логики, представляют собой логические функции входных переменных. При этом система управления выполняется либо релейно-контакторной (РКСУ), либо на бесконтактных элементах (БКЭ).

Анализ пусковой диаграммы (рисунок 5.1) показывает, что последовательное выключение ступеней пускового резистора в цепи якоря возможно несколькими способами:

- управление пуском *по принципу тока*, когда переключение ступеней наступает после снижения тока до тока переключения  $I_2$ , то есть в функции тока якоря двигателя;

- управление пуском *по принципу скорости*, когда переход с одной искусственной характеристики электропривода на другую возможен при достижении приводом скорости  $\omega_1$ , а затем -  $\omega_2$ , то есть в функции скорости;

- управление пуском *по принципу времени*, когда в процессе пуска отработывается заранее запрограммированное фиксированное время работы на каждой ступени ускорения, то есть в функции времени.

В условиях работы механизма при постоянной нагрузке и неизменном моменте инерции возможно управление пуском двигателя с использованием путевых переключателей, то есть в функции, или *по принципу пути*.

Независимо от принципа управления пуском и торможением двигателя выключение ступеней резисторов происходит через определенные интервалы времени и при этом изменяются ток и скорость двигателя.

#### **4.4 Составление релейно-контакторных систем управления электроприводов постоянного и переменного тока с использованием типовых узлов**

Под термином « релейно-контакторные системы управления» (РКСУ) понимаются [1,4] логические системы управления, построенные на релейно-контакторной элементной базе и осуществляющие автоматизацию работы двигателей. В задачу РКСУ входит автоматизация следующих операций:

- включение и отключение двигателя;
- выбор направления и величины скорости вращения;
- пуск и торможение двигателя;
- создание временных пауз в движении;
- защитное отключение двигателя и остановка механизма.

Примеры принципиальных схем РКСУ двигателями постоянного и переменного тока приведены в Приложении Б. В схемах использованы буквенно-цифровые функциональные позиционные обозначения элементов как на латинском, так и русском языках. Основные технические характеристики аппаратов управления приведены в Приложении А. Сам процесс составления РКСУ носит творческий характер, но проектирование принципиальной схемы ускоряется с применением типовых узлов.

При пуске двигателя по принципу тока в качестве датчика тока используются реле максимального тока (рисунок Б.1, реле КА), ток срабатывания которого настраивается на величину тока переключения  $I_2$ . Для реализации алгоритма пуска двигателя с одной или несколькими ступенями пусковых сопротивлений вводятся в систему управления промежуточные реле KV.

При пуске двигателя по принципу (в функции) времени в состав релейно - контакторной системы управления входят реле времени (рисунок Б.2, элемент КТ).

Для управления пуском, реверсом, торможения противовключением асинхронного двигателя в дискретных логических системах управления используется электромеханическое реле контроля скорости, устанавливаемое на валу электродвигателя (рисунок Б.3, элемент РКС).

В технологических установках иногда применяются электроприводы с двух-скоростными асинхронными двигателями, у которых ступенчатое регулирование скорости достигается за счет изменения числа пар полюсов путем изменения схемы включения секций статорной обмотки (рисунок Б.4). Такая схема применяется в электроприводах механизмов, если по технологии требуется ступенчатое регулирование скорости с постоянной мощностью на исполнительном органе механизма.

#### **4.5 Введение в РКСУ элементов защиты**

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для защиты приемников электроэнергии и электрических линий от токов короткого замыкания и токов перегрузки. Защита от токов короткого замыкания осуществляется максимальными расцепителями электромагнитного типа. Тепловые расцепители служат для защиты от токов перегрузки. Защита от коротких замыканий может осуществляться также плавкими вставками предохранителей (FU), а от токов перегрузки – тепловыми реле (FP) (рисунок Б.3).

Нулевая защита исключает несанкционированное повторное включение контактора при исчезновении или глубокой посадке питающего напряжения. При управлении с помощью кнопок нулевая защита реализуется с помощью блок - контактов контактора (рисунки Б.1, Б.2, элемент КМ1). При использовании ключей управления с фиксацией (многопозиционные командоконтроллеры) вводится специальное промежуточное реле (рисунок Б.5, элемент KV).

Защита от обрыва цепи возбуждения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (минимально токовая защита) осуществляется с помощью электромагнитного реле минимального тока. При обрыве цепи обмотки возбуждения реле теряет питание и отключает контактор силовой цепи якоря двигателя.

Обмотка возбуждения двигателя обладает значительной индуктивностью, и при быстром разрыве ее цепи на ней может возникнуть большое напряжение, что

приведет к пробое изоляции обмотки. Для защиты обмоток возбуждения двигателей и катушек реле и контакторов от коммутационных перенапряжений параллельно обмоткам и катушкам подсоединяют обратные диоды в цепях постоянного тока (рисунок Б.5) или RC-цепочки в цепях переменного тока.

#### 4.6 Введение в РКСУ электрических блокировок

Блокировочные связи в схемах управления электроприводов обеспечивают надежность работы схемы, необходимую последовательность работы отдельных элементов и предотвращают ошибочные действия оператора.

Схема, приведенная на рисунке Б.4, исключает одновременную работу контакторов В (Вперед) и Н (Назад). Блокировка осуществляется с помощью размыкающих контактов В и Н контакторов. На схеме, приведенной на рисунке Б.3, блокировка контакторов КМ1 и КМ2 осуществляется с помощью размыкающих контактов кнопок управления SB1 и SB2.

### 5 Анализ электрических схем логической системы управления

Любую электрическую схему удобно анализировать, переходя от словесного описания алгоритма функционирования системы управления к формальному в виде системы алгебраических (булевых) функций [9].

В релейно-контакторных схемах управления элементы имеют параллельно-последовательные соединения (схемы класса П) или «мостиковые» соединения (схемы класса Н). Независимо от структуры РКСУ можно выделить **входные** (командные) элементы и сигналы – кнопки и ключи управления, датчики тока, скорости, конечные выключатели, **выходные** (исполнительные) элементы и их сигналы – контакторы и исполнительные реле. В схемы могут присутствовать **промежуточные** элементы – промежуточные реле, реле времени и их сигналы. Контакты всех релейных элементов (входных, выходных, промежуточных) могут быть замыкаю-

щими или размыкающими. Каждому контакту и его сигналу присваивается буквенно-цифровое обозначение. При составлении алгебраических выражений для выходных и промежуточных сигналов принято катушки реле, контакторов, включаемые на напряжение питания контактами, обозначать прописными буквами латинского алфавита, замыкающие и размыкающие контакты реле – строчными буквами.

Пример 5.1. Обозначение катушки контактора – КМ1; обозначение замыкающего контакта контактора – км1; обозначение размыкающего контакта контактора –  $\overline{\text{км1}}$ .

В общем случае входные сигналы ДЛСУ обозначают начальными буквами латинского алфавита (a, b, c, d), выходные сигналы – конечными буквами латинского алфавита (x, y, w, v).

Так как реле (контактор) находится только в двух положениях – включено или выключено, что может соответствовать логическим понятиям «да» или «нет», то удобно состояние входных и выходных цепей реле описывать цифрами «1» и «0» в двоичном коде. Для контактных реле цифра «1» означает, что цепь замкнута, цифра «0» - цепь разомкнута.

Если контактное реле имеет размыкающий контакт и при этом катушка обесточена, то входной сигнал равен «0»; контакт замкнут – сигнал на выходе равен «1». При подаче напряжения на катушку сигнал на входе равен «1», реле размыкает свой контакт – сигнал на выходе равен «0». Реле в данном случае реализует логическую операцию «НЕ» (отрицание, инверсия), а сам логический элемент – инвертором. Алгебраическое выражение выходного сигнала инвертора записывается в виде:

$$y = \overline{a} . \quad (5.1)$$

Выражение читается так: «игрек равен не  $a$ ».

В случае наличия замыкающего контакта при подачи напряжения на катушку реле, оно выполняет логическую операцию «Повторение», а логический элемент называется повторителем. Алгебраическое выражение выходного сигнала повторителя записывается в виде:

$$y = a. \quad (5.2)$$

Повторитель на релейном элементе может использоваться для размножения контактов электрической цепи.

Алгебраическое выражение выходного сигнала при последовательном соединении контактов электрической цепи записывается в конъюнктивной форме (логическая функция перемножения).

Пример 5.2. Выходной сигнал  $y$  формируется последовательно соединенными контактами (сигналами)  $a$ ,  $c$ ,  $d$ . В этом случае:

$$y = a \times c \times d \quad (5.3)$$

или допустимо:

$$y = acd. \quad (5.4)$$

Алгебраическое выражение выходного сигнала при параллельном соединении контактов электрической цепи записывается в дизъюнктивной форме (логическая функция сложения).

Пример 5.3. Выходной сигнал  $y$  формируется параллельно соединенными контактами (сигналами)  $a$ ,  $c$ ,  $d$ . В этом случае:

$$y = a + c + d. \quad (5.5)$$

Для сложных электрических цепей (класса П) алгебраическое выражение выходного сигнала записывается в конъюнктивной нормальной форме (КНФ) или в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ).

Пример 5.4. Конъюнктивная нормальная форма записи:

$$y = (a + b) (b + c) (a + d). \quad (5.6)$$

Пример 5.5. Дизъюнктивная нормальная форма записи:

$$y = ab + cd + \bar{a}d + df. \quad (5.7)$$

При наличии узлов электрической схемы с мостиковыми структурами для получения алгебраических выражений сигнала, идущего к определенному аппарату, приходится записывать структурные формулы для всех возможных цепей включения этого аппарата. В результате алгебраическое выражение выходного сигнала записывается в дизъюнктивной нормальной форме. Следует отметить, что в этом случае могут появиться алгебраические равносильности, соответствующие так называемым «лишним цепям».

Алгебраическое выражение всей логической системы управления записывается как дизъюнкция полных алгебраических выражений для всех исполнительных (выходных) элементов. Если через функцию  $f(a, b, c) = y(a, b, c)$  обозначим алгебраическое выражение для выходного сигнала  $y$ , то полное алгебраическое выражение исполнительного элемента  $Y$  принимает вид:

$$F(Y) = f(a, b, c)y. \quad (5.8)$$

Полное алгебраическое выражение ДЛСУ принимает вид:

$$F(X, Y, W, V) = F(X) + F(Y) + F(W) + F(V). \quad (5.9)$$

Примеры составления алгебраических (булевых) выражения для релейно-контакторных схем системы управления приведены в разделе 7 методических указаний.

## **6 Элементы проектирования дискретной логической системы управления (ДЛСУ) на бесконтактных элементах**

### **6.1 Общие сведения о проектировании логических схем управления на бесконтактных элементах**

В практической работе по проектированию дискретных бесконтактных схем промышленной автоматики можно отметить два направления в методике математического описания работы схемы:

- составление структурных формул по релейно-контакторному варианту схемы;
- составление структурных формул на основе логического синтеза схемы по заданным условиям технологического процесса.

### **6.2 Проектирование дискретных бесконтактных схем управления на основе релейно-контакторного варианта схемы**

В распоряжении разработчика должен быть релейно-контакторный вариант схемы, проверенный и хорошо зарекомендовавший себя в практической работе. Релейно-контакторные электрические схемы управления содержат контакты, катушки электрических аппаратов. На схемах можно выделить входные элементы с контактами «а», «b», «с», «d»..., исполнительные (выходные) и промежуточные элементы «X», «Y», «Z» ... , «P» с контактами «x», «y», «z» ... , «p». Через входные элементы (кнопки, конечные выключатели) подаются в функциональную часть схемы управления входные сигналы. Входные, промежуточные и выходные сигналы обозначаются так же как контакты соответствующих элементов. Замыкающие контакты в формулах и некоторых схемных изображениях обозначаются буквами без черточек над ними, а размыкающие – буквами с черточками.

Работа по составлению структурных формул производится в два этапа.

На первом этапе в результате анализа релейно-контакторной схемы производится разделение всех сигналов, действующих в схеме, на входные, промежуточные и выходные. Каждому сигналу присваивается буквенное обозначение. Группировку и обозначения сигналов по релейно-контакторной схеме рекомендуется производить в следующем порядке:

1) выявить и обозначить все выходные сигналы (сигналы о состоянии конечных и промежуточных выключателей, кнопок управления, дверных контактов, датчиков, контролирующих пресс);

2) произвести сокращение входных сигналов путем объединения ряда простых сигналов одним эквивалентным им сложным сигналом (например, при последовательном соединении нескольких контактов в блокировочной цепи их сигналов могут быть объединены одним сложным сигналом, обозначающим конъюнкцию элементарных сигналов);

3) выявить и сгруппировать все выходные сигналы, управляющие исполнительными элементами – контакторами, электромагнитами и т.п;

4) выделить и сгруппировать все промежуточные сигналы, появляющиеся в результате срабатывания промежуточных элементов схемы (к промежуточным элементам относятся промежуточные реле различного назначения);

5) промежуточные сигналы разделить на сигналы без обратных связей и сигналы с обратными связями. Цепи сигналов без обратных связей содержат контакты только входных элементов. В цепях сигналов с обратными связями включены контакты элементов, управляемых этими сигналами, или других промежуточных или входных элементов.

На втором этапе составления структурных формул производится запись алгебраических выражений, соответствующих цепям выходных и промежуточных переменных релейно-контакторной схемы.

По полученным структурным формулам может быть построена логическая схема на элементах И, ИЛИ, НЕ.

Схемы подобного типа не учитывают особенностей включения конкретного типа логических элементов, однако включение этих схем в состав технического проекта желательно для облегчения уяснения работы схемы управления.

После выбора серийных логических элементов необходимо выполнить преобразование структурных формул с учетом условий включения выбранных элементов. Данные по логическим (цифровым) микросхемам взять в справочнике, например, [10].

По преобразованным структурным формулам происходит построение структурно-принципиальной схемы на логических элементах выбранной серии.

Составление алгебраических выражений и структурных схем рекомендуется производить в следующем порядке:

- 1) составить уравнения для выходных сигналов;
- 2) составить уравнения для промежуточных сигналов без обратных связей;
- 3) составить уравнения для промежуточных сигналов с обратными связями;
- 4) в уравнениях выходных сигналов и промежуточных сигналов с обратными связями заменить значения встречающихся промежуточных сигналов без обратных связей их выражениями через выходные сигналы;
- 5) преобразовать полученные уравнения, если это окажется возможным, с использованием алгебраических равносильностей;
- 6) составить логическую схему управления на элементах И, ИЛИ, НЕ, реализующую полученные уравнения;
- 7) произвести преобразования структурных формул с учетом особенностей выбранного типа логических элементов;
- 8) произвести группировку преобразованных структурных формул по функциональным узлам.

Примечание: О равносильности двух функций:

При определении равносильности двух функций следует учитывать:

- способ, основанный на сравнении таблиц истинности рассматриваемых функций, наиболее нагляден, но не удобен при большом числе переменных;

- формальный способ приведения одной функции к виду другой функции в ряде случаев может оказаться удобным, однако он не алгоритмичен, так как нельзя указать общий порядок применения равносильностей.

### **6.3 Примеры построения простейших бесконтактных схем по релейно-контакторным схемам последовательно-параллельной структуры (класса П)**

Пример 6.1 Схема включения контактора КМ2 второй очереди транспортера с основного и выносного пульта (рисунок 6.1, а). Для соблюдения последовательности технологических операций в схему управления введена блокировка с первой очереди транспортера (блок-контакт КМ1

1 этап:

1) Выделяем входные сигналы и обозначаем буквами:

контакт  $K_H\Pi_1 \equiv a$  ; контакт КМ1  $\equiv b$  ; контакт  $K_H C_1 \equiv c$  ; контакт  $K_H\Pi_2 \equiv d$  ;  
контакт  $K_H C_2 \equiv e$ .

2) Выделяем исполнительный элемент:

Катушки КМ2  $\equiv Z$  ; блок-контакт КМ2  $\equiv z$ .

3) Изображаем второй вариант релейно-контакторной схемы управления (рисунок 7.1,б).

2 этап:

1) Производится запись структурной формулы для контактов цепи включения исполнительного элемента  $Z$ .

$$f_{(z)} = [(a + d) \cdot b + z] \cdot \bar{c} \cdot \bar{e} \quad (6.1)$$

2) Этой формуле соответствует бесконтактная схема (в) на логических элементах И, ИЛИ, НЕ (рисунок 6.1,в).

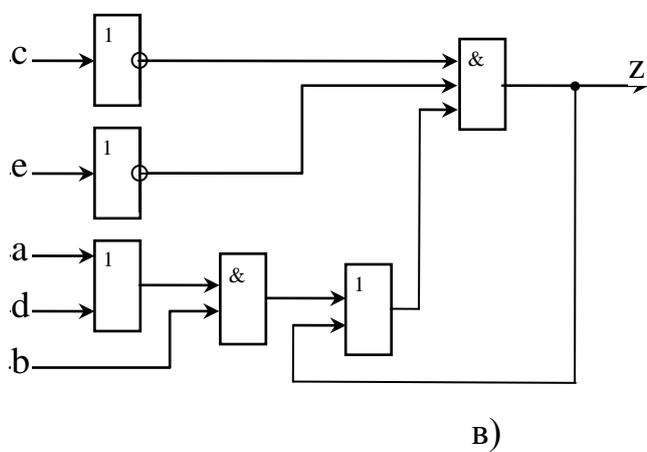
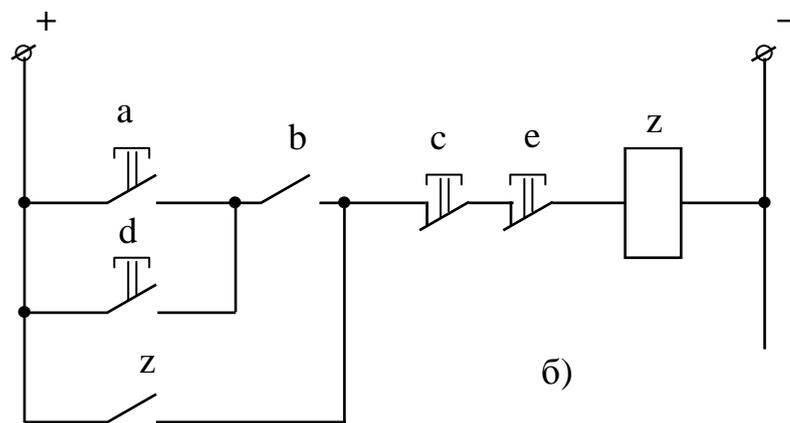
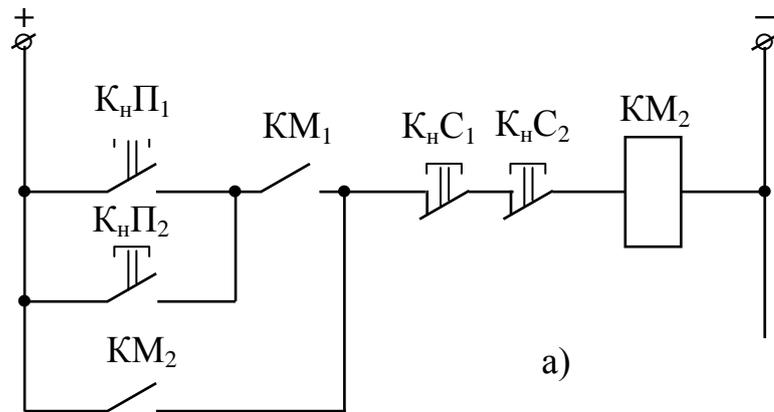


Рисунок 6.1 – Схема включения контактора (а), преобразованная схема (б),

бесконтактная схема на логических элементах (в)

3) Полная структурная формула всей цепи (элемента Z):

$$F(Z) = [(a+d) \cdot b + z] \cdot \bar{c} \cdot \bar{e} \cdot z \quad (6.2)$$

4) Реализуем логическую схему (в) на элементах УБСР-ДИ серии К155 [10].

Производим преобразование структурной формулы с учетом особенностей выбранной серии элементов:

$$F(Z) = [(a+d) \cdot b + z] \cdot \overline{(c+e)} \cdot z \quad (6.3)$$

Используем микросхемы: DD1 – К155ЛЛ1 – 4 элемента «2 ИЛИ»,

DD2 – К155ЛИ1 – 4 элемента «2 И», DD3 – К155ЛЕ1 – 4 элемента «2 ИЛИ -

НЕ» (рисунок 6.2).

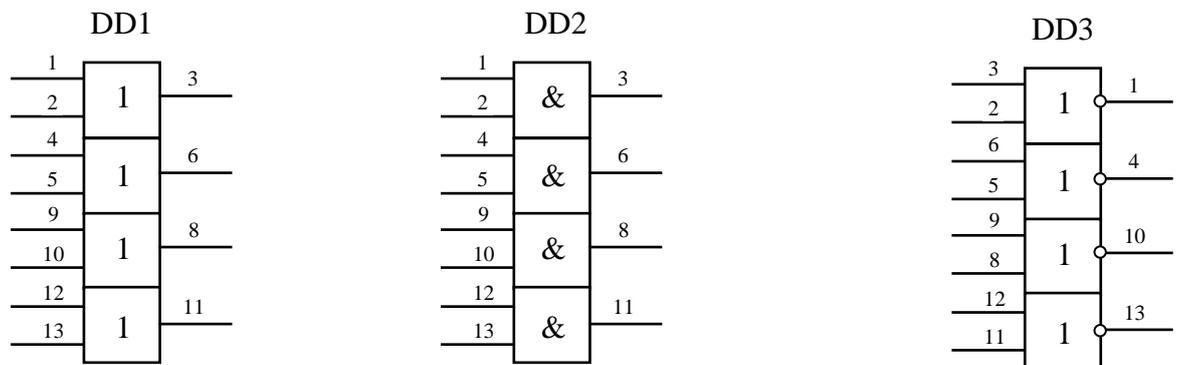


Рисунок 6.2 – Условное обозначение микросхем

5) Получаем принципиальную схему блока управления на бесконтактных элементах (рисунок 6.3).

6) В качестве устройства сопряжения блока управления с исполнительными элементами (контакторами) можно использовать твердотельные оптоэлектронные

реле (Приложение А, таблица А.9). Пример использования однополярного реле средней мощности для цепи постоянного тока типа К293КП12БП показан на рисунке 6.3. Твердотельное реле содержит также обратный вентиль (чаще стабилитрон) для защиты нагрузки от коммутационных перенапряжений

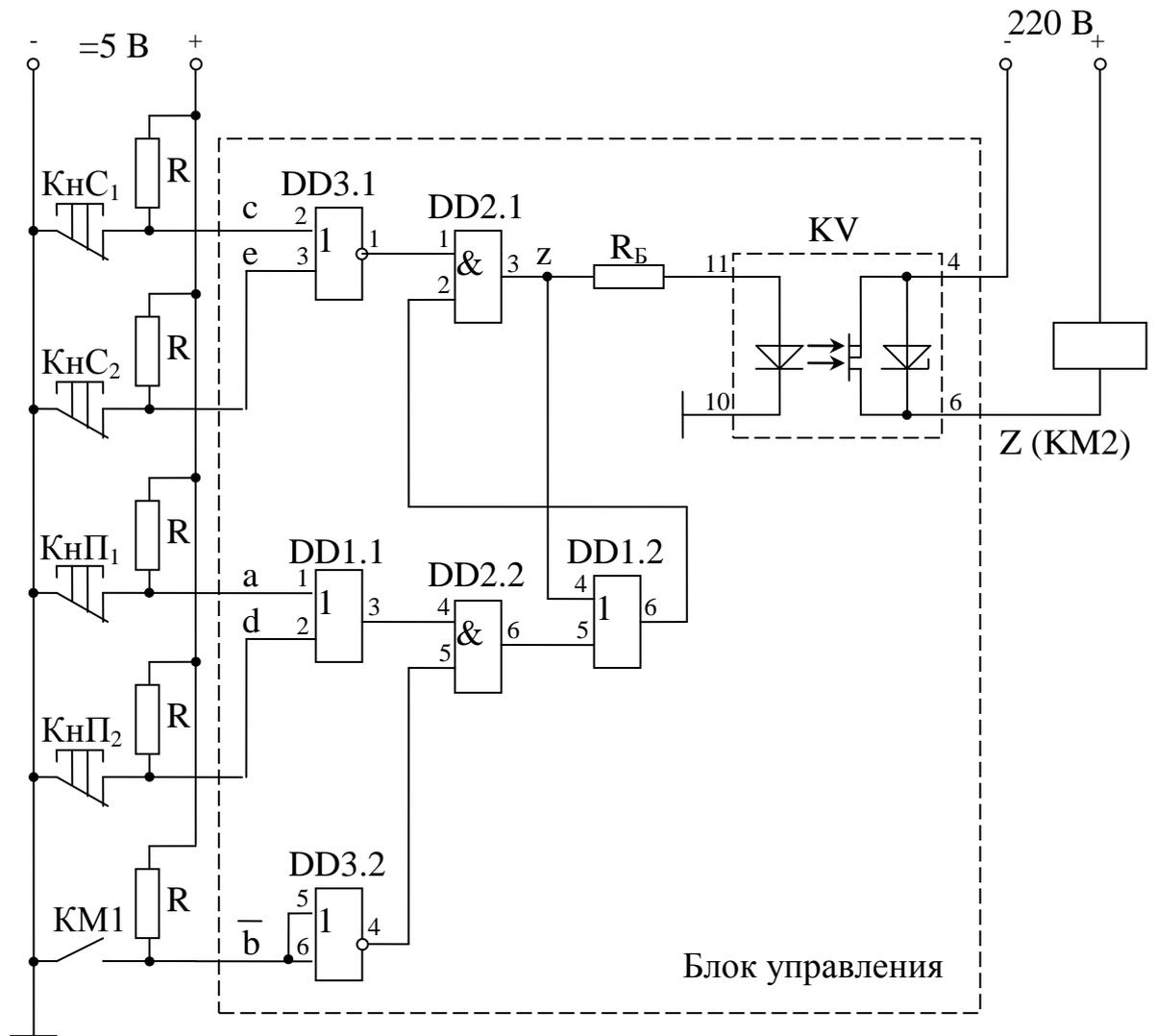


Рисунок 6.3 – Пример реализации устройства сопряжения

Пример 6.2 Схема пуска двигателя с последовательным возбуждением в одну ступень по принципу тока (рисунок 6.4).

Для ограничения пускового тока двигателя в силовую цепь двигателя включен резистор  $R_d$ . Для контроля величины тока переключения использовано реле тока КА.

1 этап. Выделение сигналов:

1. Входные элементы и сигналы:

Кнопки управления:

а) SB1 (Стоп) – А (сигнал, размыкающий контакт –  $\bar{a}$ );

б) SB2 (Пуск) – В (сигнал, замыкающий контакт – b).

Реле тока – С (сигнал, размыкающий контакт –  $\bar{c}$ ).

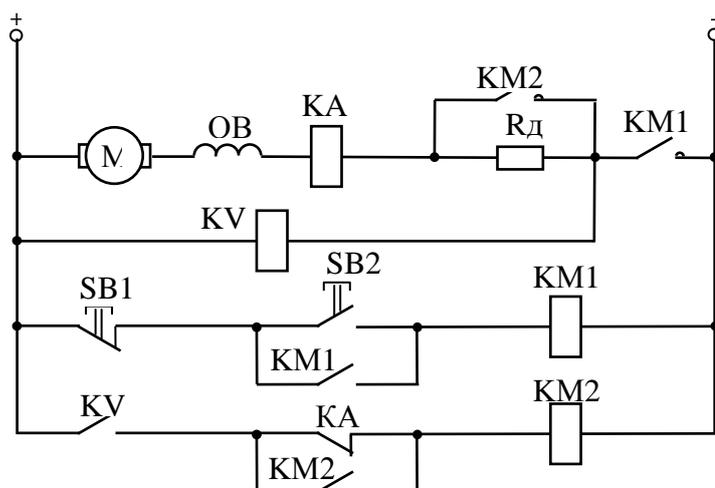


Рисунок 6.4 Схема пуска двигателя с последовательным возбуждением в одну ступень по принципу тока

2. Исполнительные элементы и сигналы:

а) контактор KM1 – X (сигнал, замыкающий контакт x);

б) контактор KM2 – Y (сигнал, замыкающий контакт y).

3. Промежуточный элемент - реле управления KV – P (сигнал, замыкающий контакт p).

2этап. Составление алгебраических выражений и синтез структурной схемы:

1 Булевы выражения для выходных и промежуточных сигналов:

$$x = (b + x) \cdot \bar{a}; \quad (6.4)$$

$$y = (\bar{c} + y) \cdot p; \quad (6.5)$$

$$p = x = (b + x) \cdot \bar{a}. \quad (6.6)$$

2 Полные структурные формулы для исполнительных элементов:

$$F(X) = X = (b + x) \cdot \bar{a} \cdot x;$$

$$F(Y) = Y = (\bar{c} + y) \cdot p \cdot y = (\bar{c} + y) \cdot (b + x) \cdot \bar{a} \cdot y. \quad (6.7)$$

3 Полная структурная формула для всей системы управления:

$$F(X, Y) = (b + x) \cdot \bar{a} \cdot x + (\bar{c} + y) \cdot (b + x) \cdot \bar{a} \cdot y. \quad (6.8)$$

4 Структурная схема СУЭП на бесконтактных логических элементах И, ИЛИ, НЕ приведена на рисунке 6.5.

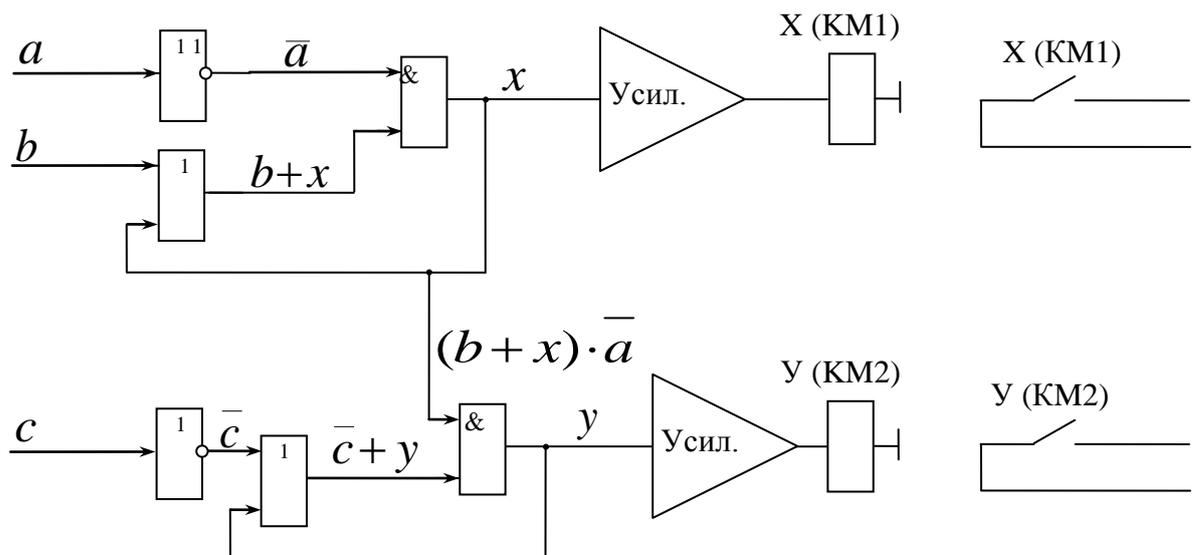


Рисунок 6.5 – Структурная схема системы управления

5 Реализация логической схемы на элементах УБСР-ДИ серии К155 [10]:

DD1 – К155ЛЛ1 – 4 элемента 2 ИЛИ

DD2 – К155ЛИ1 – 4 элемента 2 И

DD3 – К155ЛН1 – 6 элементов НЕ и т.д, аналогично примеру 6.2.

## **Заключение**

По окончании выполнения работы по проектированию системы электропривода с силовыми резисторами необходимо проанализировать выполненные в процессе проектирования основные этапы расчетов системы управления привода, сопоставить результаты проектирования с требованиями задания.

## **Список использованных источников**

1 Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под. ред. В.М. Терехова.-М.: Издательский центр «Академия», 2005.-304 с.

2 Системы автоматизированного управления электроприводами: учебное пособие / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; под общ. ред. Ю.Н. Петренко. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Новое знание, 2007. – 394 с.: ил.

3 Воронин, П.А. Элементы проектирования логических систем управления электроприводов: методические указания по курсу «Системы управления электроприводов» / П.А. Воронин; Оренбургский гос. ун-т.- Оренбург; ОГУ, 2011. – 36 с.

4 Электротехнический справочник: В 4т. Т.4: Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов).- 8-е изд., испр. и доп. –М.: Издательство МЭИ, 2002.-696 с.

5 Онищенко, Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов. / Г.Б. Онищенко –М.: РАСХН, 2003. –320 с.: ил.

6 ГОСТ Р 50369 – 92. Электроприводы. Термины и определения. - введ. 1993-01-07-М.: Издательство стандартов, 1993.-13 с.

7 Каталог электротехнической продукции ИЭК, 2006. -336 с.

8 Каталог реле ОАО «ВНИИР», 2004. -39 с.

9 Гаврилов, М.А. Теория релейно-контакторных схем. / М.А. Гаврилов – М.: А.Н.СССР, 1950г.

10 Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова [и др.]; под. ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. 496 с.: ил.

## Приложение А (справочное)

### Основные технические данные элементов логических систем управления

Аппараты, приведенные в таблицах А.1 – А.5, А.7, являются продукцией российской компании «Интерэлектрокомплект» [7] и на них установлен гарантийный срок 3 года при минимальном сроке эксплуатации 15 лет. Аппараты, приведенные в таблице А.6 разработаны ОАО «ВНИИР» [8].

Таблица А.1 – Контакторы малогабаритные серии КМИ

Типоисполнение	Габарит	Номинальный рабочий ток, А	Номинальная мощность по категории применения АС-3, кВт	Количество встроенных контактов
КМИ-10910	1	9	2,2 – 5,5	1з
КМИ-11210	1	12	3 – 7,5	1з
КМИ-11810	1	18	4 – 10	1з
КМИ-22510	2	25	5,5 – 15	1з
КМИ-23210	2	32	7,5 – 18,5	1з
КМИ-34012	3	40	11 – 30	1з + 1р
КМИ-46512	4	65	18,5 – 37	1з + 1р
КМИ-49512	4	95	25 - 45	1з + 1р

Примечание: Номинальное рабочее напряжение: 220, 400, 660 В, 50 Гц. Номинальное напряжение катушек управления: 24, 36, 110, 230, 400 В, 50 Гц.

Таблица А.2 – Дополнительные устройства для контакторов КМИ, КТИ

Наименование устройства	Общие сведения	Тип	Технические характеристики
Контактные приставки КПИ	Предназначены для расширения возможности использования контакторов в системах автоматизации технологических процессов	ПКИ-11 ПКИ-04 ПКИ-40 ПКИ-22	1з + 1р 4р 4з 2з + 2р
Пневматические приставки выдержки времени	Позволяют получить задержку замыкания или размыкания вспомогательной цепи от	ПВИ-11 ПВИ-12	Задержка при вкл. 0,1–30 с. Задержка при вкл.

ПВИ	0,1 до 180 с. Механическое устройство, без собственного потребления электроэнергии. Контакты: 1з + 1р.	ПВИ-21 ПВИ-22	10–180 с. Задержка при откл. 0,1–30 с. Задержка при откл. 10–180 с.
-----	--	------------------	---

Таблица А.3 – Электротепловые реле РТИ

Общие сведения	Типоисполнение	Диапазон регулирования тока
Предназначены для защиты электродвигателей от перегрузки, асимметрии фаз, затянутого пуска и заклинивания ротора и устанавливаются непосредственно на контакторе КМИ. Снабжены размыкающим контактом для отключения контактора и замыкающим контактом для сигнализации срабатывания. Номинальное рабочее напряжение 660 В. Частота напряжения 50 Гц. Класс расцепления 10. Степень защиты – IP20.	РТИ – 1301	0,1 – 0,16
	РТИ – 1305	0,63 – 1,0
	РТИ – 1306	1,0 – 1,6
	РТИ – 1310	4 – 6
	РТИ – 1312	5,5 – 8
	РТИ – 1316	9 – 13
	РТИ – 1321	12 – 18
	РТИ – 1322	17 – 25
	РТИ - 2353	28 – 36
	РТИ - 3355	30 – 40
	РТИ - 3357	37 – 50
РТИ - 3359	48 – 65	

Таблица А.4 – Реле промежуточные модульной серии типа РЭК

Общие сведения	Типоисполнение	Количество групп переключающих контактов	Номинальный ток контактов, А
Номинальное напряжение катушки, В: переменный ток: 12, 24, 230; Постоянный ток: 12, 24. Тип присоединяемого разъема: РРМ77, РРМ78.	РЭК 77/3	3	10
	РЭК 77/4	4	10
	РЭК 78/3	3	5
	РЭК 78/4	4	3

Таблица А.5 – Кнопки управления

Параметры	Наименование	Цветовая гамма
Номинальное рабочее напряжение, В: переменный ток – до 660; постоянный ток – до 400. Номинальный рабочий ток контактов, А: категория применения АС - 2,5 – 10; категория применения DC – 0,6 – 10. Количество контактов: 1з +1р.	ABLF-22	желтый, зеленый, красный
	ABLFP-22	желтый, зеленый, красный
	ABLFS-22	желтый, зеленый, красный
	АЕА-22 Грибок	желтый, зеленый, красный
	АЕ-22 Грибок с фиксацией	красный

Таблица А.6 – Основные технические данные аппаратов

Наименование аппарата	Параметр	Значение параметра	
Реле промежуточное РП21М	Номинальное напряжение контактов, В	380	
	Номинальный ток контактов, А	6	
	Количество контактов (замык., размык., перекл.)	1, 2, 3, 4	
	Номинальное напряжение катушки, В:	постоянного тока	6 – 220
		переменного тока	12 - 380
Реле времени серии РСВ17	Выдержка времени на включение, с	0,1 – 10; 1 – 100	
	Количество контактов	3 п	
	Номинальное напряжение питания, В:	постоянного тока	24, 110, 220
		переменного тока	110, 220, 230
Реле максимального постоянного тока РМПТ-01	Напряжение контролируемой цепи постоянного тока, В	175 – 280	
	Уставка по базисному току	0,64; 0,8; 1,0	
	Коэффициент возврата реле	0,9	
	Количество выходных контактов	1з + 1р	
	Примечание: Реле используется совместно с измерительным шунтом ШС75		

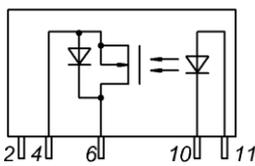
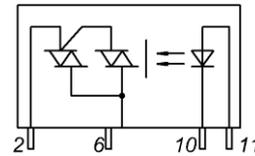
Таблица А.7 – Автоматические выключатели (автоматы) ВА 47-29

Общие сведения	Параметр	Значение параметра
Номинальное напряжение частотой 50 Гц – 230/400 В. Номинальная отключающая способность – 4500 А. Степень защиты выключателя – IP20.	Номинальный ток, А	0,5 – 63
	Число полюсов	1, 2, 3, 4
	Характеристики расцепителя	B, C, D

Таблица А.8 – Выключатель дифференциальный ВД1-63 (УЗО)

Общие сведения	Параметр	Значение параметра	
Предназначен для защиты человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждении изоляции. При использовании дифференциального выключателя необходимо последовательно с ним включать автомат ВА 47-29.	Номинальное рабочее напряжение, В	230	230/400
	Номинальный ток, А	16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100
	Число полюсов	2	4
	Номинальный отключающий дифференциальный ток, mA	10, 30, 100, 300	30, 100, 300, 500
	Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	40	40

Таблица А.9 – Твердотельные оптоэлектронные реле

Тип	Особенности	Электрическая схема	Ток коммутации, А	Напряжение коммутации, В	Тип корпуса
К293КП12АП К293КП12БП	Однополярное		3,0 0,7	60, пост. ток 400, пост. ток	SIP12 SIP12
5П104	Двуполярное		2,0	380, перем. ток	SIP4

## Приложение Б (справочное)

### Примеры типовых узлов и схемы дискретных систем управления электроприводов

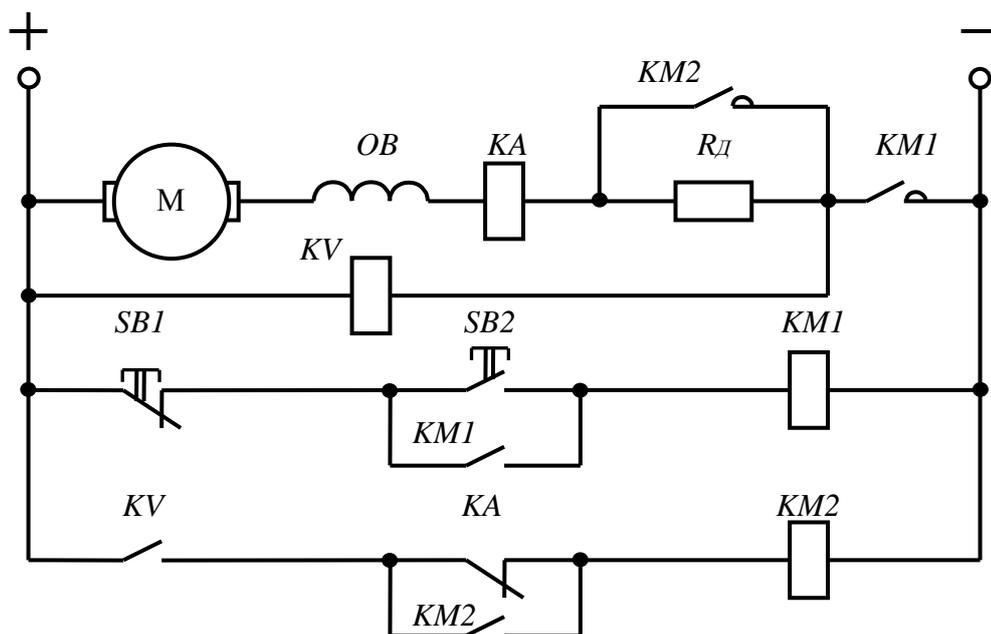


Рисунок Б.1 - Схема пуска двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением в одну ступень по принципу тока

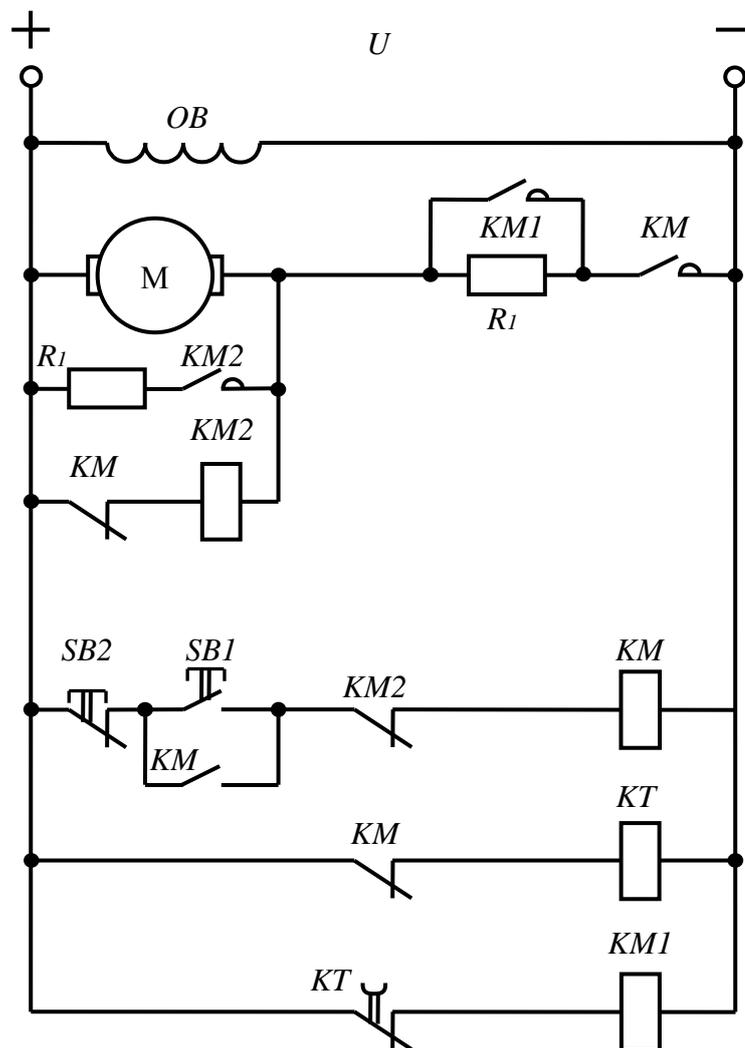


Рисунок Б.2 - Схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в одну ступень в функции времени и динамического торможения в функции ЭДС

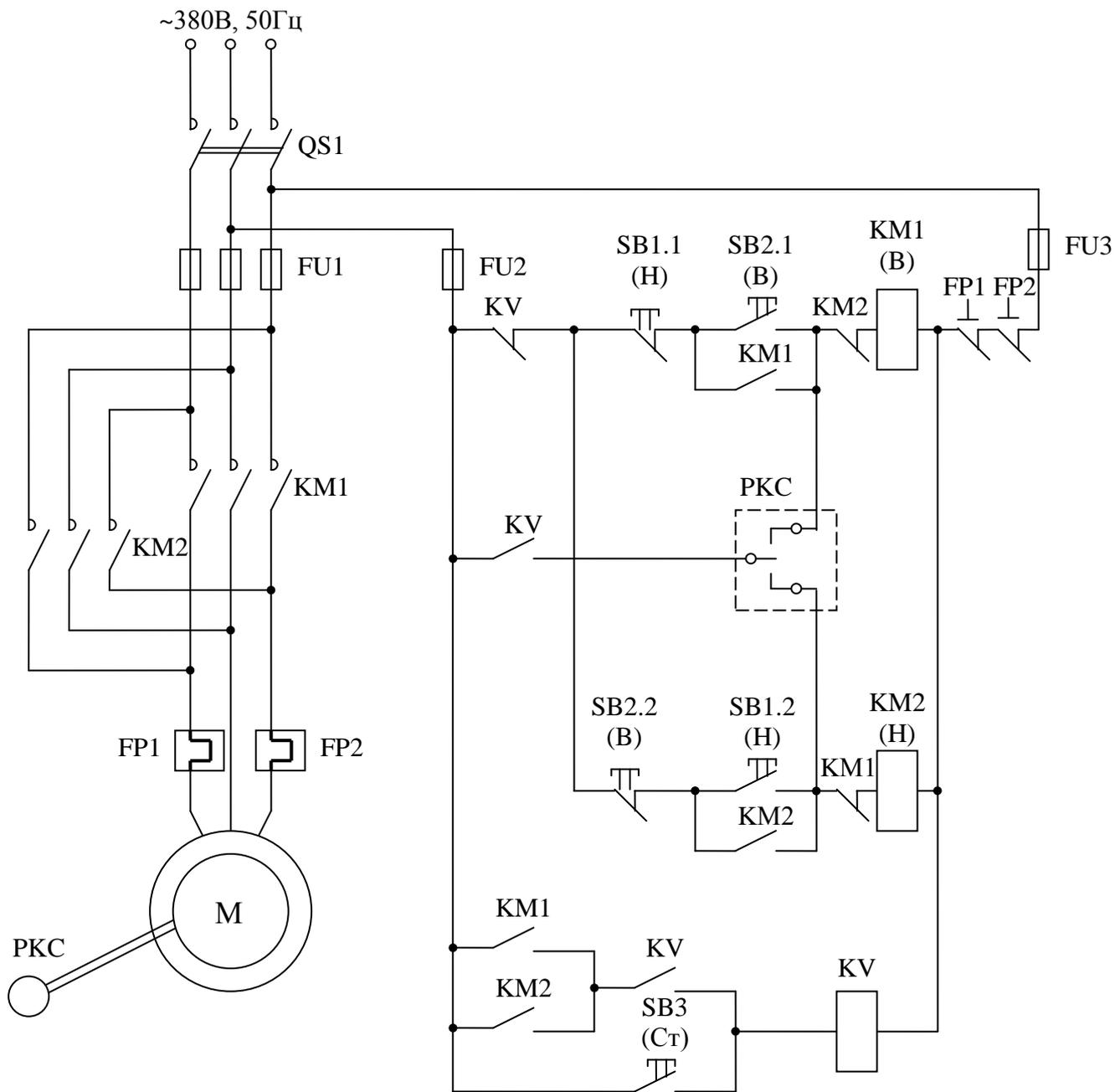


Рисунок Б.3 - Управление пуском, реверсом и торможением противовключением асинхронного двигателя в функции скорости

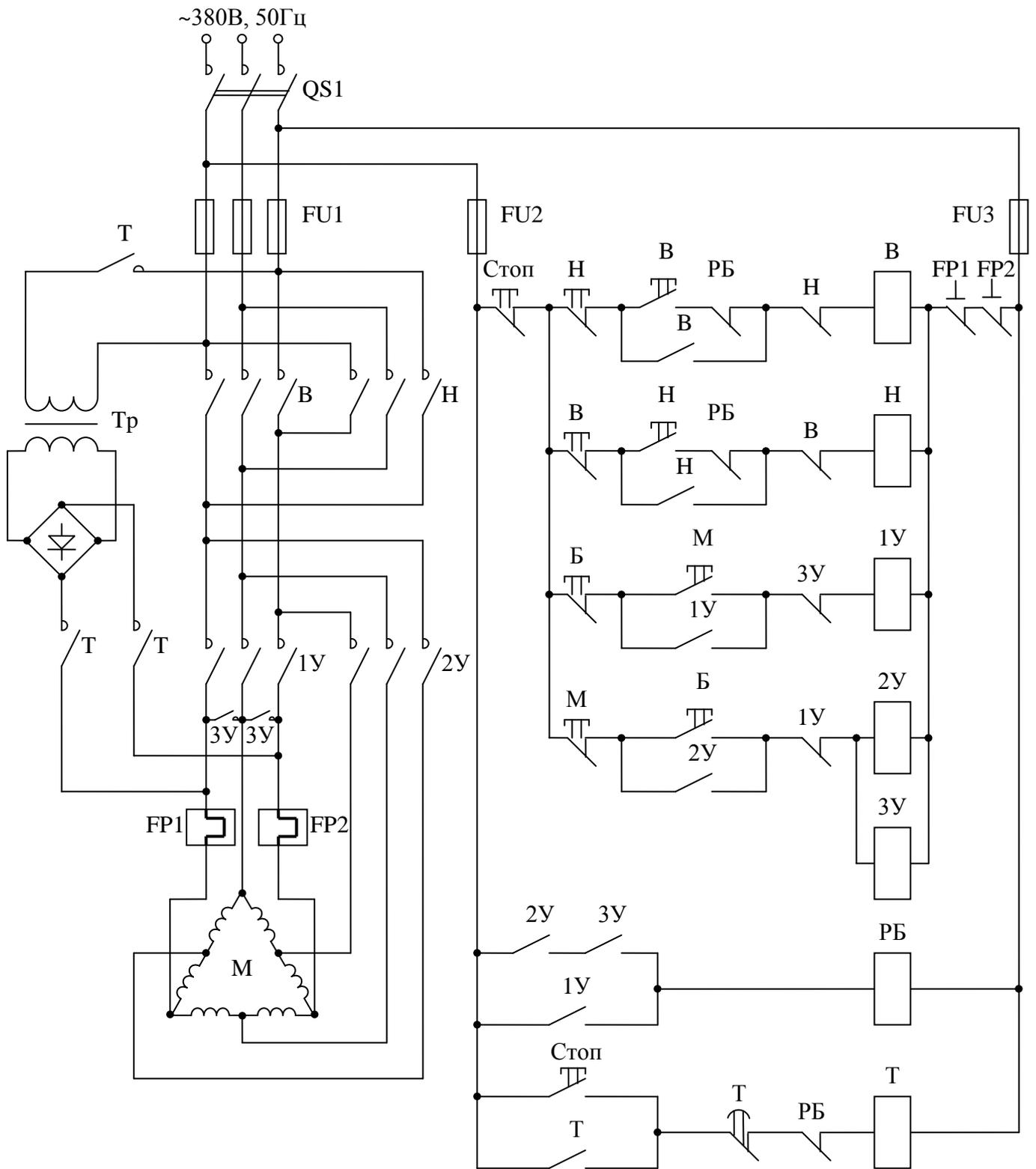


Рисунок Б.4 - Схема асинхронного привода с двухскоростным асинхронным двигателем

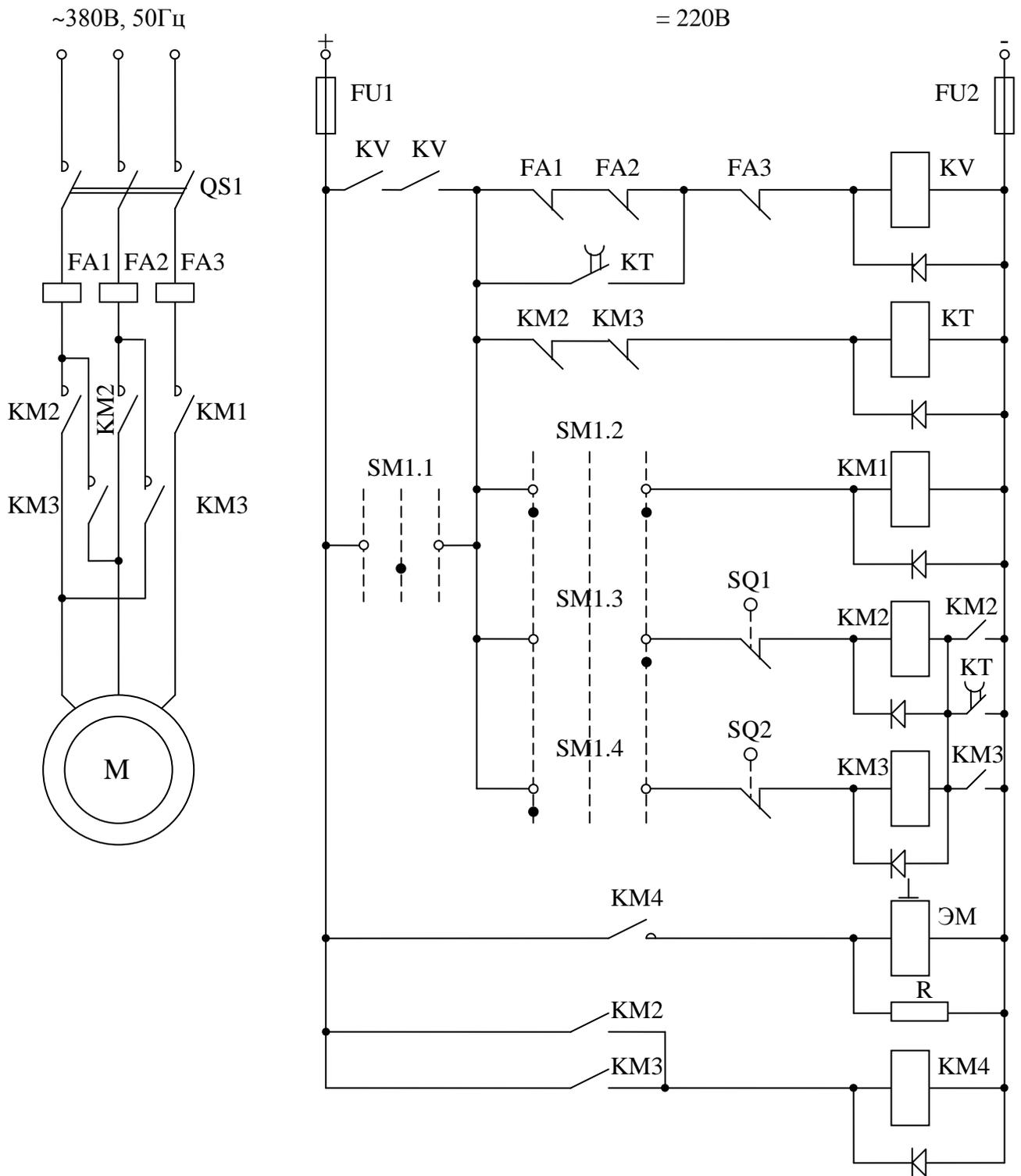


Рисунок Б.5 - Схема реверсивного асинхронного электропривода с механическим тормозом