

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автоматизированного электропривода

П.А. Воронин

# **ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Методические указания  
по курсу «Системы управления электроприводов»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
Государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург  
ГОУ ОГУ  
2011

УДК 62-83(07)  
ББК 31.291я 7  
В 75

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Э. Л. Греков

**Воронин, П.А.**  
В75 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.

Методические указания предназначены для студентов специальности 140604 – Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов очной и заочной формы обучения, выполняющих расчетно-графическую работу по дисциплине «Системы управления электроприводов».

УДК 62-83(07)  
ББК 31.291я 7

В 2202090100

© Воронин П.А. 2011  
© ГОУ ОГУ, 2011

## Содержание

|     |                                                                                                                                           |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|     | Введение .....                                                                                                                            | 4  |
| 1   | Цель расчетно–графической работы и организация работы над ней .....                                                                       | 5  |
| 2   | Программа работы .....                                                                                                                    | 5  |
| 3   | Выбор исходных данных для варианта задания .....                                                                                          | 6  |
| 4   | Содержание расчетно-пояснительной записки .....                                                                                           | 7  |
| 5   | Типовые узлы и схемы систем управления электроприводов.....                                                                               | 9  |
| 5.1 | Общие сведения о электроприводе.....                                                                                                      | 9  |
| 5.2 | Требования к выполнению электрических схем .....                                                                                          | 10 |
| 5.3 | Принципы автоматического управления пуском и торможением электро-<br>двигателя.....                                                       | 11 |
| 5.4 | Составление релейно-контакторных систем управления электроприводов<br>постоянного и переменного тока с использованием типовых узлов.....  | 12 |
| 5.5 | Введение в систему управления элементов защиты .....                                                                                      | 13 |
| 5.6 | Введение в систему управления электрических блокировок.....                                                                               | 14 |
| 6   | Анализ электрических схем логической системы управления.....                                                                              | 14 |
| 7   | Проектирования дискретной логической системы управления на бескон-<br>тактных элементах.....                                              | 17 |
| 7.1 | Общие сведения о проектировании логических схем управления на бес-<br>контактных элементах .....                                          | 17 |
| 7.2 | Проектирование дискретных бесконтактных схем управления на основе<br>релейно-контакторного варианта схемы .....                           | 17 |
| 7.3 | Примеры построения простейших бесконтактных схем по релейно-кон-<br>такторным схемам последовательно-параллельной структуры (класса П)... | 21 |
| 8   | Заключение.....                                                                                                                           | 26 |
|     | Список использованных источников.....                                                                                                     | 27 |
|     | Приложение А Основные технические данные элементов дискретных ло-<br>гических систем управления.....                                      | 28 |
|     | Приложение Б Примеры типовых узлов и схемы дискретных систем<br>управления электроприводов .....                                          | 32 |

## Введение

Системы управления, придающие необходимые свойства электроприводу производственных механизмов и выполняющие задачи автоматизации, представляют собой часть автоматизированного электропривода, который является конечным объектом изучения в дисциплине «Системы управления электроприводов». Эта дисциплина рассматривается как продолжение дисциплин «Теория электропривода» и «Теория автоматического управления».

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

Освоение методики и техники проектирования дискретных систем управления электропривода и систем автоматизации рабочих установок является неотъемлемой частью профессиональной подготовки студентов по специальности 140604.

В методических указаниях приводятся варианты технического задания расчетно-графической работы, требования к содержанию, объему и оформлению работы, теоретические положения изучаемого раздела дисциплины и рекомендации по выполнению расчетно-графической работы.

# **1 Цель расчетно-графической работы и организация работы над ней**

Целью расчетно-графической работы (далее РГЗ) 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 практических занятиях и еженедельных консультациях, проводимых преподавателем дисциплины. При работе над РГЗ рекомендуется использовать примеры расчетов узлов электропривода, приведенные в методических указаниях.

Пояснительная записка и графическая часть работы должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД и внутривузовского стандарта СТО 02069024.101-2010 «Работы студенческие. Общие требования и правила оформления».

Итоговый контроль выполненного студентом РГЗ после проверки руководителем проектирования и исправления выявленных ошибок и недостатков – зачет.

## **2 Программа работы**

Тема РГЗ – 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 и диаграммы пуска и торможения привода (для обозначенных параметров элементов принципиальной схемы).

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

2.4 На основе релейно-контакторного варианта схемы составить логическую схему блока управления на бесконтактных элементах.

2.5 Разработать схему электрическую принципиальную согласующего устройства для управления контакторами привода.

### 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 Содержание расчетно-пояснительной записки**

4.1 Введение. Использование электроприводов с дискретными логическими системами управления.

4.2 Уточнение задания в соответствии с заданным преподавателем вариантом и выбранным рабочим механизмом.

4.3 Составление краткого описания работы электропривода рабочей установки с учетом ограничения динамических моментов привода при пуске и торможении.

4.4 Построение механических характеристик и диаграммы пуска и торможения привода. Разработка принципиальной схемы релейно-контакторной системы управления электропривода, обеспечивающей выбор направления перемещения, пуск, электрическое торможение электропривода в автоматическом режиме.

4.5 Включение в систему управления элементов защиты электродвигателя (от короткого замыкания в электрических цепях, длительной перегрузки двигателя, «нулевой» защиты, защиты элементов схемы от коммутационных перенапряжений).

4.6 Выбор элементов управления и защиты. Тип используемого электродвигателя, его мощность (от 1 до 10 кВт) и необходимые для выполнения задания параметры выбрать самостоятельно по справочной литературе.

4.7 Описание работы принципиальной схемы релейно-контакторной системы управления электропривода.

4.8 Составление структурных формул (булевых выражений) для исполнительных и промежуточных элементов системы управления на основе релейно-контакторного варианта электрической схемы.

4.9 Составление логической схемы блока управления на бесконтактных элементах И, ИЛИ, НЕ, реализующей полученные алгебраические выражения.

4.10 Преобразование структурных формул или (и) логической схемы с учетом особенностей логических элементов выбранной серии УБСР-ДИ.

4.11 Привести примеры сопряжения блока управления на бесконтактных логических бесконтактных элементах с исполнительными элементами системы управления и изобразить принципиальную схему согласующего устройства для своего варианта и подключение элементов управления и датчиков.

4.12 Заключение.

4.13 Список использованных источников.

Графическая часть проекта выполняется на листах формата А4 или А3. В ней должны быть представлены:

1 Естественная и искусственные механические характеристики электропривода.

2 Диаграммы пуска и торможения двигателя.

3 Схема электрическая принципиальная электропривода с релейно-контакторной системой управления.

4 Структурная схема блока управления на бесконтактных элементах.

5 Схема электрическая принципиальная дискретной логической системы управления на бесконтактных элементах.

В случае необходимости исходные данные варианта, объем и содержание РГЗ по согласованию с преподавателем могут быть изменены.

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

### **5.1 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 электропри-



вода, 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, 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

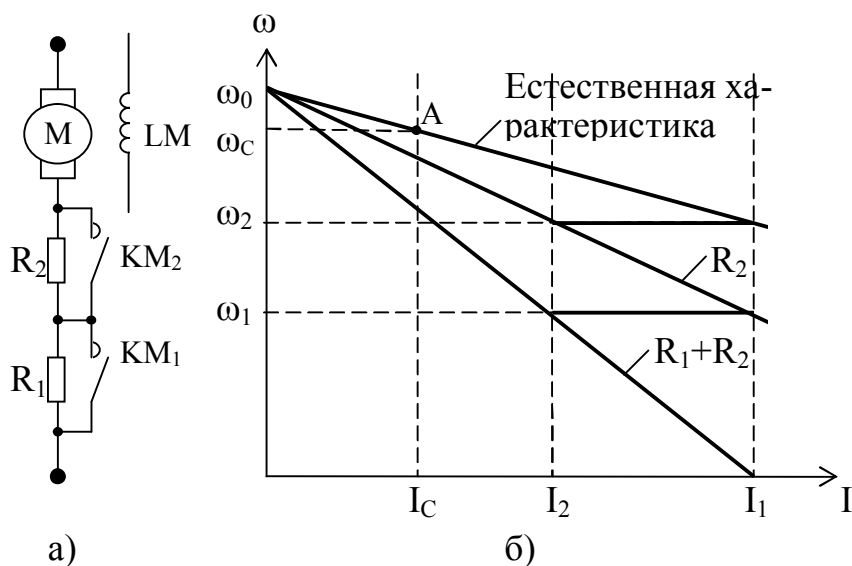


Рисунок 5.1 - Схема силовых цепей (а) и пусковая диаграмма привода (б)

(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 5.1.

## 5.2 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 2.701-2008 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.

### 5.3 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 отрабатывается 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.

5.4 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 двухскоростными 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.

### 5.5 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 КV).

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.

#### 5.6 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 замыкающих контактов В и Н контакторов. На схеме, приведенной на рисунке Б.3, блокировка контакторов КМ1 и КМ2 осуществляется с помощью замыкающих контактов кнопок управления SB1 и SB2.

## **6 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 замыкающими 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 6.1. Обозначение катушки контактора – КМ1; обозначение замыкающего контакта контактора – км1; обозначение размыкающего контакта контактора -  $\overline{км1}$ .

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

$$y = \overline{a} . \quad (6.1)$$

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

$$y = a. \quad (6.2)$$

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

$$y = a \times c \times d \quad (6.3)$$

или допустимо

$$y = acd. \quad (6.4)$$

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

Пример 6.3. Выходной сигнал  $y$  формируется параллельно соединенными контактами (сигналами)  $a$ ,  $c$ ,  $d$ . В этом случае



$$y = a + c + d. \quad (6.5)$$

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

Пример 6.4. Конъюнктивная нормальная форма записи

$$y = (a + b) (b + c) (a + d). \quad (6.6)$$

Пример 6.5. Дизъюнктивная нормальная форма записи

$$y = ab + cd + \bar{a}d + df. \quad (6.7)$$

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

$$F(Y) = f(a, b, c)y. \quad (6.8)$$

Полное алгебраическое выражение ДЛСУ принимает вид

$$F(X, Y, W, V) = F(X) + F(Y) + F(W) + F(V). \quad (6.9)$$

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

## **7 Проектирования дискретной логической системы управления (ДЛСУ) на бесконтактных элементах**

### **7.1 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.

### **7.2 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. Замы-

кающие 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 входные сигналы (сигналы о состоянии конечных и промежуточных выключателей, кнопок управления, дверных контактов, датчиков, контролирующих технологический процесс);

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.

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

Пример 7.1 Схема включения контактора КМ2 второй очереди транспорта с основного и выносного пульта (рисунок 7.1, а). Для соблюдения последовательности технологических операций в схему управления введена блокировка с первой очереди транспорта (блок-контакт КМ1).

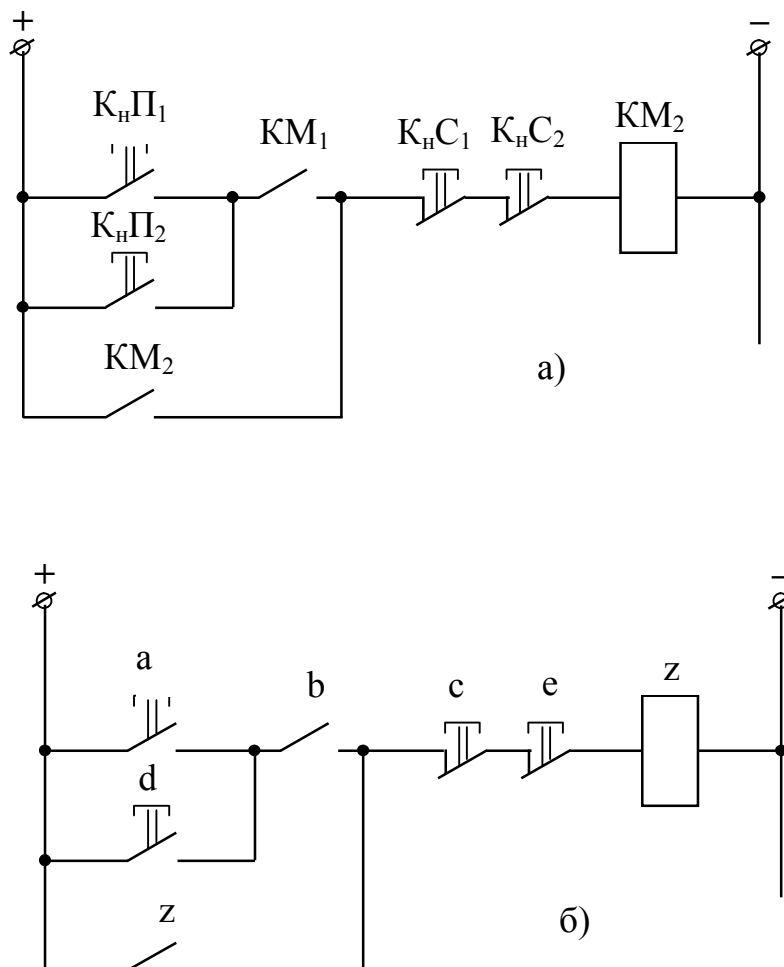


Рисунок 7.1 – Схема включения контактора (а), преобразованная схема (б), бесконтактная схема на логических элементах (в), лист 1

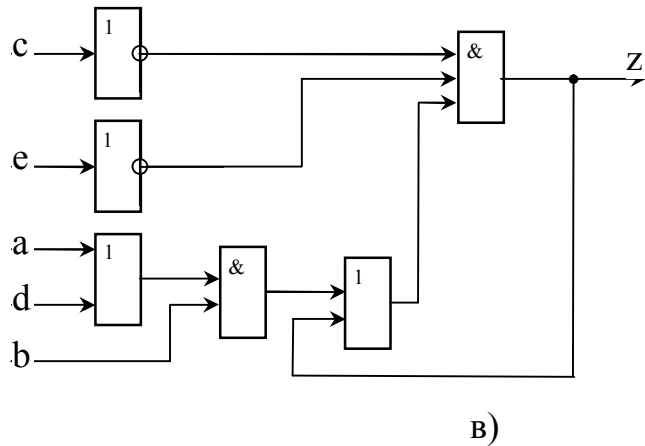


Рисунок 7.1, лист2

1 этап. Выделение сигналов:

1) Выделяем входные сигналы и обозначаем буквами:

контакт  $K_{нП_1} \equiv a$  ; контакт  $K_{М1} \equiv b$  ; контакт  $K_{нС_1} \equiv c$  ; контакт  $K_{нП_2} \equiv d$  ;  
 контакт  $K_{нС_2} \equiv e$ .

2) Выделяем исполнительный элемент:

Катушки  $K_{М2} \equiv Z$  ; блок-контакт  $K_{М2} \equiv z$ .

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

2 этап. Составление алгебраических выражений и синтез структурной схемы:

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

$$f_{(z)} = [(a + d) \cdot b + z] \cdot \bar{c} \cdot \bar{e}. \quad (7.1)$$

2) Этой формуле соответствует бесконтактная схема (в) на логических элементах И, ИЛИ, НЕ (рисунок 7.1,в).

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

$$F(Z) = [(a+d) \cdot b+z] \cdot \bar{c} \cdot \bar{e} \cdot z \quad (7.2)$$

4) Реализуем логическую схему (в) на элементах УБСР-ДИ серии К155 [10].  
 Производим преобразование структурной формулы с учетом особенностей выбранной серии элементов

$$F(Z) = [(a+d) \cdot b+z] \cdot \overline{(c+e)} \cdot z \quad (7.3)$$

Используем микросхемы: DD1 – К155ЛЛ1 – 4 элемента «2 ИЛИ»,  
 DD2 – К155ЛИ1 – 4 элемента «2 И», DD3 – К155ЛЕ1 – 4 элемента «2 ИЛИ - НЕ»  
 (рисунок 7.2).

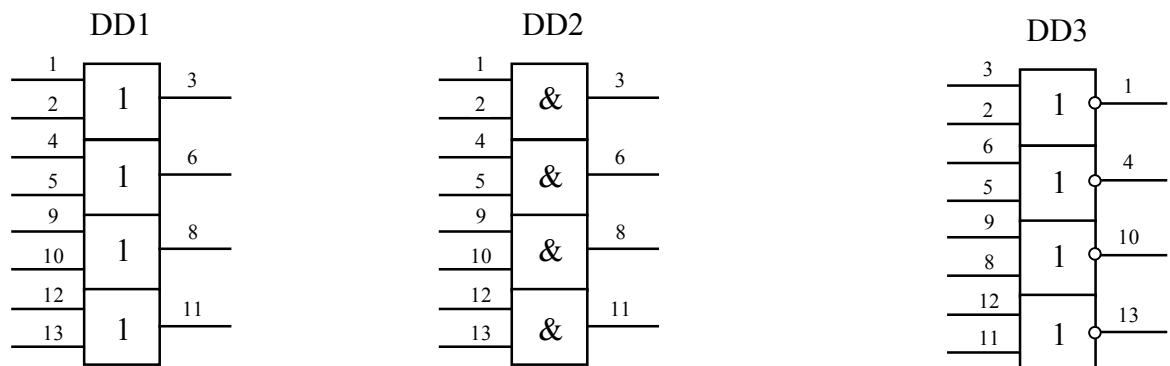


Рисунок 7.2 – Условное обозначение микросхем

5) Получаем принципиальную схему блока управления на бесконтактных элементах (рисунок 7.3).

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 ри-

сунке 7.3. Твердотельное реле содержит также обратный вентиль (чаще стабилизатор) для защиты нагрузки от коммутационных перенапряжений.

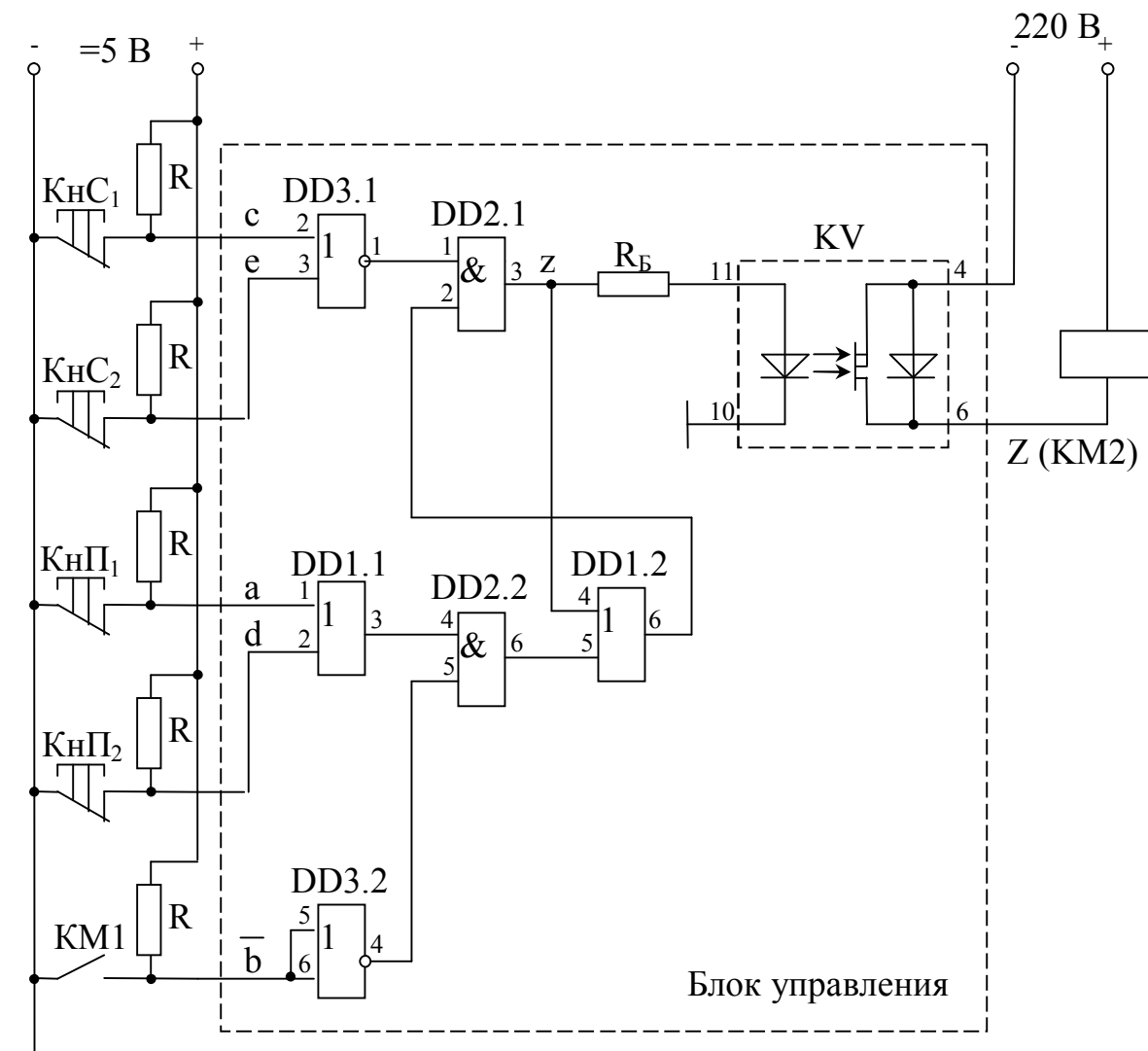


Рисунок 7.3 – Пример реализации устройства сопряжения

Пример 7.2 Схема пуска двигателя с последовательным возбуждением в одну ступень по принципу тока (рисунок 7.4).

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



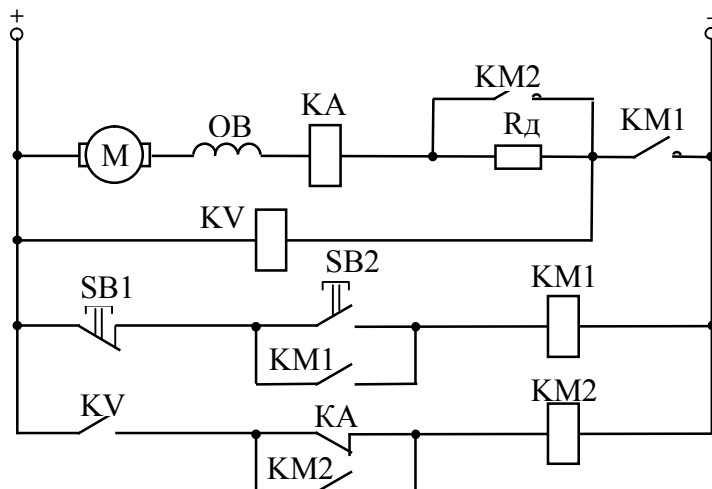


Рисунок 7.4 - Схема пуска двигателя с последовательным возбуждением в одну ступень по принципу тока

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 –  $\bar{c}$ ).

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).

2 этап. Составление алгебраических выражений и синтез структурной схемы:

1 Булевы выражения для выходных и промежуточных сигналов

$$x = (b + x) \cdot \bar{a}; \quad (7.4)$$

$$y = (\bar{c} + y) \cdot p; \quad (7.5)$$

$$p = x = (b + x) \cdot \bar{a}. \quad (7.6)$$

2 Полные структурные формулы для исполнительных элементов

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

$$F(Y) = Y = (\bar{c}+y) \cdot p \cdot y = (\bar{c}+y) \cdot (b+x) \cdot \bar{a} \cdot y. \quad (7.7)$$

3 Полная структурная формула для всей системы управления

$$F(X, Y) = (b+x) \cdot \bar{a} \cdot x + (\bar{c}+y) \cdot (b+x) \cdot \bar{a} \cdot y. \quad (7.8)$$

4 Структурная схема СУЭП на бесконтактных логических элементах И, ИЛИ, НЕ приведена на рисунке 7.5.

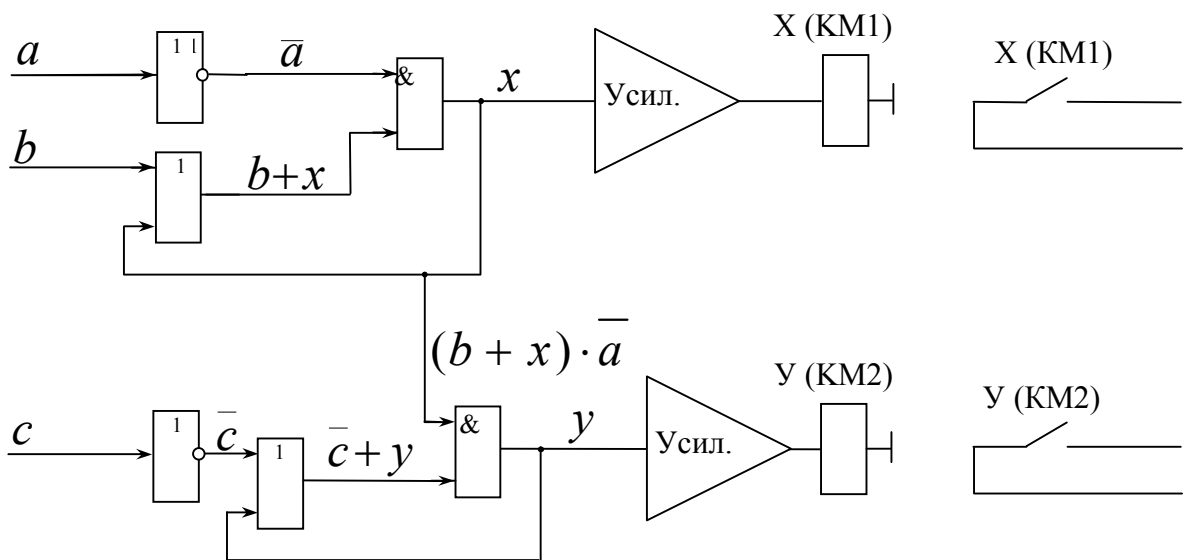


Рисунок 7.5 – Структурная схема системы управления

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 7.2.

## 8 Заключение

В этом разделе необходимо отразить 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 Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп.-Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.
- 3 Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.-М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с.
- 4 Электротехнический справочник: В 4 т. 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. –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.Н.СССР, 1950 г.
- 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.

## Приложение А (справочное)

### Основные технические данные элементов дискретных логических систем управления

Аппараты, приведенные в таблицах А.1 – А.5, А.7, являются продукцией российской компании «Интерэлектрокомплект» [10] и на них установлен гарантийный срок 3 года при минимальном сроке эксплуатации 15 лет. Аппараты, приведенные в таблице А.6 разработаны ОАО «ВНИИР» [11].

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 дополнительного устройства       | Общие сведения                                                                                                                                                                      | Тип                                  | Технические характеристики                                                                                              |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Контактные приставки КПИ                      | Предназначены для расширения возможности использования контакторов в системах автоматизации технологических процессов                                                               | ПКИ-11<br>ПКИ-04<br>ПКИ-40<br>ПКИ-22 | 1з + 1р<br>4р<br>4з<br>2з + 2р                                                                                          |
| Пневматические приставки выдержки времени ПВИ | Позволяют получить задержку замыкания или размыкания вспомогательной цепи от 0,1 до 180 с. Механическое устройство, без собственного потребления электроэнергии. Контакты: 1з + 1р. | ПВИ-11<br>ПВИ-12<br>ПВИ-21<br>ПВИ-22 | Задержка при вкл. 0,1–30 с.<br>Задержка при вкл. 10–180 с. Задержка при откл. 0,1–30 с.<br>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        |                             |
| РТИ - 3365                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 80 -93         |                             |

Таблица А.4 – Реле промежуточные модульной серии типа РЭК

| Общие сведения                                                                                                                     | Типоисполнение | Количество групп переключателей 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. | АВLF-22                  | желтый, зеленый, красный |
|                                                                                                                                                                                                                                  | АВLFP-22                 | желтый, зеленый, красный |
|                                                                                                                                                                                                                                  | АВLFS-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<br>Номинальный ток контактов, А<br>Количество контактов (замык., размык., перекл.)<br>Номинальное напряжение катушки, В:<br>постоянного тока<br>переменного тока                 | 380<br>6<br>1, 2, 3, 4<br>6 – 220<br>12 - 380                   |
| Реле времени серии РСВ17                    | Выдержка времени на включение, с<br><br>Количество контактов<br>Номинальное напряжение питания, В:<br>постоянного тока<br>переменного тока                                                                           | 0,1 – 10<br>1 – 100<br>3 п<br><br>24, 110, 220<br>110, 220, 230 |
| Реле максимального постоянного тока РМПТ-01 | Напряжение контролируемой цепи постоянного тока, В<br>Уставка по базисному току<br>Коэффициент возврата реле<br>Количество выходных контактов<br>Примечание: Реле используется совместно с измерительным шунтом ШС75 | 175 – 280<br>0,64; 0.8; 1,0<br>0,9<br>1з + 1р                   |

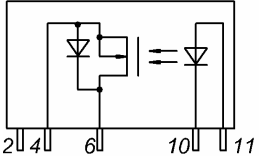
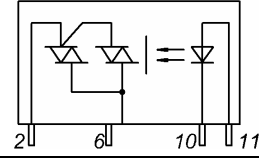
Таблица А.7 – Автоматические выключатели (автоматы) ВА 47-29

| 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<br>Число полюсов<br>Характеристики электромагнитного расцепителя | 0,5 – 63<br>1, 2, 3, 4<br><br>В, С, 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 |                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Число полюсов                                              | 2                               | 4                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА           | 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<br>К293КП12БП | Однополярное |  | 3,0<br>0,7        | 60, пост. ток<br>400, пост. ток | SIP12<br>SIP12 |
| 5П104                    | Двуполярное  |  | 2,0               | 380, перем. ток                 | SIP4           |

## Приложение Б (справочное)

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

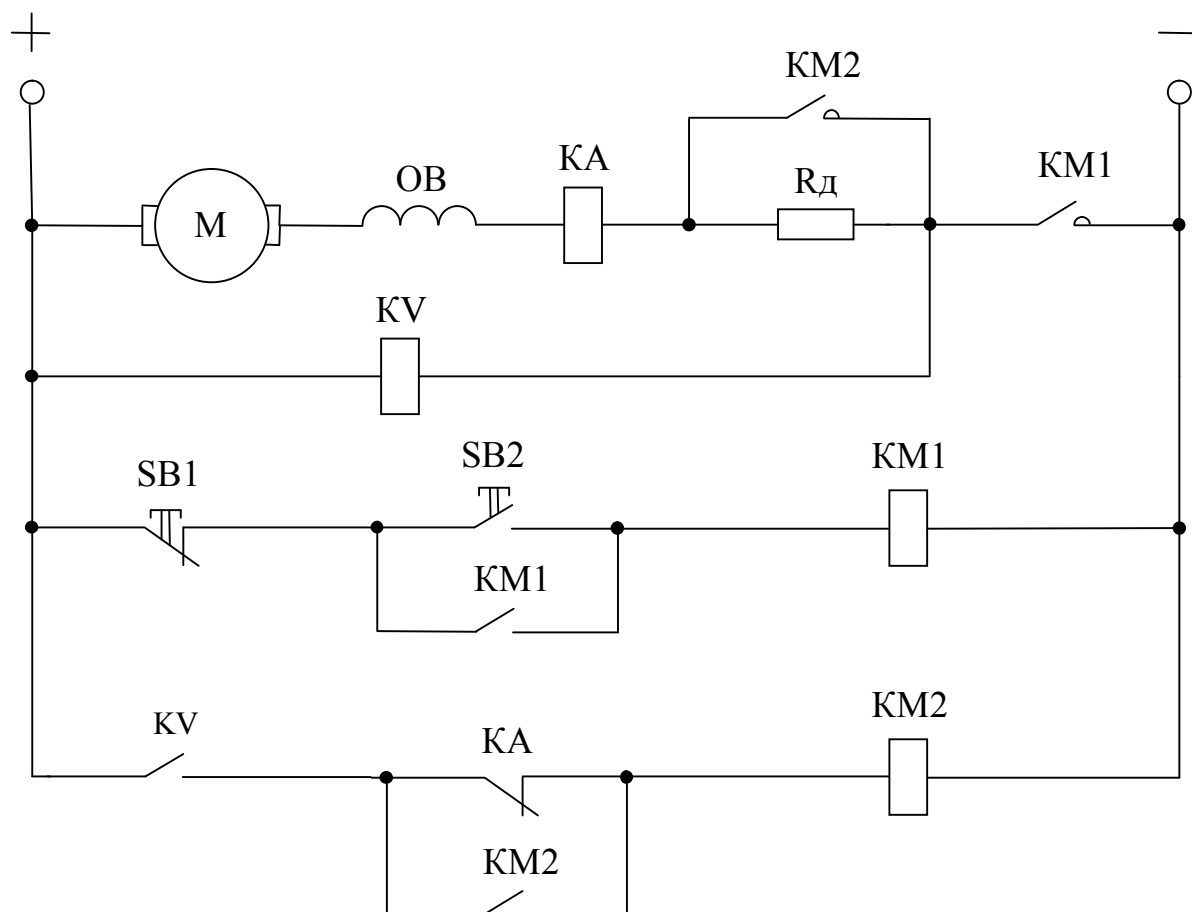


Рисунок Б.1 - Схема пуска двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением в одну ступень по принципу тока



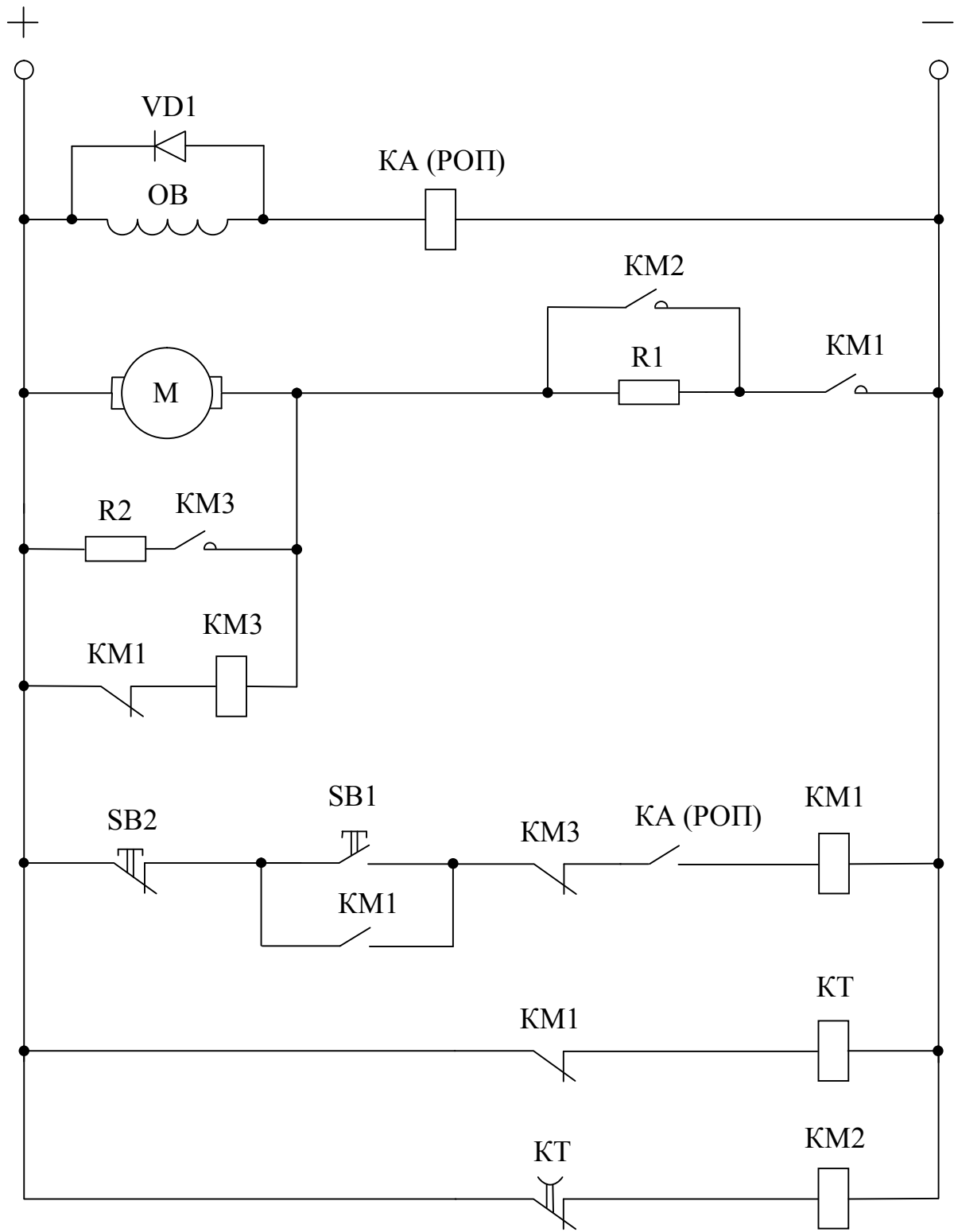


Рисунок Б.2 - Схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в одну ступень в функции времени и динамического торможения в функции ЭДС

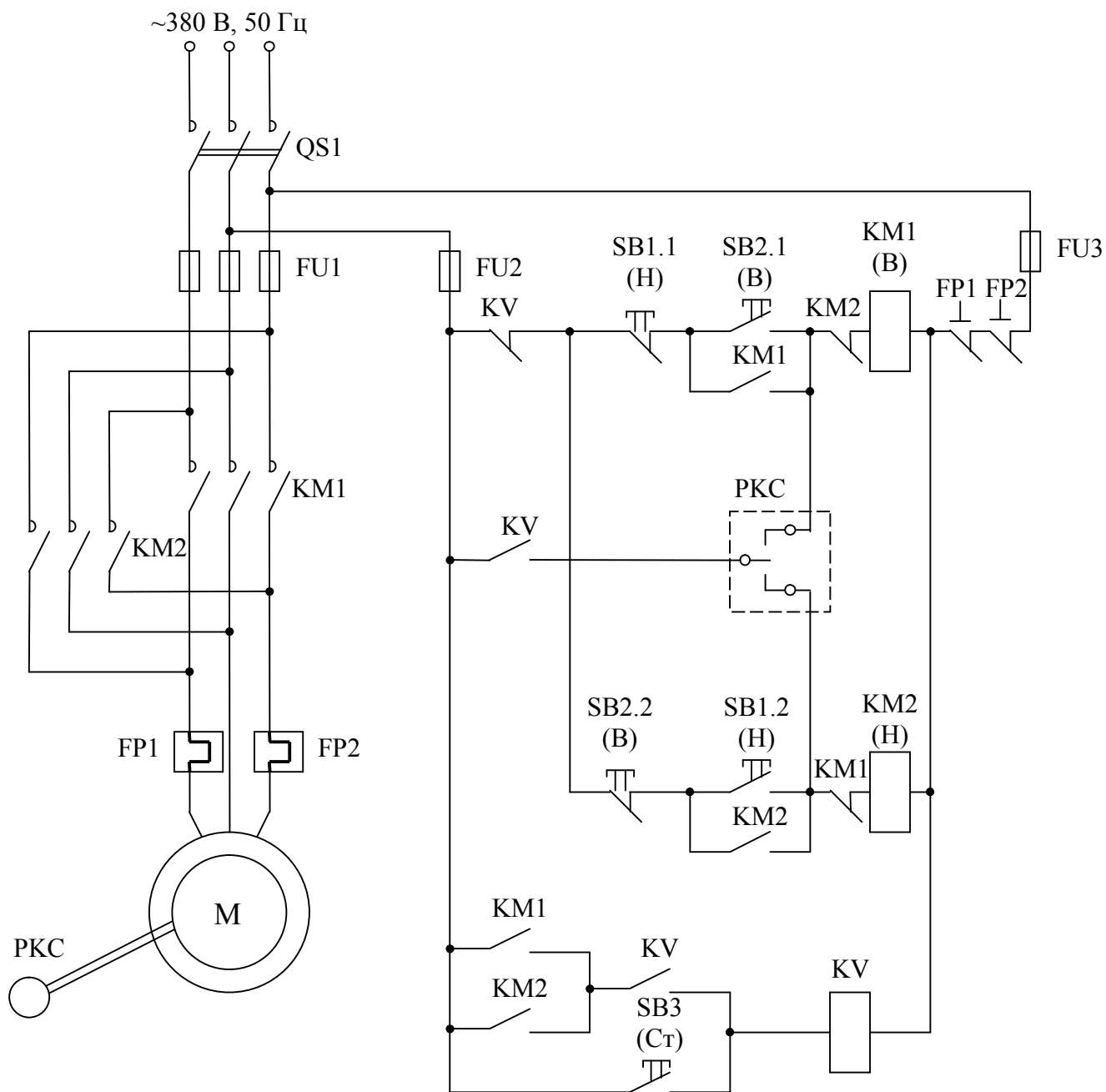


Рисунок Б.3 - Управление пуском, реверсом и торможением противовключением асинхронного двигателя в функции скорости

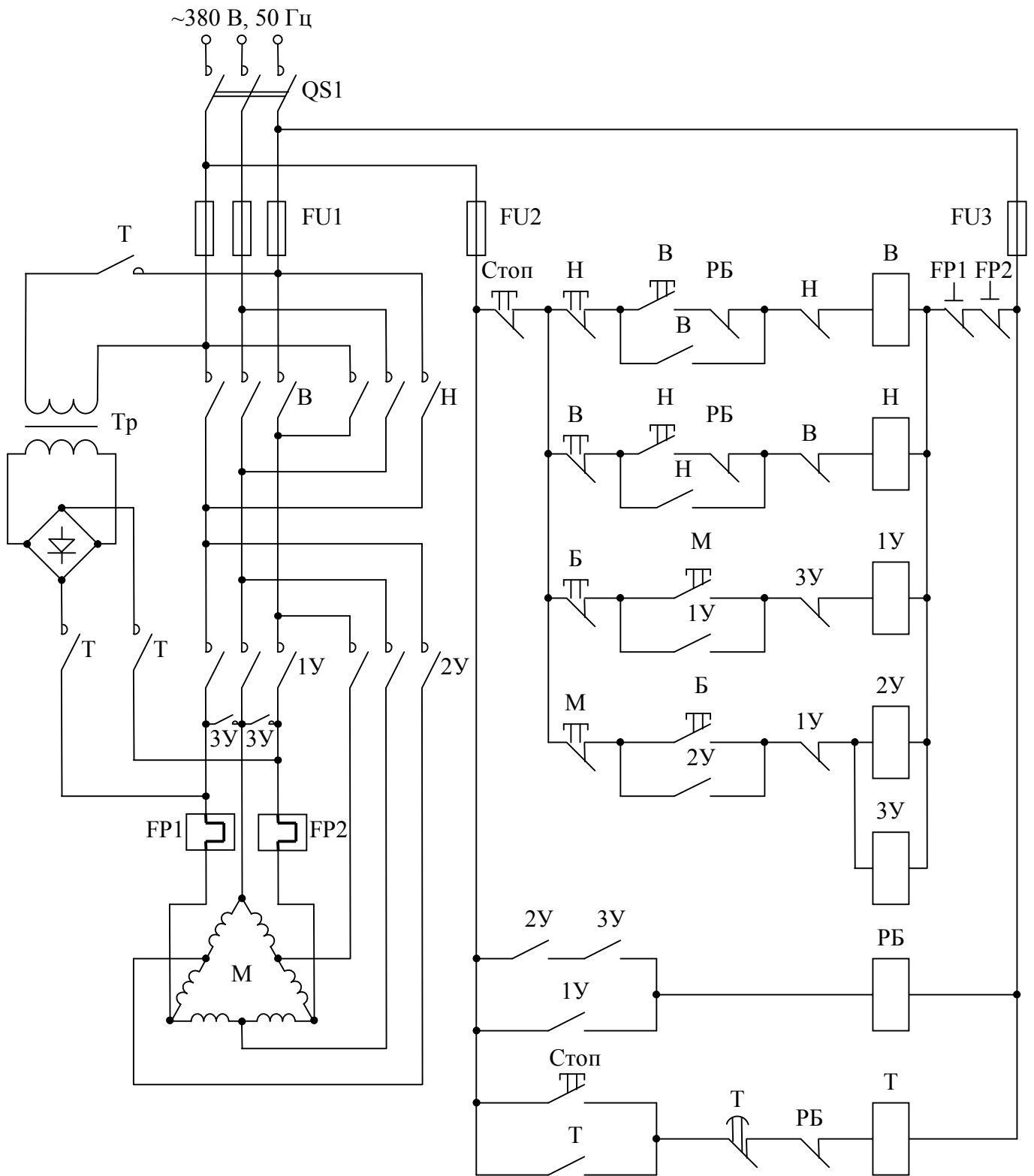


Рисунок Б.4 - Схема асинхронного привода с двухскоростным асинхронным двигателем

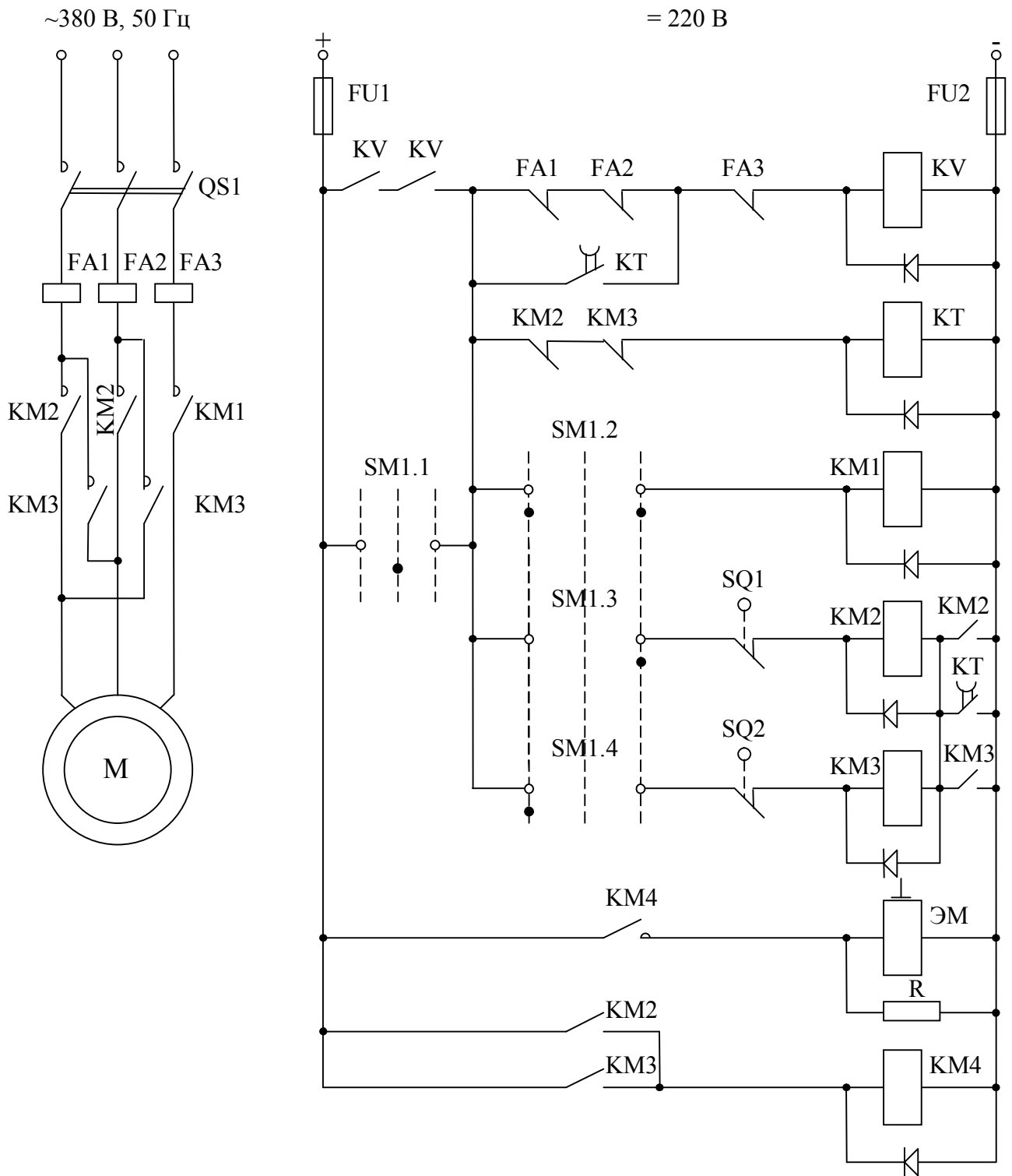


Рисунок Б.5 - Схема реверсивного асинхронного электропривода с механическим тормозом