

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
“Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина”

Кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок

РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания
для самостоятельной работы студентов
по курсу “Системы управления электроприводами”

Составитель П.В. ВИЛКОВ
Редактор А.Н. ШИРЯЕВ

В методических указаниях рассматривается методика составления релейно-контакторных схем управления и их типовых узлов, а также основные принципы управления в этих схемах.

Содержание охватывает один из разделов курса “Системы управления электроприводами”.

Предназначено для самостоятельного изучения методики составления релейно-контакторных схем студентами специальности 140604 “Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов”, а также студентами других электротехнических специальностей.

Утверждены цикловой методической комиссией ЭМФ

Рецензент
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок
ГОУВПО “Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина”

Релейно-контакторные схемы управления

Методические указания
для самостоятельной работы студентов
по курсу “Системы управления электроприводами”

Составитель Вилков Павел Вячеславович

Редактор Н.Б. Михалева

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.

Подписано в печать . . . 2009 г. Формат 60×80 ¹/₁₆

Печать плоская. Усл. печ. л. 2,32. Тираж 100 экз. Заказ №

ГОУВПО “Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина”

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ

Содержание

Предисловие	4
1. Общие понятия о релейно-контакторных системах управления	6
2. Принципы управления и типовые узлы в РКСУ	8
3. Примеры выполнения РКСУ	16
3.1. Управление реверсивным двигателем смешанного возбуждения	16
3.2. Пуск двигателя постоянного тока в функции времени	21
3.3. Пуск асинхронного двигателя	23
3.4. Схемы управления реверсом двигателей	24
3.5. Схема управления при зависимом пуске двигателей	25
3.6. Схема управления асинхронным двигателем в функции времени	27
4. Контрольные задания для составления релейно-контакторных схем автоматизации с применением электрических блокировок	29
5. Контрольные задания для составления релейно-контакторных схем автоматизации механизмов циклического действия в функции пути	34
Библиографический список	40

Предисловие

Приобретение практических навыков по составлению релейно-контакторных схем, обеспечивающих заданную последовательность пуска и останова, а также безопасность обслуживания механизмов, при изучении основ систем управления электропривода является необходимым условием формирования специалиста по автоматизированному электроприводу.

Изучение принципов автоматического управления процессами пуска, торможения и защиты электродвигателей, а также основных типов блокировок и сигнализации, ознакомление с устройством, конструкцией и работой типовой станции релейно-контакторного управления дает возможность для развития навыков проектирования релейно-контакторных схем автоматизированного электропривода различных механизмов.

Представленные в методических указаниях общие понятия о релейно-контакторных схемах и их типовых узлах позволяют студентам закрепить знания по одному из основных разделов систем управления электроприводами.

В первой, второй и третьей частях рассматриваются типовые узлы и различные примеры релейно-контакторных схем управления как двигателями постоянного тока, так и асинхронными короткозамкнутыми двигателями.

В четвертой и пятой частях приводятся контрольные задания для самостоятельной работы по составлению релейно-контакторных схем с применением электрических блокировок, а также схем автоматизации механизмов циклического действия в функции пути.

На семинарских занятиях каждый студент получает свой вариант задания, выполняет его самостоятельно и сдает на проверку преподавателю. Выбор варианта задания производится преподавателем.

Прежде чем приступить к выполнению заданий, необходимо ознакомиться с теоретической частью, изложенной во второй и третьей частях методических указаний.

При составлении схемы необходимо исходить из наличия той аппаратуры, которая представлена в табл. 2 и 3. Рекомендуются вначале работы над схе-

мой отдельно на листе выписать все реле и напротив их поставить метки, соответствующие количеству замыкающих и размыкающих контактов. По мере разработки схемы вычеркивать использованный контакт. Если в схеме использованы лишние реле и контакты, не входящие в представленные таблицы, то оценка при проверке снижается, поэтому необходимо стараться использовать минимум аппаратуры и контактов в схеме.

При разработке принципиальной схемы элементы аппаратов, входящие в какую-либо электрическую цепь, целесообразно размещать в виде горизонтальных строк между шинами питания. Расположение строк по возможности должно соответствовать последовательности действия аппаратуры. Катушки электрических аппаратов желательно располагать в конце строк справа так, чтобы один из выводов (“конец”) каждой катушки мог быть подключен непосредственно к “отрицательной” шине питания. Силовые цепи с двигателями целесообразно размещать либо над вспомогательными цепями, либо в стороне.

После составления схемы необходимо еще раз проверить, выполняется ли последовательность действий аппаратуры, представленная в задании. Добавить необходимые защиту и блокировки: от самозапуска, от короткого замыкания и т.д. Проверить, все ли буквенные обозначения нанесены в главных и вспомогательных цепях.

Разработанную схему нужно вычертить на отдельном листе формата А4 в соответствии с требованиями ГОСТ [6], привести описание ее работы и спецификацию использованной аппаратуры.

При решении заданий студент может дополнительно воспользоваться литературой, указанной в библиографическом списке.

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

О РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Автоматическое управление электроприводами сводится к выполнению совокупности действий, обеспечивающих без непосредственного участия человека получение заданного режима движения механизма, в соответствии с требованиями производственного процесса.

Одной из распространенных систем автоматического управления являются релейно-контакторные системы управления. Электропривод, выполненный на такой основе, представляет собой простой нерегулируемый электропривод, в основном общепромышленного применения (например, электропривод кранов, тихоходных лифтов, конвейеров, компрессоров, вентиляторов, насосов, некоторых транспортных устройств и т.п.). При этом применяются двигатели асинхронные, синхронные, постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением.

Двигатели с независимым возбуждением и другого типа (шаговые, вентильные, вентильно-индукторные) используются практически только в регулируемых электроприводах с питанием от управляемых преобразователей.

В общем случае под термином “релейно-контакторные системы управления” (РКСУ) понимают логические системы управления, построенные на релейно-контакторной элементной базе и осуществляющие автоматизацию работы двигателей. В задачу РКСУ входит автоматизация следующих операций:

- включение и отключение двигателей;
- выбор направления и скорости вращения;
- пуск, реверс и торможение двигателя;
- управление двигателем в функции какого-либо параметра (скорости, тока, положения рабочего органа и т.п.);
- создание временных пауз движения;
- защитное отключение двигателя при перегрузках, коротких замыканиях, снижениях напряжения ниже нормы и т.п., остановка механизма;
- обеспечение заданной последовательности действий оператора.

Данные операции требуются для выполнения необходимого по технологическим условиям движения рабочего органа механизма.

Достоинства РКСУ:

- наличие гальванической развязки цепей;
- значительная коммутационная мощность;
- высокая помехоустойчивость;
- возможность использования единичного источника питания для силовых и управляющих цепей.

Недостатки РКСУ:

- контактная коммутация, требующая соответствующего ухода за аппаратурой и ограничивающая срок ее службы;
- ограниченное быстродействие;
- повышенные массогабаритные показатели и энергопотребление.

В составе РКСУ можно выделить главные (силовые) цепи и цепи управления (вспомогательные).

К главным цепям относятся цепи двигателей и генераторов.

К цепям управления относятся цепи схемы, обычно содержащие катушки контакторов и реле, блок-контакты контакторов, контакты реле и других аппаратов управления.

Часто к цепям управления относятся также сигнальные цепи, цепи защиты и блокировочные связи различного назначения.

Для выполнения разных технологических задач требуется набор некоторых одинаковых операций, которые можно назвать типовыми функциями. В выполнении одной такой функции участвует не вся РКСУ, а только ее часть – типовой узел. Таким образом, в составе РКСУ всегда будут присутствовать те или иные типовые узлы.

Кроме них для решения конкретной технологической задачи требуются дополнительные, нетиповые узлы, например узел, формирующий программу технологического цикла работы установки, узел защиты рабочего органа от пробуксовки приводного шкива, превышения скорости и т. п.

2. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ И ТИПОВЫЕ УЗЛЫ В РКСУ

Типовые операции, выполняемые соответствующими узлами РКСУ, представляют собой логические функции входных переменных. Так, если переключения пусковых резисторов происходят в зависимости от тока двигателя, то операция пуска есть функция тока, что означает управление пуском в функции тока. Аналогично можно сказать, что динамическое торможение осуществляется в функции скорости, если тормозные резисторы переключаются в зависимости от скорости двигателя. При этом в РКСУ используются такие переменные, как время, ток, напряжение, скорость двигателя, перемещение рабочего органа, которые воспроизводятся соответствующими реле.

Оценить особенности различных принципов управления и определить необходимые уставки реле можно с помощью пусковых и тормозных механических характеристик двигателя, представляющих собой зависимости угловой скорости ω от момента M или тока I (рис. 1).

Здесь для линеаризованных участков пусковой диаграммы справедливы соотношения:

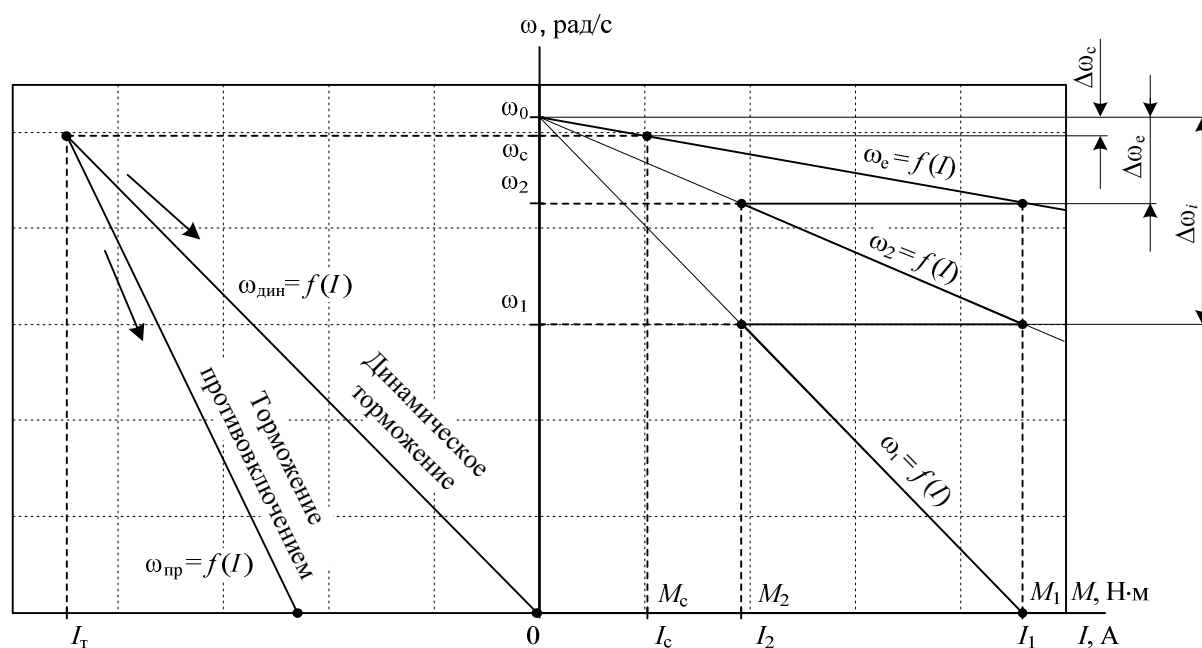


Рис. 1. Пусковые и тормозные механические характеристики двигателя

$$\begin{aligned}\Delta \omega_i &= M_1/\beta_{i+1} = M_2/\beta_i; \\ \beta_{i+1}/\beta_i &= M_1/M_2 = R_i/R_{i+1} = \text{const},\end{aligned}\tag{1}$$

где β_i , β_{i+1} и R_i , R_{i+1} — значения жесткости механических характеристик и пусковых сопротивлений соответственно для i -й и $(i + 1)$ -й пусковых ступеней.

Если задано число пусковых ступеней m , то

$$\begin{aligned}\beta_{m+1}/\beta_1 &= (M_1/M_2)^m = 1/s_e, \\ M_2 &= M_1 \sqrt[m]{s_e},\end{aligned}\tag{2}$$

где s_e — скольжение, соответствующее значению M_i , на естественной механической характеристике.

Если заданы значения M_1 и M_2 , то из выражения (2) можно определить число пусковых ступеней:

$$m = \frac{\lg(1/s_e)}{\lg(M_1/M_2)}.\tag{3}$$

Здесь полученный результат округляется до большего целого значения.

Дополнительным условием к (2) и (3) служат неравенства

$$M_1 \leq M_{\text{доп}} \text{ и } M_2 > M_c,$$

где $M_{\text{доп}}$ — допустимый момент; M_c — момент сопротивления на валу двигателя.

Значениям M_1 и M_2 соответствуют определенные значения токов I_1 и I_2 цепей якоря, ротора, статора, которые могут быть найдены из электромеханических характеристик двигателя.

Продолжительность работы двигателя на пусковой и тормозной характеристиках определяется выражением, полученным интегрированием уравнения движения:

$$\Delta t_i = T_{mi} \ln \frac{M_{\text{нач}} - M_c}{M_{\text{кон}} - M_c}.\tag{4}$$

Здесь T_{mi} — механическая постоянная времени i -й пусковой или тормозной ступени, с ($T_{mi} = J \beta$, где J — момент инерции); $M_{\text{нач}}$, $M_{\text{кон}}$ — соответственно начальный и конечный моменты (для пуска $M_{\text{нач}} = M_1$ и $M_{\text{кон}} = M_2$; для торможения $M_{\text{нач}} = -M_1$, и $M_{\text{кон}} \leq 0$; для торможения противовключением в одну ступень

$M_{\text{кон}} = -M_1 (2 - s_c)$, где s_c – скольжение ротора двигателя при $M = M_c$; для динамического торможения в одну ступень $M_{\text{кон}} = 0$).

За время пуска принимается время достижения двигателем скорости на естественной характеристике при $M = M_2$:

$$t_n = \left(\sum_{i=1}^{n+1} T_{mi} \right) \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c}. \quad (5)$$

Зная значения Δt_i , I_1 , I_2 , ω_i , можно определить уставки реле времени, тока, скорости.

Пример выполнения узла пуска в три ступени в функции времени приведен на рис. 2. Пусковые резисторы $R1$, $R2$, $R3$ якорной цепи двигателя постоянного тока или роторной цепи асинхронного двигателя коммутируются контакторами $KM3-1$, $KM3-2$, $KM3-3$. Электромагнитные реле постоянного тока $KT1$, $KT2$, $KT3$ создают рассчитанные согласно (4) выдержки времени для переключения пусковых резисторов. Так как время пуска t_n (5), определяемое установленными выдержками реле времени, неизменно, то среднее ускорение пуска также сохраняется неизменным для разных значений момента нагрузки и момента инерции электропривода. Это может расцениваться как определенное достоинство для некоторых транспортных установок (лифтов, канатных дорог), для которых требуется ограничение ускорения и поддержание его постоянным.

Однако при превышении величинами M_c и J расчетных максимальных значений момент двигателя на второй и последующих ступенях превысит значение M_1 , что недопустимо при условии $M_1 = M_{\text{доп}}$.

Узел торможения противовключением из условий простоты реализации, т.е. минимального числа аппаратуры, чаще выполняется одноступенчатым с одним реле и одним контактором (рис. 3). При смене направления вращения двигателя реле KT кратковременно теряет питание и размыкается, тем самым подключая сопротивление противовключения $R4$ в цепь якоря двигателя на определенное время выдержки.

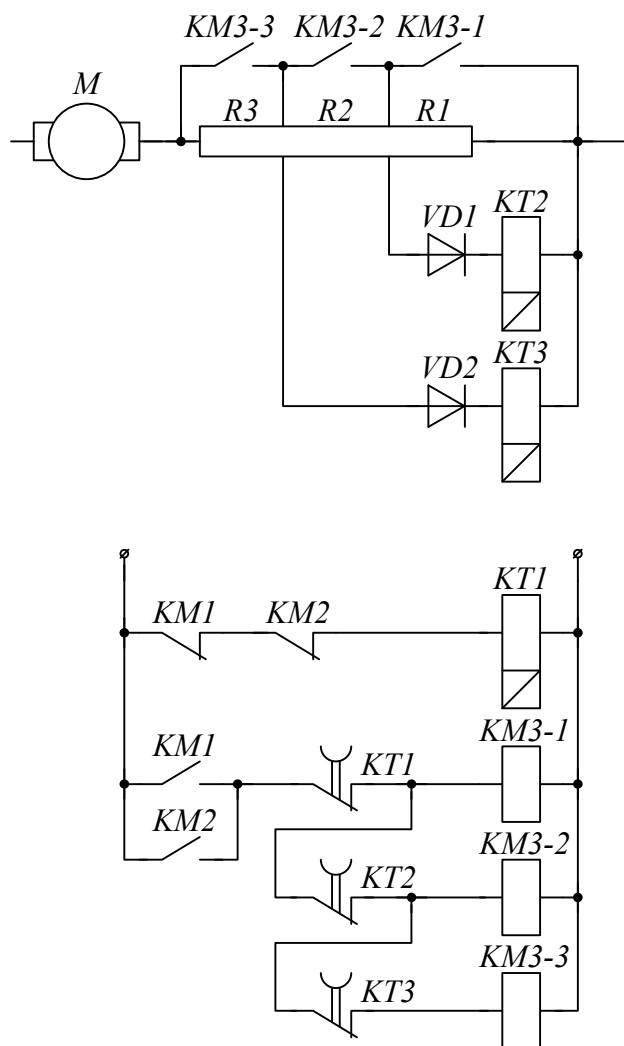


Рис. 2. Схема узла пуска в функции времени

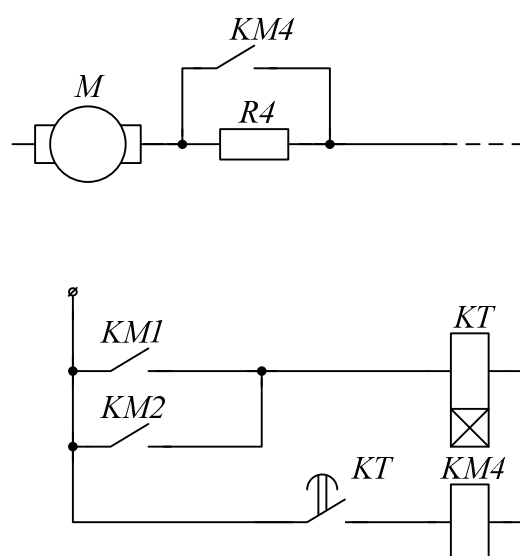


Рис. 3. Схема узла торможения в функции времени

При торможении в функции времени в одну ступень постоянство среднего ускорения нарушается при изменении значений M_c и J .

При управлении пуском и торможением в функции тока используются реле тока с настройкой значения токов втягивания ($I_{вт}$) и отпускания ($I_{отп}$) по условиям:

- $I_{вт} < I_1$; $I_{отп} = I_2$ – для пуска;
- $I_{вт} < I_{нач}$; $I_{отп} = I_{кон}$ – для торможения.

Неизменная настройка токовых реле сохраняет неизменными пусковую диаграмму и перегрузочную способность двигателя при изменении M_c и J . Однако если $M_c > M_2$, то двигатель не выйдет на естественную характеристику и останется работать на первой реостатной характеристике.

Пример выполнения узлов пуска и торможения противовключением в функции тока приведен на рис. 4. В силовую цепь двигателя включены токовые реле пуска $K41$ и торможения $K44$. При включении контактора $KM1$ или $KM2$ в первую очередь вступает в работу узел торможения включением контактора $KM4$, шунтирующего тормозной резистор $R1$ и реле $K44$. Замыкание контакта $KM4$ в цепи пусковых контакторов дает разрешение на работу узла пуска. Промежуточные реле $K0$ и $K1$ исключают подачу напряжения на катушки контакторов $KM4$ и $KM3-2$ до момента полного отпускания реле $K44$ и $K41$.

Управление пуском и торможением в функции скорости аналогично управлению в функции тока при условии однозначной взаимосвязи тока и скорости. Данное условие выполняется при пренебрежительно малых электромагнитных постоянных времени в режимах пуска и торможения. При пуске в функции скорости с повышенным напряжением в зоне высоких скоростей могут возникнуть броски тока, существенно превышающие допустимые значения. Поэтому данный принцип управления для пуска практически не используется.

Важнейшей типовой функцией, возлагаемой на РКСУ, является защита электрической и механической частей электропривода от аварийных режимов. Задача узла защиты – отключить двигатель от источника питания и остановить рабочий орган производственной машины.

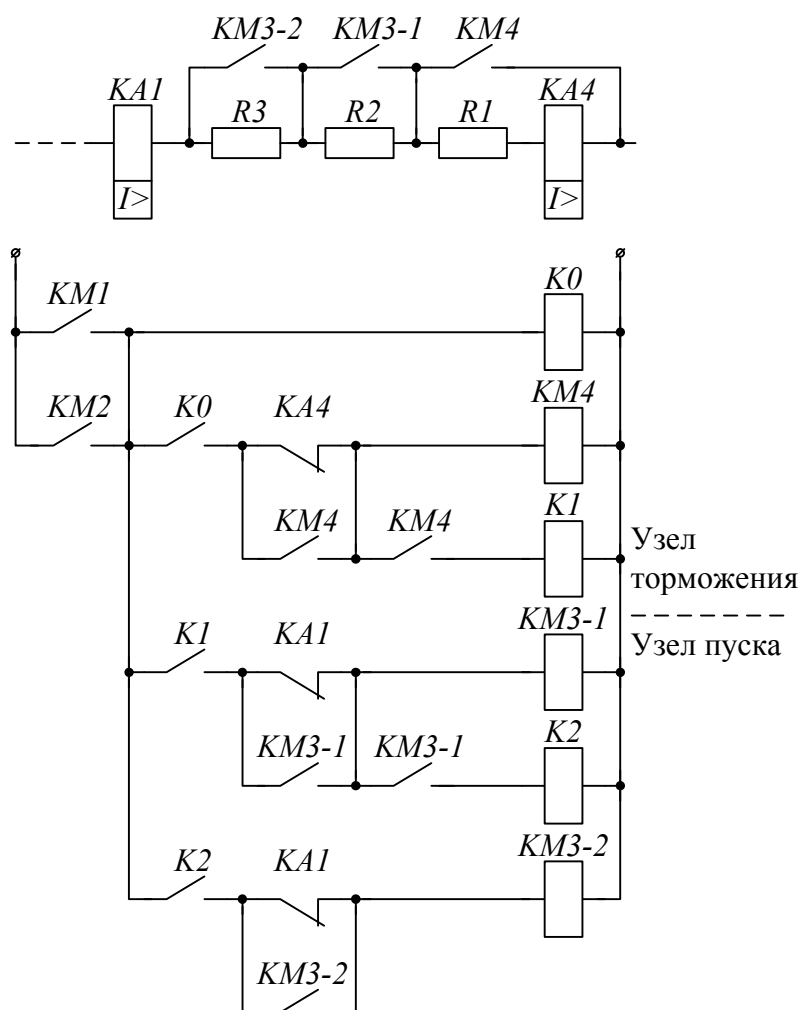


Рис. 4. Схема пуска и торможения в функции тока

Аварийными режимами в электрических цепях двигателя могут быть:

- короткие замыкания;
- кратковременные и длительные перегрузки по току двигателя;
- перебои в электроснабжении;
- недопустимое снижение напряжения сети.

Аварийная пауза в электроснабжении может привести после возобновления электроснабжения к самозапуску двигателя и не контролируемому оператором движению рабочего органа. Для исключения самозапуска используется так называемая нулевая защита (нулевая блокировка), осуществляемая с помощью кнопки управления с самовозвратом или командоконтроллера с нулевым замыкающим контактом. При недопустимом уровне снижения напряжения для номинально загруженных асинхронных и синхронных двигателей возникают

токовые перегрузки. Кроме того, из-за разных коэффициентов возврата аппаратов управления нарушается правильная работа РКСУ. Защита от недопустимого уровня снижения напряжения выполняется с помощью реле напряжения с высоким коэффициентом возврата.

Аварийными режимами для механической части электропривода могут быть:

- превышение допустимого момента в механической передаче (заклинивание механизма);
- расцепление рабочего органа (РО) с валом двигателя;
- превышение допустимой скорости двигателя или РО;
- выход РО за пределы зоны допустимых перемещений.

Наиболее опасным является расцепление РО с валом двигателя в пассажирских подъемно-транспортных установках с активным моментом нагрузки (лифты, канатные дороги, эскалаторы), когда возможен наезд с большой скоростью РО на жесткую преграду. Защита от такого аварийного режима выполняется установкой тормозной системы непосредственно на РО.

Перечень типовых аварийных режимов и соответствующих средств защиты от них приведен в табл. 1. Кроме перечисленных защит общего назначения имеются защитные средства, учитывающие специфику производственных установок и их технологические режимы. К таким средствам относятся, например, различные защитные блокировки в лифтах, защитные устройства от отсутствия подачи смазки и охлаждающей жидкости в металлорежущих станках, от пробуксовки шкивов и барабанов в подъемно-транспортных установках.

Пример выполнения типового узла защиты изображен на рис. 5.

Узел реализует следующие защиты:

- максимально-токовую ($FA1$);
- минимально-токовую ($FA2$);
- тепловую (FP);
- от превышения допустимой скорости (SRF);
- от недопустимого снижения напряжения и нулевую блокировку (FV);

- от выхода РО из допустимой зоны перемещений ($SQF1$, $SQF2$);
- от коротких замыканий в цепи управления ($FU1$, $FU2$).

Таблица 1. Аварийные режимы и средства защиты от них

Аварийный режим	Защитные средства
Электрическая часть	
Короткие замыкания; перегрузка силовых цепей по нагреву	Быстродействующие автоматы; плавкие предохранители; реле максимального тока; тепловое реле
Перебои в электроснабжении; недопустимое снижение напряжения в сети	Нулевая блокировка; реле минимального напряжения; реле минимального тока
Механическая часть	
Перегрузка механизма по моменту (заклинивание)	Муфта предельного момента; предохранительная шпонка
Расцепление рабочего органа с валом двигателя	Двойная тормозная система
Превышение допустимой скорости рабочего органа	Реле максимальной скорости
Выход рабочего органа за пределы зоны допустимых перемещений	Защитные путевые выключатели

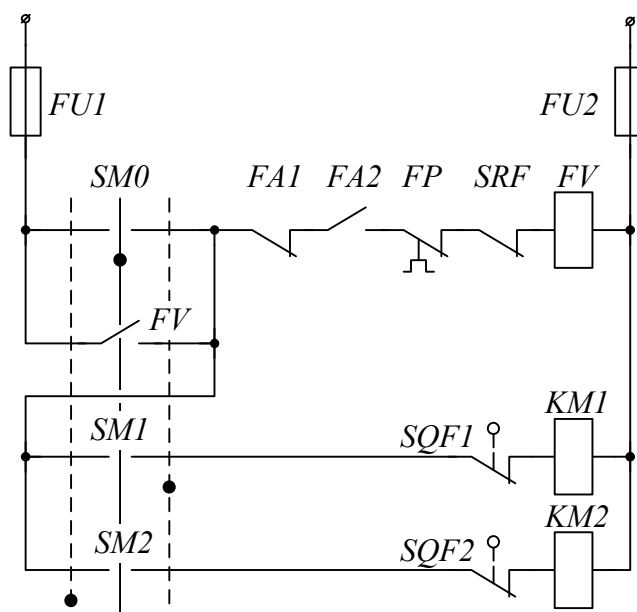


Рис. 5. Схема узла защиты

3. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РКСУ

3.1. Управление реверсивным двигателем смешанного возбуждения

В некоторых особенно часто пускаемых и реверсируемых электроприводах в целях повышения эффективности торможения, сокращения расхода энергии при реверсе и уменьшения габаритов тормозных сопротивлений применяется комбинированное (динамическое и противовключением) торможение в две ступени.

Для управления подобными электроприводами может быть использована схема станции управления типа ПН-2620 (рис. 6).

В схеме станции управления предусмотрено обеспечение работы двигателя в следующих режимах:

- реостатный пуск в прямом и обратном направлениях в функции времени с двумя ступенями ускорения;
- динамическое торможение в одну ступень;
- торможение противовключением в одну ступень;
- реверс двигателя с динамическим торможением и противовключением при замедлении;
- грубое ступенчатое реостатное регулирование установившейся скорости вращения.

Условные обозначения и наименование (назначение) основных элементов схемы станции управления:

- *KL* – контактор линейный;
- *KMB, KMH* – контакторы “Вперед”, “Назад”;
- *KU1, KU2* – контакторы ускорения;
- *KP* – контактор торможения противовключением;
- *KD* – контактор динамического торможения;
- *KV* – реле динамического торможения;
- *KA1, KA2* – реле максимального тока;

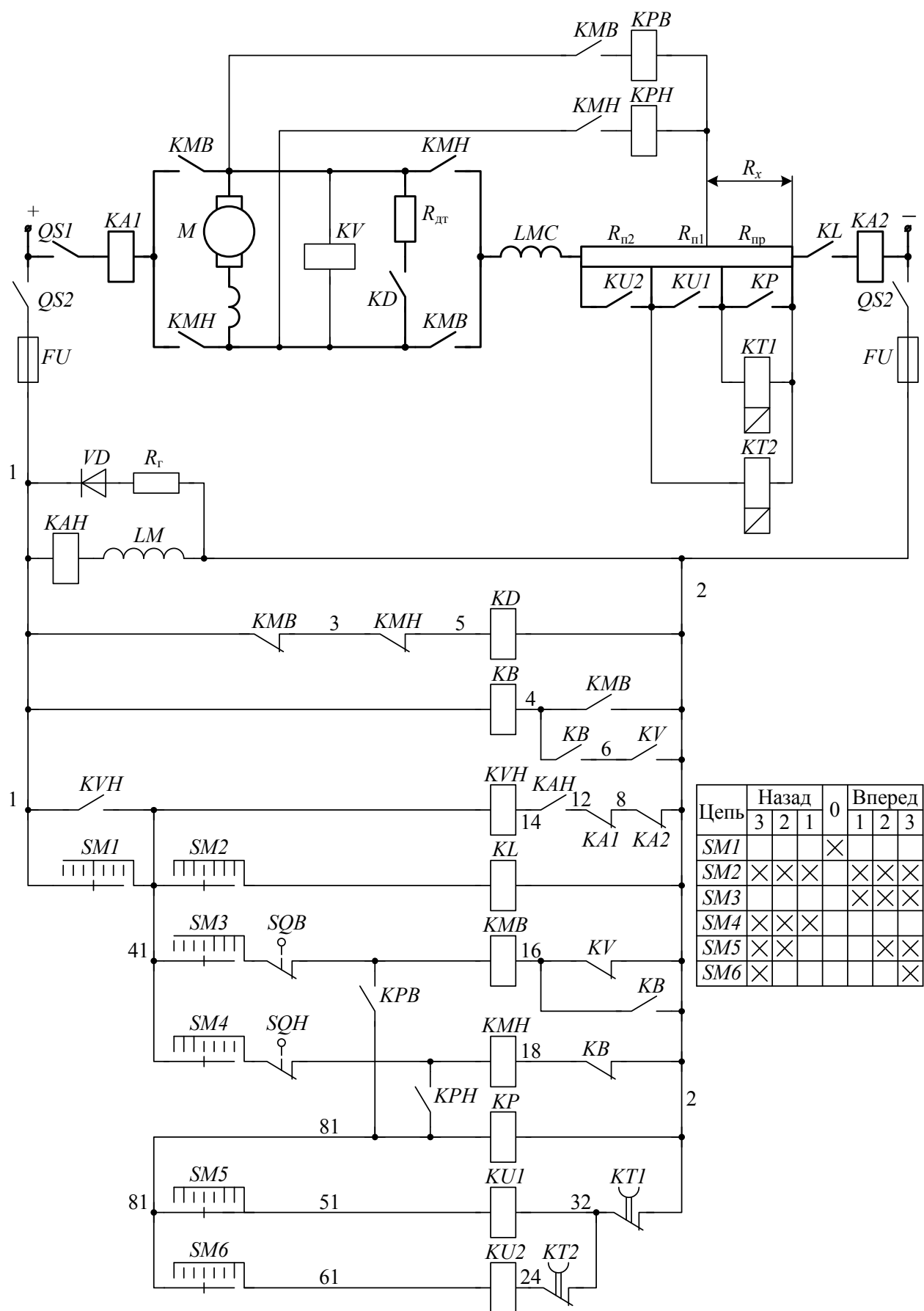


Рис.6. Принципиальная схема управления двигателем постоянного тока

- $KT1, KT2$ – реле ускорения (времени);
- $КАН$ – реле минимального тока;
- KPB, KPH – реле торможения противовключением “вперед”, “назад”;
- KVH – реле минимального напряжения;
- KB – реле блокировки (контроля реверса);
- LM, LMC – параллельная, последовательная обмотки возбуждения двигателя.

При реверсировании двигателя, вращающегося со скоростью более $0,65\omega_n$, когда реле KV втянуто, имеет место комбинированное торможение – сначала динамическое, а при скорости ниже $0,4\omega_n$ (после отпадания реле KV), когда динамическое торможение становится неэффективным, двигатель переходит в режим противовключения. Таким образом, при торможении до скорости выше $0,4\omega_n$ электроэнергия из сети не потребляется.

Если двигатель реверсируется при скорости менее $0,65\omega_n$, когда реле KV не втянуто, то торможение при реверсе происходит только противовключением.

В качестве командного органа применен командоконтроллер на 7 положений (3 положения “Вперед”, 3 – “Назад” и “нулевое” положение). Рукоятка командоконтроллера после прекращения воздействия на неё остается в любом из положений.

После включения рубильников $QS1$ и $QS2$ под напряжением оказываются параллельная обмотка возбуждения LM и контактор динамического торможения KD . При наличии тока возбуждения срабатывает реле обрыва поля $КАН$ и своим замыкающим контактом 14-12 подготавливает цепь для включения реле нулевой защиты KVH .

Пуск двигателя возможен только после установки командоконтроллера в нулевое положение. При этом срабатывает реле KVH и своим замыкающим контактом шунтирует $SM1$.

При переводе рукоятки SM в одно из рабочих положений (например, 3 – “вперед”) срабатывают контакторы KL и KMB и через добавочные сопротивления подключают якорь двигателя к сети.

Контактор KMB своим размыкающим блок-контактом обесточит KD , одним замыкающим блок-контактом включит реле блокировки KB , а другим подключит катушку реле противовключения KPB параллельно якорю двигателя и части внешнего сопротивления.

Протекающий через силовую цепь пусковой ток создает на последовательно включенных её элементах падения напряжения, которых достаточно для срабатывания реле KPB и двух реле ускорения $KT1$ и $KT2$. Реле ускорения притянут якоря и разомкнут свои контакты в цепях катушек контакторов ускорения $KU1$ и $KU2$, а замыкающий контакт реле KPB через $SM3$ и путевой выключатель SQB подаст питание на катушку контактора противовключения KP . Контактор срабатывает и закорачивает ступень противовключения и одновременно катушку реле $KT1$. Образовавшийся демпфирующий контур (замыкание катушки) замедляет спадание магнитного потока реле и тем самым предотвращает быстрое отпадение его якоря. По истечении определенной, наперёд заданной выдержки времени реле $KT1$ включает контактор ускорения $KU1$, который закорачивает главным контактом первую ступень пускового сопротивления и катушку реле $KT2$. По аналогии с изложенным через определенное время сработает $KU2$ и двигатель перейдет на естественную характеристику.

Сопротивление противовключения R_{np} при пуске выполняет роль предварительной ступени на время, соответствующее времени срабатывания реле KPB и контактора KP .

В ходе пуска при $E_{я} \approx (0,6 - 0,7)U_n$ срабатывает реле динамического торможения KV и замыкает свой контакт 6-2 в цепи катушки реле KB , чем подготавливает цепь питания этого реле при реверсе. Контакт 16-2 реле KV в цепи катушки KMB разомкнется, но контактор не отключится, т.к. получает питание через ранее сработавшее реле KB .

При останове двигателя путем перевода командоконтроллера в нулевое положение, а также при действии защит обесточиваются катушки контакторов KL и KMB , двигатель отключается от сети, получает питание катушка контактора KD , контактор срабатывает и подключает к якорю двигателя сопротивление динамического торможения $R_{дт}$. Торможение идет до полной остановки двигателя. Однако начавшееся динамическое торможение можно прервать и снова запустить двигатель в прежнем направлении независимо от того, отпало реле KV или нет (контакты 16-2 реле KV и KB работают в противофазе).

Для реверса двигателя рукоятка командоконтроллера переводится в одно из положений “назад” (например, опять 3). При этом во время перехода командоконтроллера через нулевое положение произойдет кратковременное обесточивание контактора KL и отключение контакторов KMB , KP , $KU1$ и $KU2$. При этом если в начале торможения противо-ЭДС двигателя больше напряжения срабатывания реле KV (реле KV втянуто), то начинается процесс динамического торможения. При скорости $\omega_{д,кон}$ ЭДС двигателя становится равной напряжению возврата реле KV . Последнее отключается и обесточивает реле блокировки KB по цепи 4-6-2. Размыкающий контакт 18-2 реле KB замыкается и включает контактор KMH . Теряет питание катушка контактора KD , якорь двигателя отключается от $R_{дт}$ и присоединяется через все внешние сопротивления ($R_{п1} + R_{п2} + R_{пр}$) на напряжение противоположной полярности. Двигатель переходит в режим противовключения.

Хотя блок-контакт KMH в цепи катушки реле KPH и замыкается, однако KPH не срабатывает, т.к. в начальный момент торможения противовключением напряжение на его катушке будет близко к нулю. Это достигается соответствующим выбором точки присоединения правого по схеме вывода катушки KPH к внешнему сопротивлению (выбором величины сопротивления R_x).

По мере снижения скорости двигателя возрастает напряжение на катушке реле KPH и при скорости, близкой к нулю, реле срабатывает и включает контактор противовключения KP через $SM4$ и SQH . Ступень противовключения $R_{пр}$ (и катушка $KT1$) закортится, двигатель перейдет на пусковую реостатную характе-

ристику, его скорость снизится до нуля, а затем начнется разгон в функции времени в направлении “назад”, т.е. двигатель реверсируется.

Если команда на реверс подается при скорости, меньшей $\omega_{д.кон}$ (реле *KV* ещё не втянуто), то торможение происходит только противовключением.

Виды примененных защит:

1. Защита главной цепи – производится максимальными токовыми реле *KA1*, *KA2* и предохранителями *FU1*.

2. Нулевая токовая защита, отключающая двигатель при обрыве цепи обмотки возбуждения, предотвращая тем самым “разнос” двигателя на холостом ходу и при малых нагрузках. Выполнена с использованием токового реле *KAH*, включенным последовательно с параллельной обмоткой возбуждения.

3. Нулевая защита (реле *KVN*) – отключает двигатель при исчезновении или чрезмерном снижении напряжения. Она также предотвращает самозапуск двигателя при восстановлении исчезнувшего напряжения или срабатывании какой-либо защиты.

4. Защита обмотки возбуждения *LM* от перенапряжения при её отключении – производится резистором R_r и соответствующим включением диода *VD*.

5. Цепи управления – защищены предохранителями *FU2*.

Виды примененных блокировок:

1. Исключена одновременность срабатывания контакторов *KMB* и *KMH*, приводящая к короткому замыканию. Для этого в цепи катушек контакторов включены реле контроля реверса (реле блокировки *KB*). Имеется также механическая блокировка контакторов.

2. Невозможно включить контактор динамического торможения *KD*, если якорь двигателя подключен к сети. Блокировку осуществляют размыкающие блок-контакты контакторов *KMB* и *KMH*.

3.2. Пуск двигателя постоянного тока в функции времени

Схема управления двигателем постоянного тока в функции времени представлена на рис. 7.

Схема работает следующим образом. При подаче напряжения питания на схему срабатывает реле KT , блок-контакт которого размыкается, обесточивая цепь с контактором ускорения $KM2$. При нажатии на кнопку $SB1$ срабатывает линейный контактор $KM1$, блок-контакт которого замыкается, подключая двигатель M к сети. Начинается разгон двигателя по характеристике $\omega_1 = f(t)$ с дополнительным сопротивлением в якорной цепи R_d . Контактор $KM1$ встает на самопитание и обесточивает катушку реле KT . Через определенное время Δt_{KT} блок-контакт реле KT замыкается и срабатывает контактор ускорения $KM2$, которое своим контактом шунтирует дополнительное сопротивление R_d . После этого двигатель M переходит на естественную характеристику $\omega_e = f(t)$ и достигает установившейся скорости ω_c .

В схеме управления время разгона определяется настройкой реле времени KT .

Для останова двигателя M нажимаем кнопку стоп $SB2$, блок-контакт $KM1$ размыкается, отключая двигатель от сети.

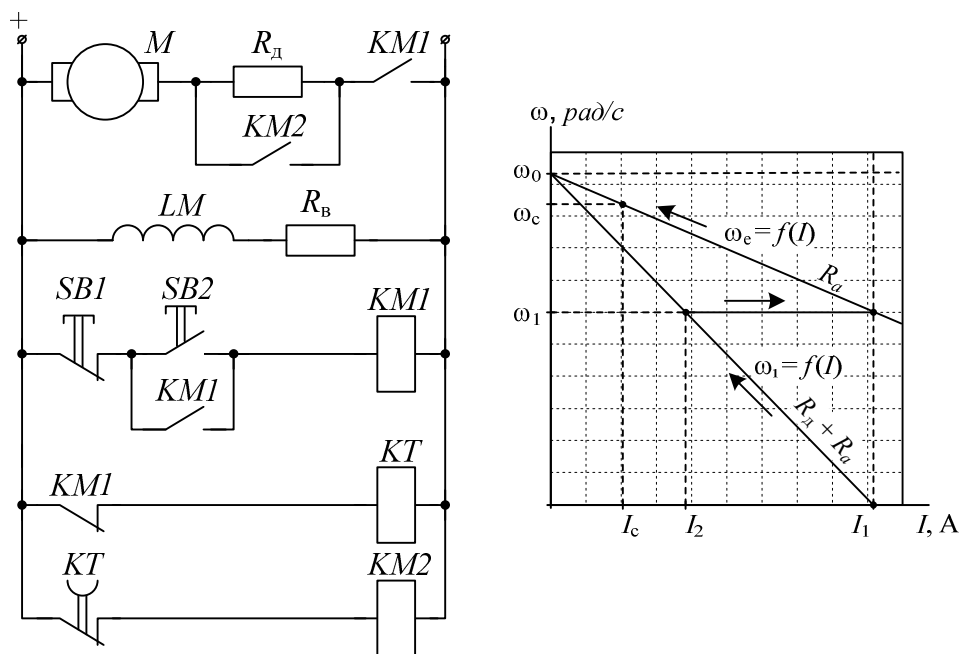


Рис. 7. Пуск двигателя в функции времени

3.3. Пуск асинхронного двигателя

Схема управления асинхронным двигателем представлена на рис. 8.

При нажатии кнопки пуска *SB1* срабатывает реле *KM*. Реле *KM* встает на самопитание, двигатель *M* подключается к сети и разгоняется.

Защита от перегрузки реализуется следующим образом. Если ток статора больше тока допустимого $I > I_{\text{доп}}$, то элементы тепловых реле *KS1*, *KS2* нагреваются. При сильном нагреве блок-контакты *KS1*, *KS2* размыкаются, обесточивая цепь с реле *KM*, после чего двигатель отключается от сети.

Нулевую (от снижения напряжения) защиту осуществляет реле *KM1* (магнитный пускатель). В других схемах управления для этого могут дополнительно включаться и другие реле.

От коротких замыканий (КЗ) установлены предохранители *FU*.

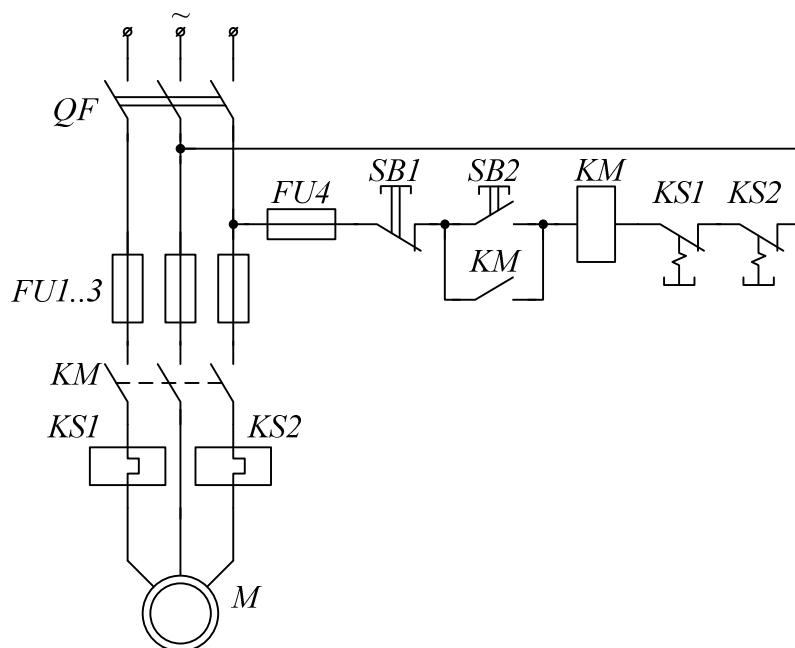


Рис. 8. Схема пуска асинхронного двигателя

3.4. Схемы управления реверсом двигателей

При управлении реверсом следует исключить режим КЗ при неправильном действии персонала, например нажатие одновременно кнопок “Вперед” и “Назад” может привести к КЗ. Такие режимы исключаются с помощью электрических блокировок (рис. 9).

В этой схеме имеется блокировка от неправильных действий посредством сдвоенных кнопок *SB2* и *SB3*. От приваривания (залипания) контактов – блок-контакты *KM1-2* и *KM2-2*. Защита от недозволённых перемещений – конечные выключатели *SQ1* и *SQ2* (конечная защита). Выключатель *SQ1* размыкается при достижении перемещений крайнего положения “вперед”, а *SQ2* – “назад”. В этих положениях двигатель останавливается. Можно нажатием противодействующей кнопки заставить двигатель перемещаться назад.

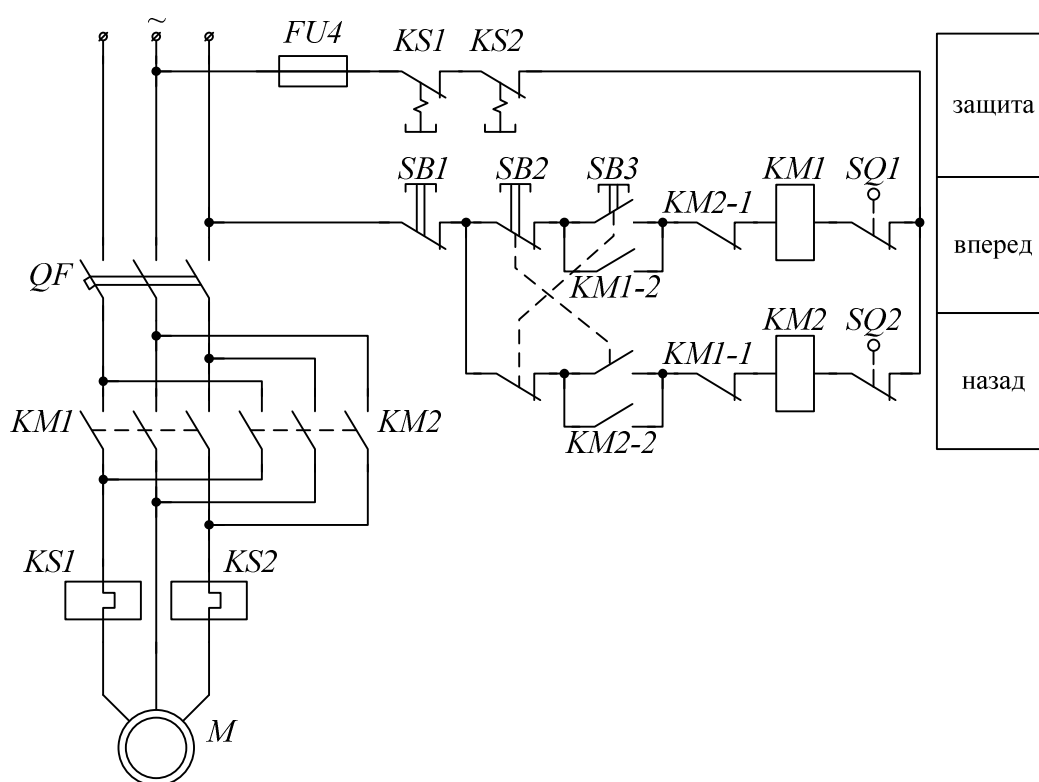


Рис. 9. Схема управления реверсом асинхронного двигателя

При нажатии кнопки пуска *SB1* срабатывает реле *KM1*, которое встает на самопитание, двигатель *M* подключается к сети *ABC* и разгоняется. При нажа-

тии кнопки *SB2* отпадает реле *KM1*, срабатывает реле *KM2*, которое встает на самопитание, двигатель *M* подключается к сети *ВАС* и реверсируется.

Схема управления реверсом двигателя постоянного тока может быть аналогична, но силовая часть имеет вид, представленный на рис. 10.

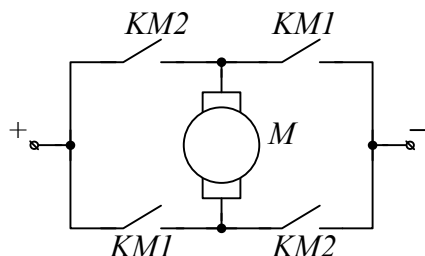


Рис. 10. Схема силовой части при реверсе двигателя постоянного тока

3.5. Схема управления при зависимом пуске двигателей

В ряде случаев необходима определенная последовательность включения и отключения двигателей. Например, при управлении двумя двигателями сначала должен включиться двигатель *M1*, а затем *M2*, а отключение – в обратной последовательности. Схема управления при такой работе двигателей представлена на рис. 11, а.

При подаче на схему напряжения питания *M1* и *M2* не работают, реле *K1* и *K2* выключены, но поскольку блок-контакты *K1–3* и *K2–3* замкнуты, то реле *K3* срабатывает и подготавливает схему к пуску. При нажатии кнопки пуска *SB1* срабатывает реле *K1*, которое встает на самопитание через *K1–1* и *K3–3*, и двигатель *M1* подключается к сети.

В цепи реле *K2* блок-контакт реле *K1–2* замыкается и срабатывает реле *K2*. Его блок-контакт *K2–3* отпадает и реле *K3* теряет питание. Но его отключение не меняет рабочего состояния схемы, поскольку блок-контакты реле *K3* шунтированы *K2–1* (цепь *K2*) и *K2–2*.

При нажатии кнопки *SB2* катушка реле *K2* теряет питание, отпадает и отключает двигатель *M2*. При размыкании контакта *K2–2* реле *K1* отпадает, от-

ключается двигатель $M1$, контакт $K1-3$ замыкается, на реле $K3$ подается питание и схема снова готова к запуску.

Для сравнения представлена еще одна релейно-контакторная схема, работающая по тому же самому алгоритму, (рис. 11, б) что и предыдущая. Разница состоит в том, что во второй схеме используется значительно меньше контактов, а тем самым и проводов при монтаже, чем в первой. Однако при длительном режиме работы двигателей первая схема может иметь преимущество, так как катушка реле $K3$ отключена и не получает электроэнергию из сети. Необходимо также отметить, что при большем количестве реле во второй схеме нужно держать кнопку $SB2$ нажатой до тех пор, пока не отпадут все реле, иначе при ее отпускании реле включатся заново, начиная с последнего ($K3$).

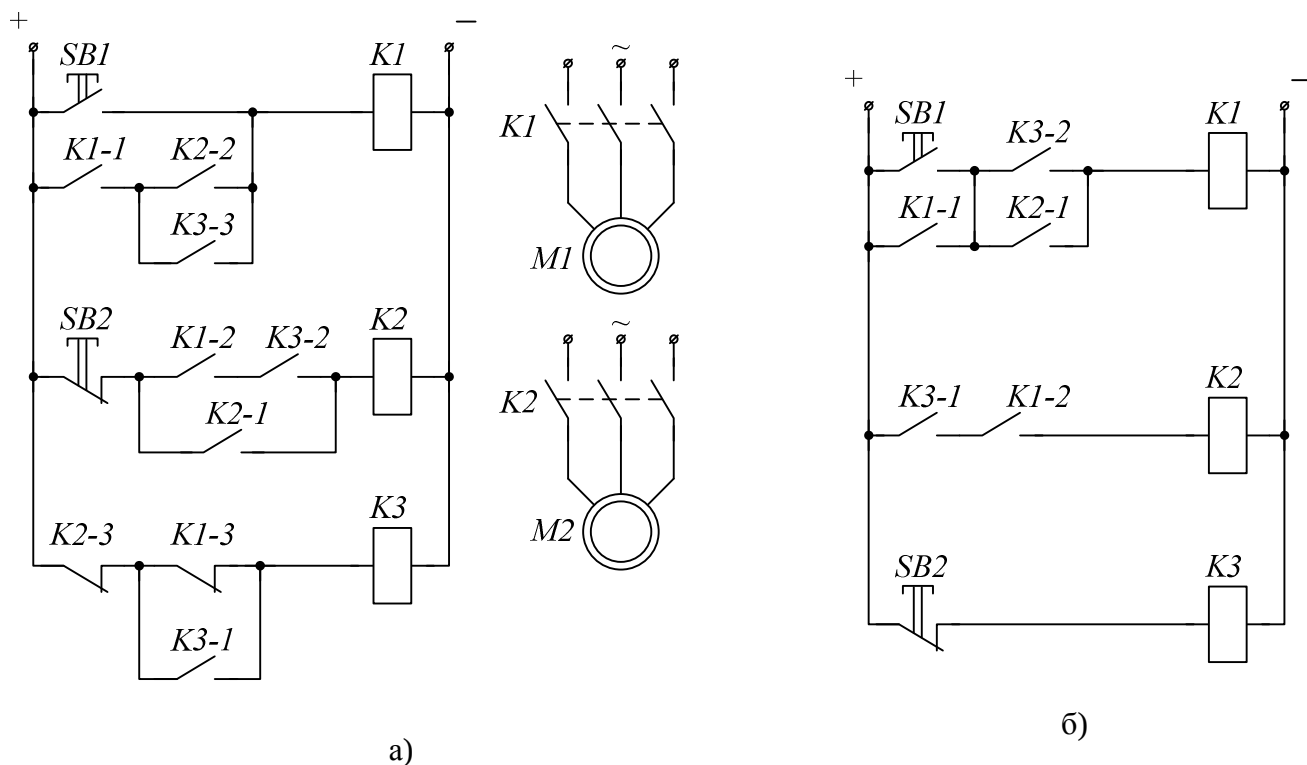


Рис. 11. Схема управления при зависимом пуске двигателей

3.6. Схема управления асинхронным двигателем в функции времени

В схеме управления асинхронным двигателем в функции времени (рис. 12) предусмотрено динамическое торможение с изменяемым дополнительным сопротивлением в цепи статора.

При нажатии кнопки пуска *SB2* срабатывает реле *KM*, которое встает на самопитание, и двигатель *M* подключается к сети *ABC*. Срабатывает реле *KT*, замыкается его контакт, подготавливая к включению контактор *K*.

При нажатии кнопки *SB1* отпадает реле *KM*, двигатель *M* отключается от сети. Одновременно включается контактор *K*, подключая источник постоянного напряжения к статору двигателя для динамического торможения. Одновременно размыкается блок-контакт *K* в цепи реле *KM*, исключая возможность включения двигателя. По истечении времени контакт реле *KT* размыкается, контактор *K* теряет питание и отключает режим динамического торможения.

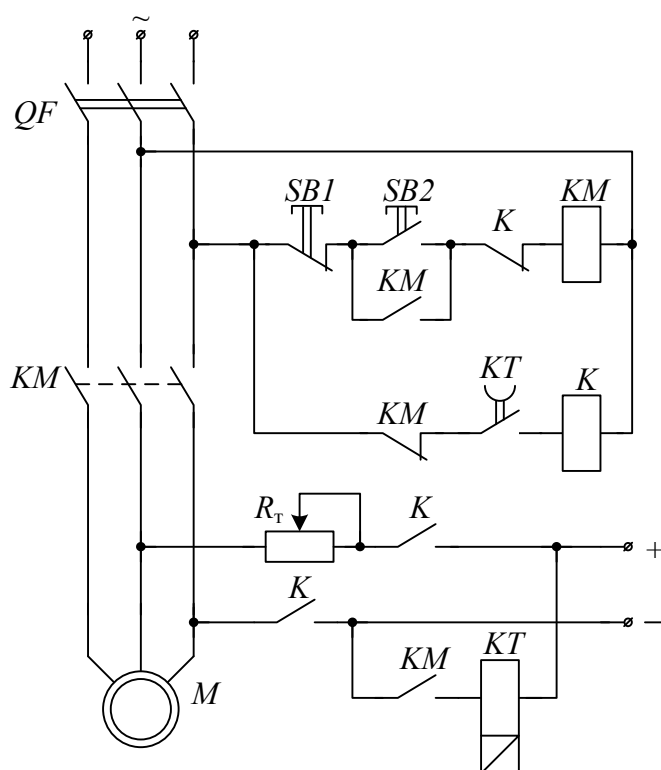


Рис. 12. Схема управления асинхронным двигателем в функции времени

Вопросы для самопроверки

1. Какие задачи решает РКСУ?
2. Какие цепи являются главными, а какие вспомогательными?
3. От чего зависит время работы двигателя на пусковых и тормозных характеристиках?
4. Поясните принцип работы узла пуска в функции времени.
5. В чем состоит принцип работы узла пуска и торможения в функции тока?
6. Какие аварийные режимы работы вы знаете и каковы меры защиты от них?
7. Объясните, в чем состоит принцип автоматизации пуска двигателей в функции времени.
8. Укажите достоинства и недостатки автоматического управления двигателем в функции времени.
9. Объясните работу схемы станции управления типа ПН-2620 при пуске, реверсе, останове и переходе с одной скорости на другую.
10. Объясните назначение блокировочного реле *KB* в схеме станции управления типа ПН-2620.
11. Каким образом осуществляется реверс двигателей?
12. Какие виды защит должны быть реализованы при реверсе двигателей?
13. Каковы преимущества комбинированного торможения (динамического и противовключением) при реверсе?
14. Объясните работу узла гашения поля.
15. Что такое зависимый пуск двигателей?
16. Как реализуется динамическое торможение асинхронных двигателей?
17. Что такое “нулевая защита” и как она реализуется?

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БЛОКИРОВОК

Для трех технологических станций производственного цеха необходимо разработать релейно-контакторную схему, используя комплект электрооборудования: реле, кнопки управления, переключатели режимов работы, звуковой сигнал и три конденсаторных однофазных асинхронных двигателя с короткозамкнутым ротором типа РД-ОЭ.

Для питания цепей управления (цепей катушек реле) в комплект оборудования может быть включен двухполупериодный выпрямитель. Напряжение на выходе выпрямителя соответствует номинальному напряжению катушек реле, равному 24 В.

Напряжение питания двигателей (главных цепей) – 220 В. Принципиальная схема включения обмоток двигателя и его изображение приведены на рис. 13.

При подаче напряжения питания (220 В) на клеммы “В” и “О” ротор двигателя вращается по часовой стрелке, то есть в направлении “Вперед”. Если к сети подключаются клеммы “Н” и “О”, то ротор будет вращаться в противоположном направлении.

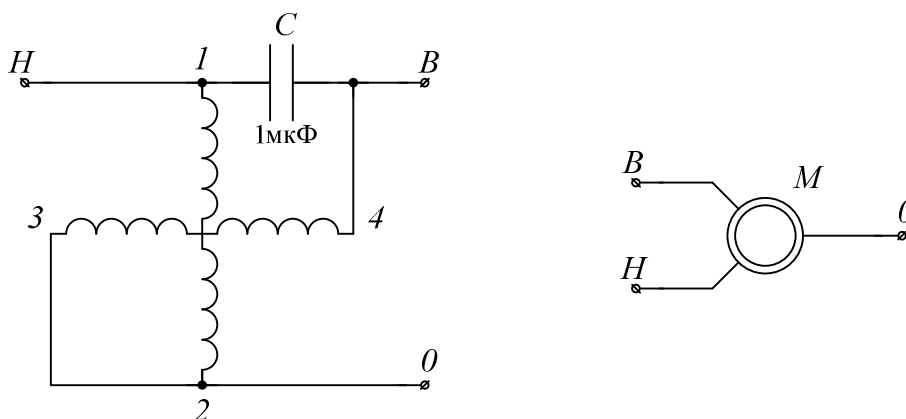


Рис. 13. Принципиальная схема включения обмоток конденсаторного однофазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Аппаратура управления двигателями разбита на три группы, в каждую из которых входят 3 промежуточных реле (РПУ-1, РПУ-0, РПГ), две кнопки управления (“Пуск” и “Стоп”) и переключатель режимов работы. Каждая группа имитирует местную станцию управления. Две оставшиеся кнопки управления применяются для централизованного управления пуском и остановом двигателей.

Обозначение, тип и количество аппаратов, а также количество контактов каждого аппарата, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Электрические аппараты и их характеристики

Условное обозначение	Наименование аппарата	Тип	Кол-во аппарат	Кол-во контактов	
				замыкающих	размыкающих
<i>K1 – K3</i>	Реле	РПУ-1	3	4	4
<i>K4 – K6</i>	Реле	РПУ-0	3	3	3
<i>K7 – K9</i>	Реле ¹	РПУ-110222	3	2 × 2	–
<i>SB1 – SB8</i>	Кнопка управления	КЕ-011	8	1	1
<i>SM1 – SM3</i>	Переключатель режимов ²	ПЕ-031	3	2 × 1	

¹ Контакты реле могут использоваться только для коммутации слаботочных цепей. В каждом реле имеется две катушки.

² Имеет три фиксированных положения (1–0–2). В положении “0” оба контакта разомкнуты; при повороте влево на 90° один контакт замкнут (1), другой разомкнут (2); при повороте вправо на 90° состояние контактов меняется на противоположное (рис. 14).

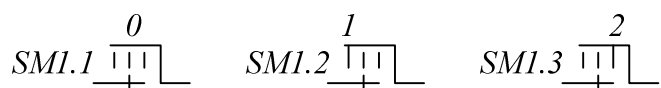


Рис. 14. Принципиальная схема переключателя режимов в трех различных положениях переключателя состояния

Варианты для составления схем

Вариант 1

1. Пуск и останов каждого двигателя осуществляется своей кнопкой.

2. Электрическая блокировка должна обеспечить зависимую последовательность ручного пуска в порядке: 1, 2, 3-й двигатели.

3. Останов двигателей должен быть ручным в обратной последовательности, то есть 3, 2, 1-й. Обеспечить невозможность останова в любой другой последовательности.

4. Возможность толчкового пуска любого двигателя для опробования с помощью местных переключателей режимов.

Вариант 2

1. Централизованный пуск всех двигателей (от одной кнопки), обеспечивающий зависимую последовательность пуска: 1, 2, 3-й двигатели.

2. Останов всех двигателей от одной кнопки “Стоп” с централизованного пульта управления в той же зависимой последовательности, что и пуск.

3. Одновременный останов всех двигателей от любой из трех местных кнопочных станций.

4. Возможность независимого пуска и работы в длительном режиме каждого двигателя путем предварительной установки всех местных переключателей режимов на положение “Изолированный пуск”.

Вариант 3

1. Централизованный пуск (от одной кнопки) всех двигателей, обеспечивающий зависимую последовательность пуска: 1, 2, 3-й двигатели.

2. Останов всех двигателей от одной кнопки с централизованного пульта в обратной зависимой последовательности, то есть 3, 2, 1-й.

3. Одновременный останов всех двигателей от любой из трех местных кнопочных станций.

4. Возможность независимого опробования каждого двигателя путем установки переключателя режимов на положение “Толчковый режим” (“Опробование”).

Вариант 4

1. Пуск двигателей *M1*, *M2* и *M3* возможен только после подачи звукового сигнала.
2. После пуска любого из двигателей звуковой сигнал должен автоматически прерываться.
3. Возможность пуска и работы в длительном режиме любого одного двигателя, одновременного пуска и работы любых двух или всех трех двигателей.
4. Звуковой сигнал перед пуском может быть прерван от любой из трех местных кнопок “Стоп”. От этих же кнопок должен осуществляться одновременный останов двигателей.

Вариант 5

1. Зависимая последовательность пуска двигателей *M1* и *M3* в направлении “Вперед” от одной кнопки.
2. Независимый пуск двигателя *M2* в направлении “Назад”.
3. Автоматический останов двигателя *M1* и реверс двигателя *M3* сразу после пуска двигателя *M2*.
4. Одновременный останов двигателей от централизованной кнопки “Стоп”.
5. Возможность толчкового опробования каждого двигателя в заданных направлениях вращения с использованием местных переключателей режимов.

Вариант 6

1. Пуск и останов каждого двигателя осуществляется своей кнопкой.
2. Электрическая блокировка должна обеспечить зависимую последовательность ручного пуска в порядке: 1, 2, 3-й двигатели.
3. Останов двигателей должен быть ручным в той же зависимой последовательности, то есть 1, 2, 3-й двигатели. Обеспечить невозможность останова в любой другой последовательности.
4. Возможность толчкового пуска любого двигателя для опробования с помощью местных переключателей режимов.

Вариант 7

1. Централизованный пуск (от одной кнопки) всех двигателей, обеспечивающий зависимую последовательность пуска: 1, 2, 3-й двигатели.
2. Останов двигателей должен быть ручным в обратной последовательности, то есть 3, 2, 1-й. Обеспечить невозможность останова в любой другой последовательности.
3. Одновременный останов всех двигателей от централизованной кнопки.
4. Возможность независимого пуска и работы в длительном режиме каждого двигателя путем предварительной установки всех местных переключателей режимов на положение “Изолированный пуск”.

Вариант 8

1. Независимый пуск двигателя *M1* в направлении “Назад”.
2. Зависимая последовательность пуска двигателей *M3* и *M2* в направлении “Вперед” от одной кнопки.
3. Автоматический реверс двигателя *M1* сразу после пуска двигателя *M2* и останов двигателя *M3*.
4. Одновременный останов двигателей от централизованной кнопки “Стоп”.
5. Возможность толчкового опробования каждого двигателя в заданных направлениях вращения с использованием местных переключателей режимов.

Вариант 9

1. Пуск каждого двигателя осуществляется своей кнопкой.
2. Электрическая блокировка должна обеспечить зависимую последовательность ручного пуска в порядке: 1, 2, 3-й двигатели.
3. Останов всех двигателей от одной кнопки с централизованного пульта в обратной зависимой последовательности, то есть 3, 2, 1-й.
4. Возможность пуска и работы в длительном режиме любого одного двигателя, одновременного пуска и работы любых двух или всех трех двигателей.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ В ФУНКЦИИ ПУТИ

Для макета производственного механизма циклического действия (возвратно-поступательное перемещение) необходимо разработать релейно-контакторную схему, используя комплект электрооборудования: реле, кнопки управления, путевые выключатели и электродвигатели.

Производственный механизм (рис. 15) работает следующим образом. Двигатель $M1$ (1) через цепную передачу (3) перемещает механизм с упором (4), воздействующим на путевые (конечные) выключатели SQ (5), которые расположены в крайних положениях хода механизма “вперед” и “назад”. На самом производственном механизме расположен двигатель $M2$ (2), на вал которого насажен эксцентрический диск.

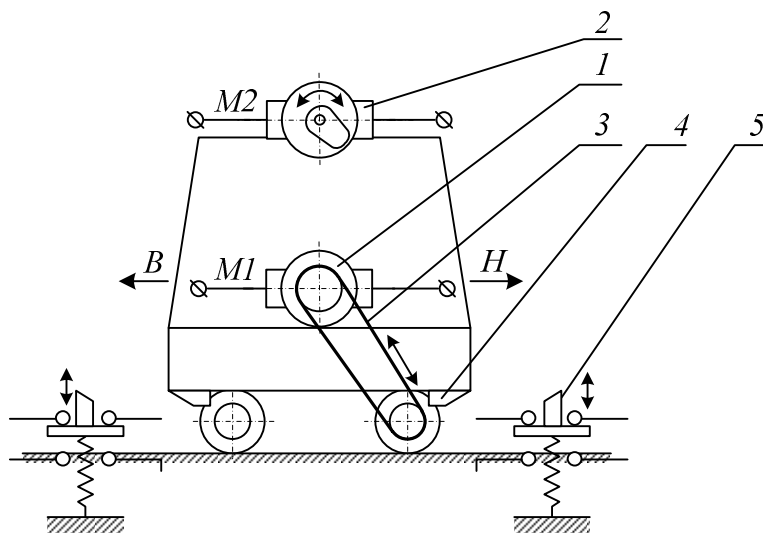


Рис. 15. Макет производственного механизма

В качестве рабочих двигателей $M1$ и $M2$ используются электродвигатели постоянного тока малой мощности. Двигатель $M1$ с независимым (параллельным) возбуждением, а двигатель $M2$ с последовательным возбуждением (рис. 16). Двигатель $M2$ имеет три вывода “В”, “Н” и “О” и в зависимости от то-

го, на какие зажимы (“В-0” или “Н-0”) подано напряжение, может обеспечить вращение вала в направлении как “вперед”, так и “назад”.

Напряжение питания двигателей 220 В и катушек аппаратов управления 24 В. В качестве источника питания используется выпрямитель.

Обозначение, тип и количество аппаратов, а также количество контактов каждого аппарата, приведены в табл. 3.

Защита оборудования и подача питания на механизм осуществляются автоматом типа АК. При включении автомата загорается сигнальная лампочка.



Рис. 16. Принципиальные схемы включения двигателей постоянного тока с независимым (а) и последовательным возбуждением (б)

Таблица 3. Электрические аппараты и их характеристики

Условное обозначение	Наименование аппарата	Тип	Кол-во аппарат	Кол-во контактов	
				замыкающих	размыкающих
<i>K1 – K5</i>	Реле	РПУ-1	5	4	4
<i>K6, K7</i>	Реле	РПУ-2	2	2	2
<i>KT1, KT2</i>	Реле времени ¹	ЭМРВ-27Б	2	1	1
<i>SB1 – SB4</i>	Кнопка управления ²	КЕ-011	4	1	1
<i>SQ1, SQ2</i>	Путевой выключатель	ВК-211	2	1	1

¹ Предназначены для обеспечения выдержки времени при включении.

² Кнопки *SB1* и *SB2* предназначены для централизованного пуска и останова. Кнопки *SB3* и *SB4* могут использоваться как “путевые выключатели” (“ручное ограничение хода”).

Варианты для составления схем

Вариант 1

1. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед”.
2. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя $M2$ сразу после отключения двигателя $M1$.
4. Пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5–10 с после пуска двигателя $M2$.
5. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода “назад”.
6. Останов обоих двигателей.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 6 с через 5 – 10 с.

Вариант 2

1. Пуск двигателя $M2$.
2. Автоматический пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед” через 5 – 10 с после пуска двигателя $M2$.
3. Останов двигателя $M2$ сразу после пуска двигателя $M1$.
4. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
5. Реверс двигателя $M1$ в направлении хода “назад”.
6. Пуск двигателя $M2$ сразу после реверса двигателя $M1$.
7. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению “назад”.
8. Останов обоих двигателей.
9. Автоматическое повторение цикла по пп. 1–8 через 5 – 10 с.

Вариант 3

1. Одновременный пуск двигателей $M1$ (“вперед”) и $M2$.
2. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода “вперед”.
3. Отключение двигателя $M1$.

4. Отключение двигателя $M2$ через 5 – 10 с после останова двигателя $M1$.
5. Автоматический пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” сразу после останова двигателя $M2$.
6. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “назад”.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 6 без паузы.

Вариант 4

1. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед”.
2. Останов двигателя $M1$ от путевого выключателя, ограничивающего ход механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя $M2$ через 5 – 10 с после останова двигателя $M1$.
4. Пуск двигателя $M1$ в направлении хода “назад” сразу после пуска двигателя $M2$.
5. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода “назад”.
6. Отключение двигателей от путевого выключателя.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 6 через 5 – 10 с.

Вариант 5

1. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед”.
2. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя $M2$ сразу после отключения двигателя $M1$.
4. Пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5 – 10 с после пуска двигателя $M2$.
5. Отключение двигателя $M2$ сразу после пуска двигателя $M1$.
6. Отключение двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “назад”.
7. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 6 через 5 – 10 с.

Вариант 6

1. Пуск двигателя $M2$.
2. Пуск двигателя $M1$ в направлении “вперед” через 5 – 10 с после пуска двигателя $M2$.
3. Отключение двигателя $M2$ сразу после пуска двигателя $M1$.
4. Отключение двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”.
5. Автоматический пуск двигателя $M2$ сразу после останова двигателя $M1$.
6. Автоматический пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5 – 10 с после пуска двигателя $M2$.
7. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “назад”.
8. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 7 без паузы.

Вариант 7

1. Пуск двигателя $M2$.
2. Пуск двигателя $M1$ в направлении вперед через 5 – 10 с после пуска двигателя $M2$.
3. Совместная работа двигателей.
4. Останов двигателя $M1$ в крайнем положении хода механизма “вперед”,
5. Пуск двигателя $M1$ в направлении “назад” через 5 – 10 с после его останова.
6. Останов двигателя $M2$ сразу после пуска двигателя $M1$.
7. Останов двигателя $M1$ в крайней положении хода механизма “назад”.
8. Повторение цикла по пп. 1 – 7 ручное; оно возможно только в случае, если механизм находится в крайнем положении хода “назад”, то есть при нажатии на кнопку “Стоп” отключение двигателя $M1$ должно происходить в соответствии с п. 7.

Вариант 8

1. Пуск двигателя $M2$ в направлении “вперед”.

2. Пуск двигателя *M1* в направлении “вперед” через 5 – 10 с после пуска двигателя *M2*.
3. Останов двигателя *M2* сразу после пуска двигателя *M1*.
4. Останов двигателя *M1* в крайнем положении хода механизма “вперед”.
5. Реверс двигателя *M2* в направлении “назад”.
6. Пуск двигателя *M1* через 5 – 10 с после реверса двигателя *M2*.
7. Совместная работа двигателей до момента подхода механизма к крайнему положению хода механизма “назад”.
8. Останов двигателей.
9. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 8 без паузы.

Вариант 9

1. Пуск двигателя *M1* в направлении “вперед”.
2. Отключение двигателя *M1* в крайнем положении хода механизма “вперед”.
3. Автоматический пуск двигателя *M2* сразу после останова двигателя *M1*.
4. Пуск двигателя *M1* в направлении “назад” через 5 – 10 с после пуска двигателя *M2*.
5. Останов двигателя *M2* сразу после пуска двигателя *M1*.
6. Останов двигателя *M1* в крайнем положении хода механизма “назад”.
7. Автоматический пуск двигателя *M2* сразу после останова двигателя *M1*.
8. Останов двигателя *M2* через 5 – 10 с после его пуска.
9. Автоматическое повторение цикла по пп. 1 – 8 без паузы.

Библиографический список

1. **Борисов, В.А.** Автоматическое управление электроприводами. Ч. 1. Системы релейно-контакторного управления. Вып. 1 (гл. 1 – 4), вып. 2 (гл. 5, 6) / В.А. Борисов – Иваново: ИЭИ-ВЗЭТ, 1969, 1970.– 32 с.
2. **Архангельский, Н.Л.** Руководство по проектированию элементов систем управления электроприводами: учеб. пособие / Н.Л. Архангельский, А.В. Виноградов, С.К. Лебедев – Иваново, ИГЭУ, 1999.– 116 с.
3. **Архангельский, Н.Л.** Типовые электрические схемы простых дискретных САУ / Н.Л. Архангельский – Иваново, Иван. гос. энерг.ун-т, 2000.– 76 с.
4. **Терехов, В.М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер.– М.: Изд. центр “Академия”, 2006. – 304 с.
5. **Тимофеев, В.С.** Релейно-контакторные схемы управления электроприводами / В.С. Тимофеев – Иваново, ИЭИ, 1993. – 32 с.
6. **Александров, К.К.** Электротехнические чертежи и схемы / К.К. Александров, Е.Г. Кузьмина – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.