

**Министерство образования и науки ЛНР
ОСП «Индустриальный техникум»
ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический
университет»**

"Системы управления электроприводами"

Лекции 3 курс

для студентов специальности

**13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования»**

**Алчевськ
2018**

Разработал _____ И.Н.Моисеенко преподаватель методист
высшей категории

Рассмотрено и одобрено на заседании
комиссии электротехнических дисциплин
протокол №__ от " __ " _____ 2018 года
председатель комиссии _____ В.В.Колесник

Общие сведения о существующих системах управления электроприводов

План

1. Классификация автоматизированного электропривода
2. Виды электрических схем.
3. Основные правила выполнения схем

1. Классификация автоматизированного электропривода

Электрификация народного хозяйства является основой экономики и развития производительных сил. Электрификация обеспечивает выполнение задачи широкой комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, что позволяет усилить темпы роста производительности труда, улучшить качество продукции и облегчить условия труда. На базе использования электроэнергии ведётся техническое перевооружение промышленности, внедрение новых технологических процессов. Поэтому в современной технологии ведущую роль играет электрооборудование и электропривод, т.е. совокупность электрических машин, аппаратов приборов и устройств, посредством которых производится преобразование электрической энергии в другие виды энергии и обеспечивается автоматизация технологических процессов.

Автоматизированный электропривод классифицируется по нескольким признакам:

1. Системы управления электроприводами разделяются на релейно – контакторные и бесконтактные

– **релейно – контакторные системы** используют в качестве основных аппаратов: контакторы, реле, командные аппараты и другие контактные устройства, позволившие осуществить не только относительно простые операции, как-то автоматический или дистанционный пуск, ускорение, реверс, торможение, остановку и т.д., но и автоматически управлять сложными технологическими процессами. Релейно – контакторные схемы находят широкое применение из-за своей простоты, надёжности, удобства обслуживания и ремонта;

– **бесконтактные схемы** в качестве управляющих и управляемых элементов применяются преобразователи на электронной полупроводниковой базе, имеющей практически неограниченные возможности. Широкое внедрение таких схем имеет тот недостаток, что для их обслуживания требуется, подготовленный квалифицированный персонал

Системы управления электроприводами разделяются на три категории: разомкнутые, замкнутые и комбинированные.

– в **разомкнутой системе** процесс управления характеризуется только одним управляющим воздействием для данного режима работы (например: отдельная конкретная команда, подаваемая оператором на пуск, реверс, торможение с помощью кнопки, ключа или контроллера), а когда контроль за работой системы в автоматическом режиме сводится к защите этой системы или отдельных её элементов в случае возникновения аварийных режимов (аварийное отключение). Изменение и контроль таких важных параметров, как ток, скорость, мощность количество оборотов и т.д. сводится к визуальному наблюдению оператором по приборам.

– **системы управления по замкнутому циклу** одновременно использует два и более каналов информации: задающий и о фактическом значении регулируемой величины, в состав которой кроме основной, например скорости вращения электродвигателя, может входить информация о составлении работы привода, т.е. контролироваться ток, напряжение, мощность, возбуждение и т.д. Качество и точность работы системы с обратными связями намного выше, чем разомкнутой.

– в **комбинированных системах** сочетаются две системы - замкнутая и разомкнутая, обеспечивающие независимость регулируемой величины, при этом качество и надёжность системы улучшаются.

3. По виду сигналов информации и управления АСУЭП разделяются на непрерывные (аналоговые) и дискретные (импульсные, цифровые и релейные) системы, а для систем стабилизации параметров – следящие и программного управления.

Всё разнообразие способов и систем управления электроприводами подчинено вниманию определённых функций. К основным из них можно отнести следующие:

1. Управление процессами пуска, реверса и торможения;

2. поддержание постоянства (стабилизация) заданной величины (скорости, момента мощности и т.д.)

3. слежение за вводимыми в систему произвольно изменяющимся входными сигналами (следящее управление);

4. выбор целесообразных режимов работы электроприводов.

При комплексной автоматизации производственных процессов АСУЭП часто представляет собой сложную многосвязную систему с управлением в функции нескольких параметров.

2. Виды электрических схем

Электрическая схема – это чертеж, на котором с помощью условных графических обозначений изображены элементы СУЭП и соединения между ними.

Электрические схемы делятся на: структурные, функциональные, принципиальные, схемы соединений (монтажные), схемы подключения, схемы расположения, комбинированные и совмещенные.

Структурная схема – это конструкторский документ, определяющий основные функциональные части АСУЭП, их назначения и связи

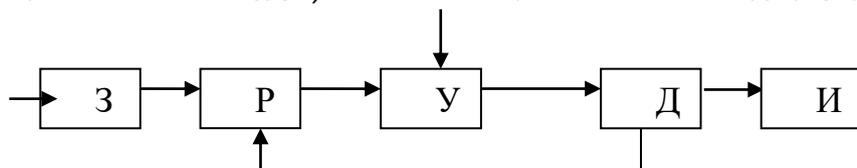


Рисунок 1

ЗУ – задающее устройство; **Р** – регулятор; **УП** – управляемый преобразователь; **Д** – двигатель, **ИО** – исполнительный орган..

Функциональная схема – это конструкторский документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных узлах в системе или системы в целом.

Принципиальная схема – это конструкторский документ, определяющий полный состав элементов АСУЭП, их взаимосвязь и дающий детальное представление о принципах действия системы.

3. Основные правила выполнения схем:

- Схемы выполняются без соблюдения масштабов;
- Схемы изображаются в отключенном положении;
- Силовые цепи на схеме вычеркивают жирными линиями, в цепи управления – более тонкими;
- Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом;
- Каждому устройству, элементу, функциональным шестом присваиваются буквенно–цифровое позиционное обозначение, которые регламентированы в ГОСТами, стандартом СЭВ на ЕСКД.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируется привода;
2. Типы электрических схем.
3. Назовите основные правила выполнения принципиальной схемы.
4. Чем отличаются разомкнутые схемы управления от замкнутых?
5. Какая схема является подробным конструкторским изображением цепи?

Тема 1.1 Релейно-контакторные схемы управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором

План

1. Защиты и блокировки в схемах ЭП.
2. Нереверсивная схема пуска АД с короткозамкнутым ротором
3. Реверсивная схема пуска АД с короткозамкнутым ротором
4. Типовые схемы управления АД с короткозамкнутым ротором с динамическим торможением и торможением противовключением

1. Защиты и блокировки в схемах ЭП

Защита, блокировка и сигнализация применяются в электроустановках с целью исключения аварий и повышения надежности работы при возможных нарушениях нормального режима.

В релейно-контакторных схемах применяются следующие виды защит: нулевая, максимально токовая, тепловая и т.д.

Нулевая защита обеспечивает защиту от самозапуска двигателя при кратковременном исчезновении напряжения в сети.

При управление от кнопок нулевую защиту осуществляет сам контактор, а при управлении командоконтроллера – реле защиты по напряжению.

Максимально – токовая защита обеспечивают защиту электрооборудование от недопустимо больших токов. Эту защиту осуществляют с помощью предохранителей, автоматических выключателей, токовых реле.

Тепловая защита обеспечивает защиту двигателей от перегрева при длительном перегрузе машины. Эту защиту осуществляют с помощью тепловых реле.

Блокировки в электрических схемах обеспечивает правильный порядок работы схем, исключают холостые и аварийные включения аппаратов, предупреждают несчастные случаи, возможные поломки и т.д. По назначению блокировки разделяются на технологические и защитные. **Технологические** блокировки используются для осуществления заданной последовательности работы схемы.

Защитные блокировки предотвращают ошибочные переключения в схеме и защищают электрическое оборудование, механизмы и иногда и оператора от последствий неправильных действий.

К защитным относятся блокировки реверсивных контакторов, предупреждающие их одновременно включения. Путевые блокировки ограничивают движение механизмов и замещают их от поломки.

Нулевая защита предназначено для защиты цепей управления от подачи напряжения на них, при его кратковременном отключении во время работы схемы управления.

Повторный запуск схемы управления осуществляется после возвращения контроллеров SA1, SA2 в нулевое положение, таким образом исключается самопроизвольное включение реле. Для осуществления конечных отключений на механизмах устанавливаются **концевые выключатели**. SQ в точке конечных отключений устанавливаются линейки из угловой или полосовой стали, которые при приближении механизма к этой точке нажимают на рычаг концевого выключателя. При этом разрывается контакт цепи контактора и двигатель останавливается. При этом движение механизма возможно только в другом направлении.

2. Простейшая нереверсивная схема управления пуском АД с короткозамкнутым ротором

На рис. 1 показана простейшая схема управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Для пуска включают автоматический выключатель QF и нажимают на кнопку SB1. Контактор KM при этом включается и своими главными контактами KM подключает статор двигателя к сети. Замыкающий блок – контакт контактора KM блокирует кнопку SB1. Отключение электрического двигателя от сети осуществляются нажатием кнопки SB2, после чего схема приходит в исходное положение.

Защита от короткого замыкания в цепи управления осуществляется плавкими предохранителями FU1 и FU2.

При коротком замыкании в силовой цепи срабатывают автоматический выключатель QF.. При перегреве двигателя срабатывает тепловое реле КК Контакт защитного реле КК размыкается в цепи управления и отключает катушку главного контактора KM. Потеряв питание контактор главными контактами KM отключит двигатель М от сети.

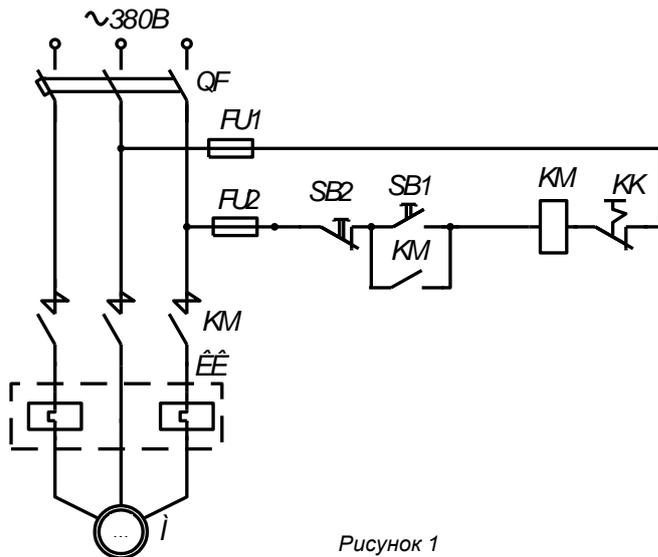


Рисунок 1

3. Реверсивная схема пуска АД с короткозамкнутым ротором

На рисунке 2 показана схема управления пуском АД с К.З. ротором с реверсивным магнитным пускателем. Для подачи командных импульсов имеются три кнопки: SB1, SB2, SB3. При нажатии кнопки SB1 включается контактор KM1, который своими контактами KM1 подключает статор двигателя к сети. Одновременно он своим замыкающим блок-контактом шунтирует кнопку SB1, размыкающим блок-контактом разрывает цепь катушки контактора KM2, чтобы исключить возможность короткого замыкания при одновременном нажатии обеих кнопок. При нажатии стоповой кнопки SB3 контактор KM1 теряет питание, размыкает силовую цепь, и двигатель останавливается.

При нажатии кнопки SB2 включается контактор KM2. В силовой цепи контакты KM2 подключают статор двигателя с другим чередованием фаз, и двигатель начнет вращаться в другую сторону. Одновременно блок-контакт KM2 шунтирует кнопку SB2 а размыкающим блок-контактом KM2 разрывает цепь катушки контактора KM1.

При нажатии стоповой кнопки SB3 контактор KM2 теряет питание, размыкает силовую цепь, и двигатель останавливается.

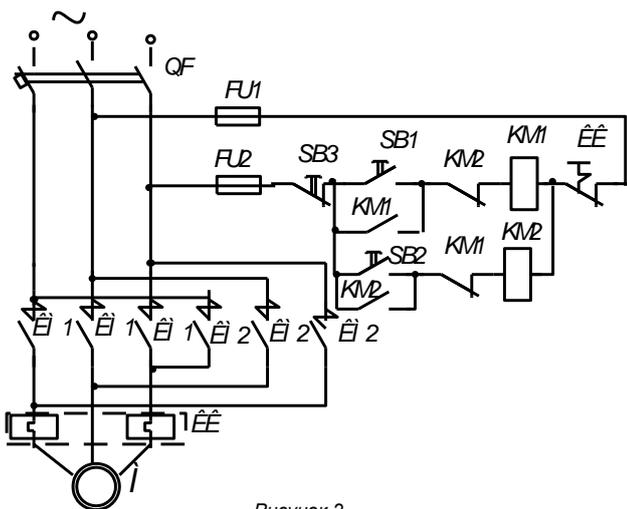


Рисунок 2

4 Типовые схемы управления с асинхронным двигателем с динамическим торможением и торможением противозвключением

Рассмотрим схему с динамическим торможением (рисунок 3). В данной схеме пуск осуществляется нажатием кнопки SB1. Катушка контактора KM получает питание и замыкает свои контакты в силовой цепи, и обмотка статора двигателя подключается к сети. Одновременно размыкается нормально-замкнутый контакт KM1 в цепи контактора KM2, а в цепи реле времени KT замыкается

нормально-разомкнутый контакт КМ1. Срабатывает реле времени и замыкает свой контакт КТ в цепи контактора КМ2, но он не срабатывает, так как цепь разомкнута контактом КМ1..

Для остановки нажимаем кнопку SB2. Контакт КМ1 отключается, размыкая свои контакты в цепи статора АД и отключая тем самым его от сети переменного тока. Одновременно с этим замыкается контакт КМ1 цепи аппарата КМ2 и размыкается контакт КМ1 в цепи реле КТ. Это приводит к включению контактора торможения КМ2, подаче на обмотку статора постоянного напряжения от выпрямителя ZU через резистор R_T и переводу двигателя в режим динамического торможения. Реле времени КТ потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени. Через интервал времени, достаточный для окончательной остановки АД, реле КТ размыкает свой контакт в цепи контактора КМ2, который отключается, прекращая подачу постоянного тока в цепь статора. Схема возвращается в исходное положение.

Интенсивность динамического торможения регулируется резистором R_T с помощью которого ограничивается постоянный ток в статоре АД. Для исключения возможности одновременного подключения статора к источникам переменного и постоянного тока в схеме использована типовая

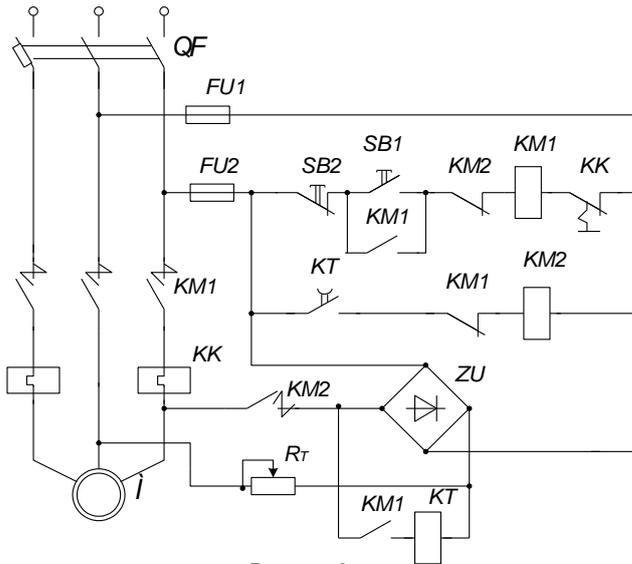


Рисунок 3

блокировка с помощью размыкающих контактов КМ1 и КМ2, включенных перекрестно в цепи катушек этих аппаратов.

Аналогично работает схема управления с асинхронным двигателем с торможением противовключением (рисунок 4).

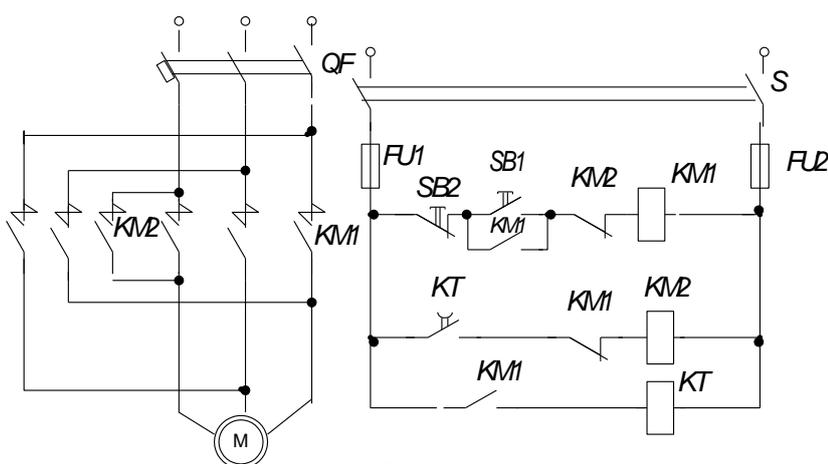


Рисунок 4

Контрольные вопросы

1. Поясните работу электромагнитного контактора.
2. Как осуществляется режим динамического торможения?
3. Как осуществляется режим торможения противовключением?
4. Как на схемах работает нулевая защита?
5. Поясните работу реле времени.
6. Какие блокировки используются в схемах?

Тема 1.1 Релейно-контакторные схемы управления асинхронными двигателями с фазным ротором

План

1. Схема пуска АД в функции времени в три ступени
2. Схема пуска АД в функции времени
3. Схема пуска АД в функции тока
4. Схема панели управления АД типа ПДУ6220

1 Схема пуска АД в функции времени в три ступени (рисунок 5)

Схемы управления АД с фазным ротором, которые выпускаются в основном на среднюю и большую мощность, должны предусмотреть ограничение токов при их пуске, реверсе и торможении с помощью добавочных резисторов в цепи ротора.

Для пуска АД включается автомат QF. Получают питание реле времени KT1, KT2 и KT3. Они срабатывают и размыкают свои контакты.

При нажатии пусковой кнопки SB1. Катушка контактора KM1 получает питание и замыкает свои контакты в силовой цепи, и обмотка статора двигателя подключается к сети. Двигатель начинает разгон с полным сопротивлением в цепи ротора по первой искусственной характеристике (рисунок 5б).

Одновременно размыкается нормально-замкнутый контакт KM1 в цепи реле времени KT1. Потеряв питание реле KT1 отключится и замкнет свои контакты с выдержкой времени, замыкая цепь контактора KM2. Последний сработает и замкнет своими контактами KM2 первую ступень пускового резистора в цепи ротора. Двигатель перейдет на вторую искусственную характеристику.

В это же время размыкается нормально-замкнутый контакт KM2 в цепи реле времени KT2. Потеряв питание реле KT2 отключится и замкнет свои контакты с выдержкой времени, замыкая цепь контактора KM3. Последний сработает и замкнет своими контактами KM3 вторую ступень пускового резистора в цепи ротора. Двигатель перейдет на третью искусственную характеристику.

Размыкается нормально-замкнутый контакт KM3 в цепи реле времени KT3. Потеряв питание реле KT3 отключится и замкнет свои контакты с выдержкой времени, замыкая цепь контактора KM4. Последний

сработает и замкнет своими контактами KM4 третью ступень пускового резистора в цепи ротора. Двигатель выйдет на четвертую искусственную характеристику.

Для остановки АД нажимаем кнопку SB2, контактор KM1 теряет питание, размыкает цепь статора двигателя, и он останавливается на выбеге.

В схеме максисально-токовая защита силовой цепи осуществляется автоматическим выключателем QF, а цепи управления – предохранителями. Тепловая защита осуществляется с помощью реле КК1 и КК2.

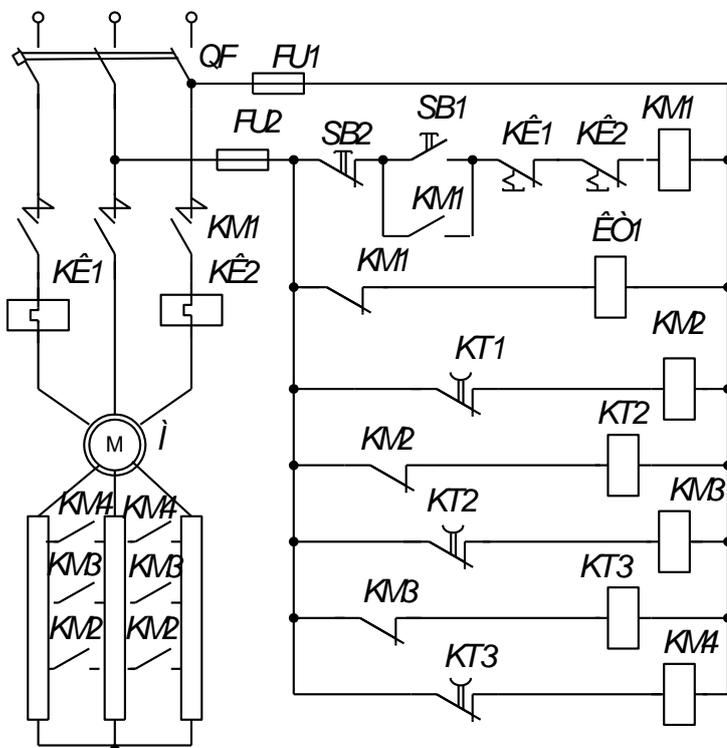


Рисунок 5

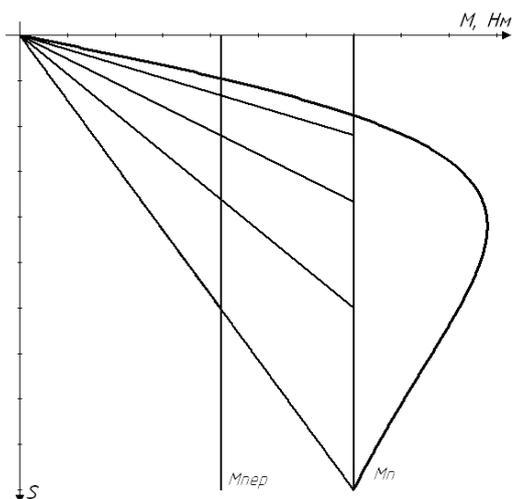


Рисунок 5.б Механические характеристики

2. Схема пуска АД в одну ступень в функции времени и торможении противовключением в функции эдс. (рисунок 6)

После подачи напряжения происходит включение реле времени KT , которое своими размыкающим контактам разрывает цепь питания контактора $KM3$, предотвращая тем самым его включение и преждевременное закорачивание пусковых резисторов в цепи ротора.

Включение АД производится нажатием кнопки $SB1$, после чего включается контактор $KM1$. Статор АД подсоединяется к сети, гидротолкатель YB растормаживается и начинается разбег АД.

Включение $KM1$ одновременно приводит к срабатыванию контактора $KM4$, который своими контактами шунтирует ненужный при пуске резистор противовключения $R2$, а также разрывает цепь реле времени KT . Последнее, потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени, после чего замыкает свой контакт в цепи контактора $KM3$, который срабатывает и шунтирует пусковой резистор $R1$ в цепи ротора, и АД выйдет на свою естественную характеристику.

Управление торможением обеспечивает реле напряжения KV , контролирующее уровень ЭДС (скорости) ротора. С помощью резистора R_p оно отрегулировано таким образом, что при пуске, когда $0 < s < 1$, наводимая в роторе ЭДС будет недостаточна для его включения, а в режиме противовключения, когда $1 < s < 2$, уровень ЭДС достаточен для его включения. Для осуществления торможения АД нажимается двоякая кнопка $SB2$, размыкающий контакт которой разрывает цепь питания катушки контактора

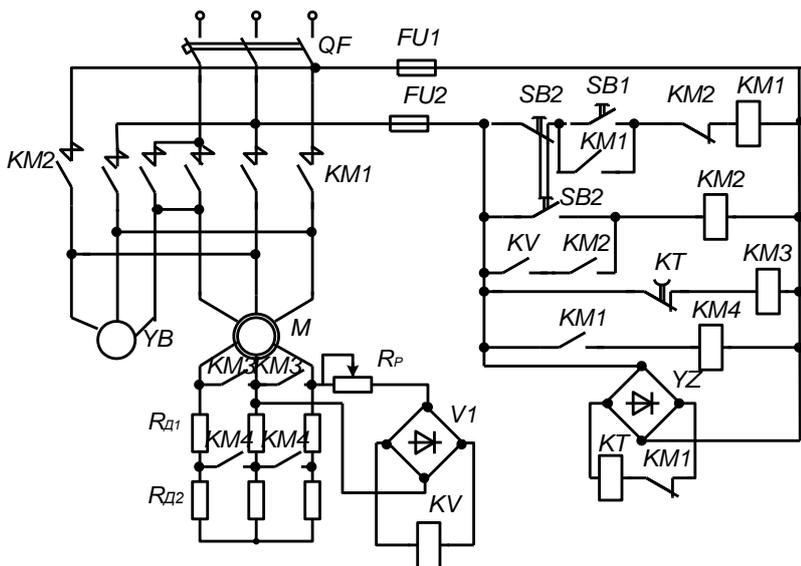


Рисунок 6

$KM1$. После чего АД отключается от сети и разрывается цепь питания контактора $KM4$ и замыкается цепь питания реле KT . В результате этого контакторы $KM3$ и $KM4$ отключаются и в цепь ротора АД вводится сопротивление R_1+R_2 .

Нажатие кнопки $SB2$ приводит одновременно к замыканию цепи питания катушки контактора $KM2$, который, включившись, вновь подключает АД к сети, но уже с другим чередованием фаз сетевого напряжения на статоре. АД переходит в режим торможения противовключением. Реле KV срабатывает и после отпущения кнопки $SB2$ будет обеспечивать питание контактора $KM2$ через свой контакт и замыкающий контакт этого аппарата.

В конце торможения, когда скорость будет близка к нулю и ЭДС ротора уменьшится, реле KV отключится и своим размыкающим контактом разорвет цепь катушки контактора $KM2$. Последний, потеряв питание, отключит АД от сети и схема придет в исходное положение. После отключения $KM2$ тормоз YB , потеряв питание, обеспечит фиксацию (торможение) вала АД.

3. Схема пуска асинхронного двигателя в одну ступень в функции тока и динамического торможения в функции скорости

Схема включает в себя контакторы КМ1, КМ2 и КМ3; реле тока КА; реле контроля скорости SR, реле напряжения промежуточное KV, понижающий трансформатор для динамического торможения TV; выпрямитель VD. Максимальная токовая защита осуществляется предохранителями FU1 и FU5, защита от перегрузки АД — тепловыми реле КК1 и КК2.

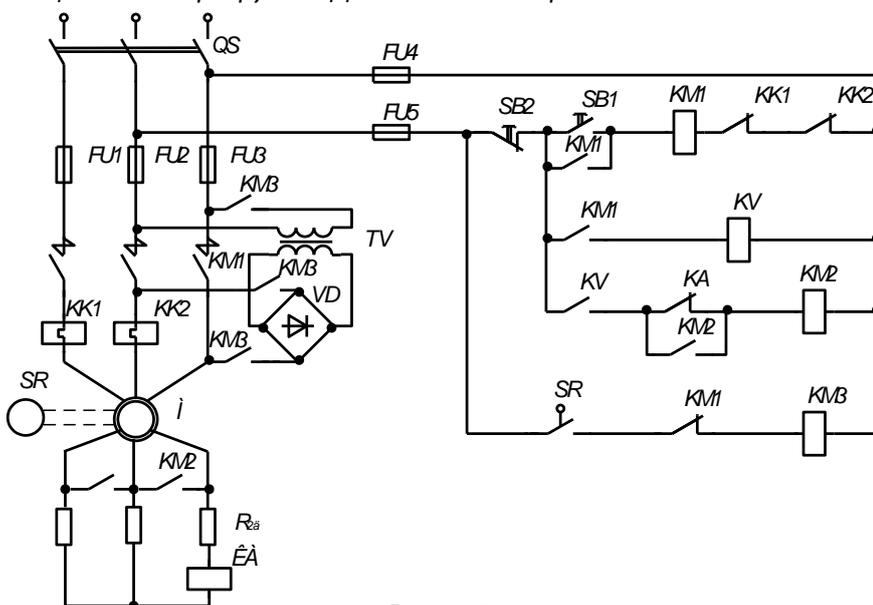


Рисунок 7

После подачи рубильником QS напряжения для пуска АД нажимается кнопка SB1 и включается контактор КМ1, через контакты которого статор двигателя подключается к сети. Бросок тока в цепи ротора вызовет включение реле тока КА и размыкание цепи контактора ускорения КМ2. Тем самым разбег АД начнется с пусковым резистором $R_{д2}$ в цепи ротора. Включение контактора КМ1 приводит также к шунтированию кнопки SB1, размыканию цепи контактора торможения КМ3 и включению промежуточного реле напряжения KV, что тем не менее

не приведет к включению контактора КМ2, так как до этого в этой цепи разомкнулся контакт реле КА.

По мере увеличения скорости АД уменьшаются ЭДС и ток в роторе; При некотором значении тока в роторе, равном току отпущения реле КА, оно отключится и своим размыкающим контактом замкнет цепь питания контактора КМ2. Он включится, зашунтирует пусковой резистор $R_{д2}$, АД выйдет на свою естественную характеристику.

Отметим, что вращение АД вызовет замыкание контакта реле скорости SR в цепи контактора КМ3, однако он не сработает, так как до этого разомкнулся контакт контактора КМ1.

Для перевода АД в тормозной режим нажимается кнопка SB2. Контактор КМ1 теряет питание и отключает АД от сети переменного тока. Благодаря замыканию контактов КМ1 включится контактор торможения КМ3, контакты которого замкнут цепь питания обмотки статора от выпрямителя VD, подключенного к трансформатору T, и тем самым осуществится перевод АД в режим динамического торможения. Одновременно с этим потеряют питание аппараты KV и КМ2, что приведет к вводу в цепь ротора резистора $R_{д2}$. Двигатель начинает тормозиться.

При скорости двигателя, 'близкой к нулю, реле контроля скорости SR разомкнет свой контакт в цепи катушки контактора КМ3. Он отключится и прекратит торможение АД. Схема придет в исходное положение и будет готова к последующей работе.

Принцип действия схемы не изменится, если катушку реле тока КА включить в фазу статора, а не ротора.

Контрольные вопросы

1. Какие защиты используются в схемах?.
2. Как осуществляется режим динамического торможения?
3. Как осуществляется режим торможения противовключением?

4. *Как на схемах работает нулевая защита?*
5. *Поясните работу реле времени.*
6. *Какие блокировки используются в схемах?*

Тема 1.2: Схемы управления двигателями постоянного тока

План

1. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени
2. Типовая схема пуска двигателя в две ступени в функции ЭДС и динамического торможения в функции времени.
3. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока в одну ступень в функции времени и динамического торможения в функции ЭДС.
4. Типовая схема пуска двигателя с последовательным возбуждением в функции тока.
5. Схема управления двигателем, обеспечивающая пуск, динамическое торможение и регулирование скорости ослаблением возбуждения.

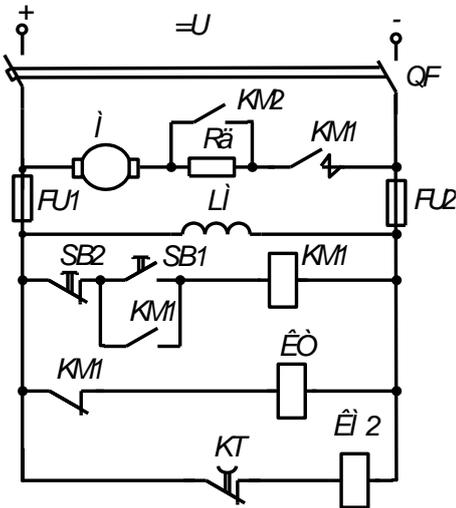
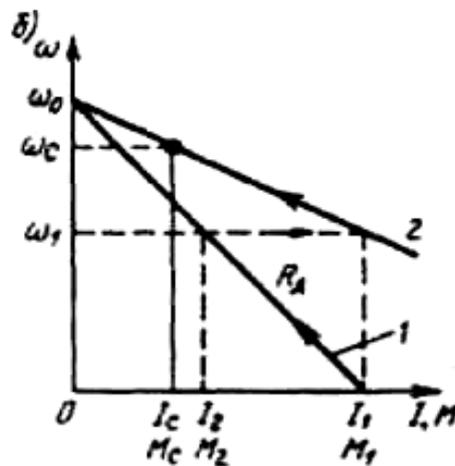


Рисунок 9



Управление пуском, реверсом и торможением ДПТ в большинстве случаев осуществляется в функции времени, скорости (ЭДС), тока или пути, Рассмотрим ряд типовых схем, с помощью которых реализуются указанные режимы.

1. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени.

Эта схема содержит кнопки управления (рисунок 9) SB1 (пуск) и SB2 (останов, стоп ДПТ), линейный контактор KM1, обеспечивающий подключение ДПТ к сети, и контактор ускорения KM2 для выключения (закорачивания) пускового резистора $R_{п.}$. В качестве датчика времени в схеме использовано электромагнитное реле времени KT. При подключении схемы к источнику питания происходит возбуждение ДПТ и срабатывает реле KT, размыкая свой размыкающий контакт в цепи контактора KM2 и подготавливая двигатель к пуску.

Пуск ДПТ начинается после нажатия кнопки SB1, в результате чего получает питание контактор KM1, который своим главным контактом подключает ДПТ к источнику питания. Двигатель начинает разбег с резистором R_A в цепи якоря..

Одновременно замыкающий блок-контакт контактора KM1 шунтирует кнопку SB1 и она может быть отпущена, а размыкающий блок-контакт KM1 разрывает цепь питания катушки реле времени KT. Через интервал времени $t_{вТ}$ после прекращения питания катушки реле времени, называемый выдержкой времени, размыкающий контакт КГ замкнется в цепи катушки контактора KM2, последний включится и своим главным контактом замкнет пусковой резистор R в цепи якоря. Таким образом,

при пуске ДПТ в течение времени $t_{вТ}$ разгоняется по искусственной характеристике 1 (рисунок 9б), а после шунтирования резистора R_d — по естественной 2.

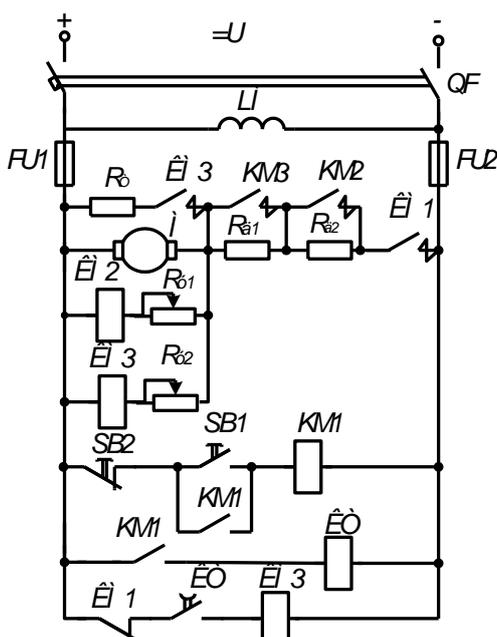


Рисунок 10

3. Типовая схема пуска двигателя в две ступени в функции ЭДС и динамического торможения в функции времени.

В этой схеме (рисунок 10) в качестве датчика скорости (ЭДС) использован якорь M , к которому подключены катушки контакторов ускорения $KM2$ и $KM3$. С помощью регулировочных резисторов R_{y1} и R_{y2} эти контакторы могут быть настроены на срабатывание при определенных скоростях двигателя. Для осуществления торможения в схеме предусмотрен резистор R_T , подключение и отключение которого осуществляется контактором торможения $KM3$. Для обеспечения выдержки времени используется электромагнитное реле времени KT , замыкающий контакт которого включен в цепь контактора торможения $KM3$. После подключения схемы к источнику питания происходит возбуждение ДПТ, причем аппараты схемы остаются в исходном положении. Пуск ДПТ осуществляется нажатием кнопки $SB1$, что приводит к срабатыванию линейного контактора $KM1$ и подключению обмотки якоря двигателя к источнику питания. Двигатель начинает разбег с включенными резисторами в цепи якоря $R_{a1}+R_{a2}$ по первой искусственной характеристике. По мере увеличения скорости ДПТ растет его ЭДС и соответственно напряжение на катушках контакторов $KM2$ и $KM3$.

При скорости ω_1 срабатывает контактор $KM3$, шунтируя своим контактом первую ступень пускового резистора R_{a1} , и двигатель переходит на вторую искусственную характеристику. При скорости ω_2 срабатывает контактор $KM2$, шунтируя вторую ступень пускового резистора R_{a2} . Двигатель выходит на естественную характеристику и заканчивает свой разбег.

Для перехода к режиму торможения нажимается кнопка $SB2$. Катушка контактора $KM1$ теряет питание, размыкается замыкающий контакт $KM1$ и обмотка якоря двигателя отключается от источника питания. Размыкающий контакт $KM1$ в цепи контактора торможения $KM3$ замыкается, последний срабатывает и своим главным контактом подключает резистор R_{a3} к якорю M , переводя ДПТ в режим динамического торможения по характеристике 4 (рис. 2,б). Одновременно размыкается замыкающий контакт контактора $KM1$ в цепи реле времени KT , оно теряет питание и начинает отсчет времени. Через интервал времени, который соответствует снижению скорости ДПТ до нуля, реле времени KT отключается и своим контактом разрывает цепь питания контактора $KM3$. Резистор R_{a3} отключается от якоря M ДПТ, торможение заканчивается, и схема возвращается в свое исходное положение.

3. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока в одну ступень в функции времени и динамического торможения в функции ЭДС.

Пуск ДПТ происходит по аналогии со схемой рисунок 9. Отметим, что при включении двигателя (рисунок 11) и работе его от источника питания размыкающий контакт линейного контактора KM в цепи контактора торможения $KM2$ разомкнут, что предотвращает перевод двигателя в режим торможения.

Торможение осуществляется нажатием кнопки $SB2$. Контактор KM , потеряв питание, отключает ДПТ от источника питания и замыкает своим контактом цепь питания контактора $KM2$.

Последний срабатывает и замыкает якорь M на резистор торможения R_{a2} . Процесс динамического торможения происходит до тех пор, пока при небольшой скорости ДПТ его ЭДС не станет меньше напряжения отпущения контактора $KM2$. Контактор $KM2$ отключится и схема вернется в исходное положение.

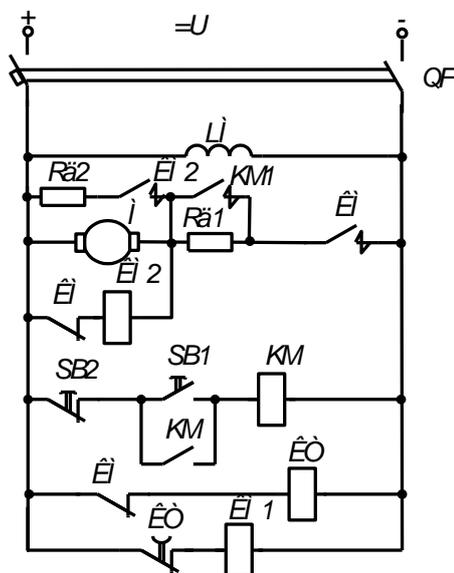


Рисунок 11

4. Типовая схема пуска двигателя с последовательным возбуждением в функции тока.

В этой схеме (рис. 12) используется реле тока KA , катушка которого включена в цепь якоря M , а размыкающий контакт — в цепь питания контактора ускорения $KM2$. Реле тока настраивается таким образом, чтобы его ток отпущения соответствовал току I_2 . В схеме используется также дополнительное блокировочное реле KV с временем срабатывания большим, чем у реле KA .

Работа схемы при пуске происходит следующим образом. После нажатия на кнопку SB1 срабатывает контактор KM1 и двигатель подключается к источнику питания, в результате чего он начинает свой разбег. Бросок тока в якорной цепи после замыкания главного контакта контактора KM1 вызовет срабатывание реле тока KA, которое разомкнет свой размыкающий контакт в цепи контактора KM2. Одновременно срабатывает KV и замыкает свой замыкающий контакт в цепи контактора KM2.

По мере разбега ДПТ ток якоря снижается до значения тока переключения I_2 . При этом отключается реле тока и замыкает свой размыкающий контакт в цепи контактора KM2. Последний срабатывает, его главный контакт шунтирует пусковой резистор R_d в цепи якоря, а вспомогательный контакт шунтирует контакт реле тока KA. Поэтому вторичное включение реле тока KA после закорачивания R_d и броска тока не вызовет отключения контактора KM2 и ДПТ продолжит разбег по своей естественной характеристике.

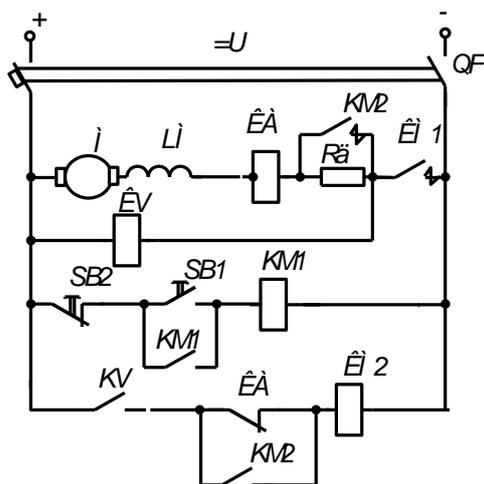


Рисунок 12

5 Реверсивная схема пуска ДПТ с параллельным возбуждением

В схеме (рисунок 13) для осуществления реверса необходимо изменить полярность напряжения питания обмотки якоря, для этого используются контакторы KM1 и KM2. Для осуществления максимальной токовой защиты в обмотке якоря установлена реле максимального тока KA1. Для защиты от обрывов поля возбуждения двигателя используется токовое реле KA2.

Включаем автоматический выключатель QF, по обмотке возбуждения протекает ток и в двигателе наводится магнитное поле. В это же время срабатывает реле KA2 и замыкает свой нормально-разомкнутый контакт KA2.

После нажатия пусковой кнопки SB2 получает питание и срабатывает контактор KM1, который замыкает свои контакты в обмотке якоря и она подключается к источнику постоянного напряжения через резистор R_d . Двигатель начнет разгоняться по искусственной характеристике. В это же время замыкается нормально-разомкнутый контакт KM1 в цепи реле времени KT. Реле срабатывает и с выдержкой времени замкнет свой нормально-разомкнутый контакт KT, благодаря этому сработает контактор KM3 и шунтирует сопротивление R_d . Двигатель выйдет на естественную характеристику.

Для осуществления реверса необходимо остановить двигатель стоповой кнопкой SB1. После чего KM1 потеряет питание и отключит обмотку якоря от сети. Нажимает кнопку SB3, и сработает контактор KM2, силовые контакты которого подключат обмотку якоря к сети с другой полярностью. Разгон двигателя производится аналогично.

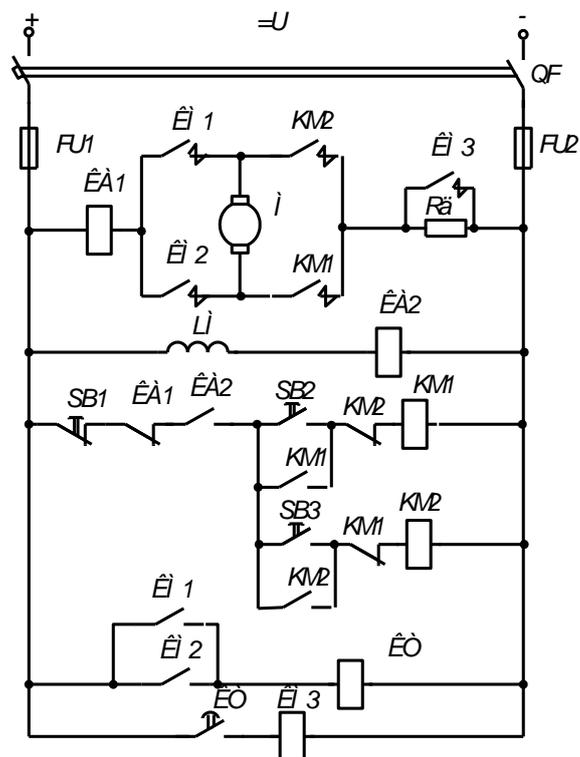


Рисунок 13

Контрольные вопросы

1. *Какие защиты используются в схемах?.*
2. *Как осуществляется режим динамического торможения в ДПТ?*
3. *Как осуществляется режим реверс в ДПТ?*
4. *Как на схемах работает нулевая защита?*
5. *Поясните работу реле времени.*
6. *Какие блокировки используются в схемах?*

Тема 1.3 Релейно-контакторные схемы управления с магнитными контроллерами

План

1. Магнитные контроллеры двигателей переменного тока
2. Схема управления магнитного контроллера типа Т, ТС,
3. Схема управления магнитного контроллера типа ТА, ТСА
4. Магнитные контроллеры двигателей постоянного тока типа П и ПС

1. Магнитные контроллеры двигателей переменного тока

Магнитные контроллеры серий ТА, ТСА, К, КС предназначены для управления крановыми асинхронными двигателями с фазным ротором серии МТ, МТН. Контроллеры типов К, КС применяются в крановых электроприводах металлургического производства, работающих в режимах Л, С, Т, ВТ, ОТ; контроллеры типов ТА, ТСА—в электроприводах кранов общего назначения, работающих в режимах Л и С.

Контроллеры серий ТСА, КС используются в электроприводах механизмов подъема, а также механизмов грейфера; контроллеры серий ТА и К— в основном в электроприводах механизмов горизонтального передвижения (передвижение моста крана и тележки). Контроллеры ДК, ДКС, ДТА предназначены для управления двумя двигателями одновременно (дуплексные, двух двигательные приводы). Взамен контроллеров серий КС и ТСА внедряются контроллеры серий ТСД, КСДБ, в которых использован принцип динамического торможения с самовозбуждением и использованы тиристорные коммутаторы в силовой цепи.

Главная цепь контроллеров переменного тока выполняется на напряжение 220 и 380 В; цепь управления—на постоянном токе напряжением 220 В или переменном напряжении, равном напряжению главной цепи (контроллеры

2. Схема магнитного контроллера типа Т

Рассмотрим работу электромагнитного командоконтроллера типа Т (рисунок 14). Включаем рубильники QS и S. В нулевом положении командоконтроллера катушка реле напряжения KV получает питание, реле срабатывает и замкнет свой контакт, через который станет питаться вся схема управления, после того как командоконтроллер будет выведен из нулевого положения. Таким образом, пуск возможен лишь при нулевом положении командоконтроллера (нулевая блокировка).

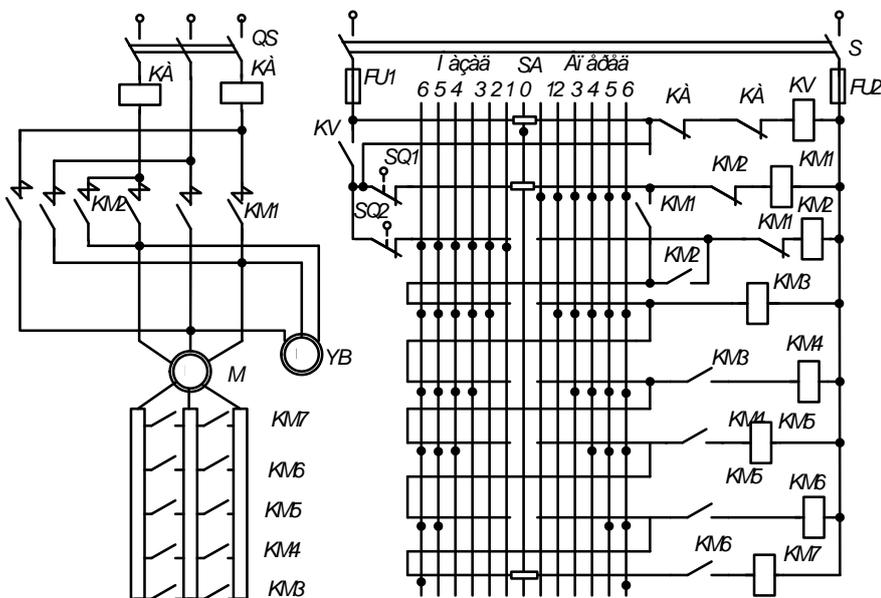


Рисунок 14

В первом положении «Вперед» при условии, что конечный выключатель SQ1 не разомкнут, через размыкающий блок-контакт контроллера К.М2 получает питание катушка контактора К.М1 и он срабатывает; размыкающий блок-контакт К.М2 в цепи катушки контактора К.М1 так же, как и размыкающий блок-контакт КМ1 в цепи катушки контактора КМ2, служит для того, чтобы включить первый можно было лишь при разомкнутом положении второго (взаимно запрещающая блокировка). Статор двигателя М подключается к сети одновременно с тормозным гидротолкателем YB,

размагничивающим двигатель, и он подключается к сети с полностью введенным роторным сопротивлением.

Во втором положении «Вперед» через блок-контакт контактора КМ1 включается катушка контактора торможения КМ3, контакты которого шунтируют тормозную часть роторного сопротивления.

В третьем положении «Вперед» через блок-контакт включенного контактора торможения КМ3 получает питание катушка контактора ускорения КМ4 и шунтируется следующая часть пускового сопротивления.

В следующих положениях «Вперед» последовательно включаются контакторы КМ5—КМ7, шунтирующие соответствующие ступени резистора. Как видно из схемы, цепь питания катушки каждого последующего контактора проходит через блок-контакты предыдущего контактора, чем обеспечивается необходимая последовательность их включения.

В случае резкого снижения напряжения отпадает якорь блокировочного реле КV и сразу же отключаются контактор направления КМ1 (или КМ2) и все роторные контакторы, так как цепь питания их катушек проходит через блок-контакты КV. При переходе механизма в крайнее положение срабатывает (размыкается) соответствующий конечный выключатель, отключая контактор управления, а за ним и все роторные контакторы.

Контроллеры типа Т имеют реверсивную симметричную схему, допускающую торможение противовключением и регулирование частоты вращения сопротивлениями в цепи ротора. Магнитные контроллеры типа Т применяют для управления трехфазными асинхронными электродвигателями, обслуживающими механизмы горизонтального передвижения.

Схема управления с магнитным контроллером типа ТС.

Для управления трехфазными асинхронными двигателями подъема служат магнитные контроллеры типа ТС с реверсивной несимметричной схемой, при

которой в первых положениях спуска электродвигатель остается включенным в сторону подъема, благодаря чему обеспечиваются малые посадочные скорости при спуске тяжелых грузов.

В этих положениях спуска двигатель согласно схеме включен на подъем, но под действием груза крюк движется вниз – происходит спуск. Тормозной момент двигателя не дает грузу падать.

Схема магнитного контроллера типа ТС при подъеме груза отличается от схемы рассмотренного выше контроллера типа Т только наличием специального контактора КМ, управляющего тормозным магнитом.

При опускании грузов двигатель, управляемый контроллером типа ТС, может работать в режимах тормозного и силового спусков. Для получения малых скоростей опускания тяжелых грузов двигатель переводится в тормозной режим противовключения — тормозной спуск. Этому режиму соответствуют три первых положения командоконтроллера: при спуске С, первое и второе.

В режиме силового спуска опускаются легкие грузы, ему соответствуют три положения командоконтроллера: третье, четвертое и пятое. В этих положениях командоконтроллера в генераторном режиме осуществляется тормозной спуск тяжелых грузов.

В положении С рукоятки командоконтроллера включен контактор КМ1, в роторную цепь введены четыре ступени сопротивления ускорения, контактор КМ отключен.

Таким образом, двигатель включен для работы на подъем, однако торможено механическим тормозом. Положение С используется для операций с подвешенным грузом. Переход в первое и второе положения тормозного спуска соответственно сопровождается отключением контакторов КМ4 и КМ3, которые вводят в роторную цепь дополнительные ступени резистора. Механическое торможение в этих положениях командоконтроллера отсутствует, так как контактор КМ включен.

После отключения контактора КМ4 двигатель будет работать, опуская груз в режиме противовключения. Торможение используется при значительных грузах, малый груз не способен преодолевать работу двигателя на подъем, и вместо спуска может быть подъем.

В третьем положении командоконтроллера при спуске груза отключю

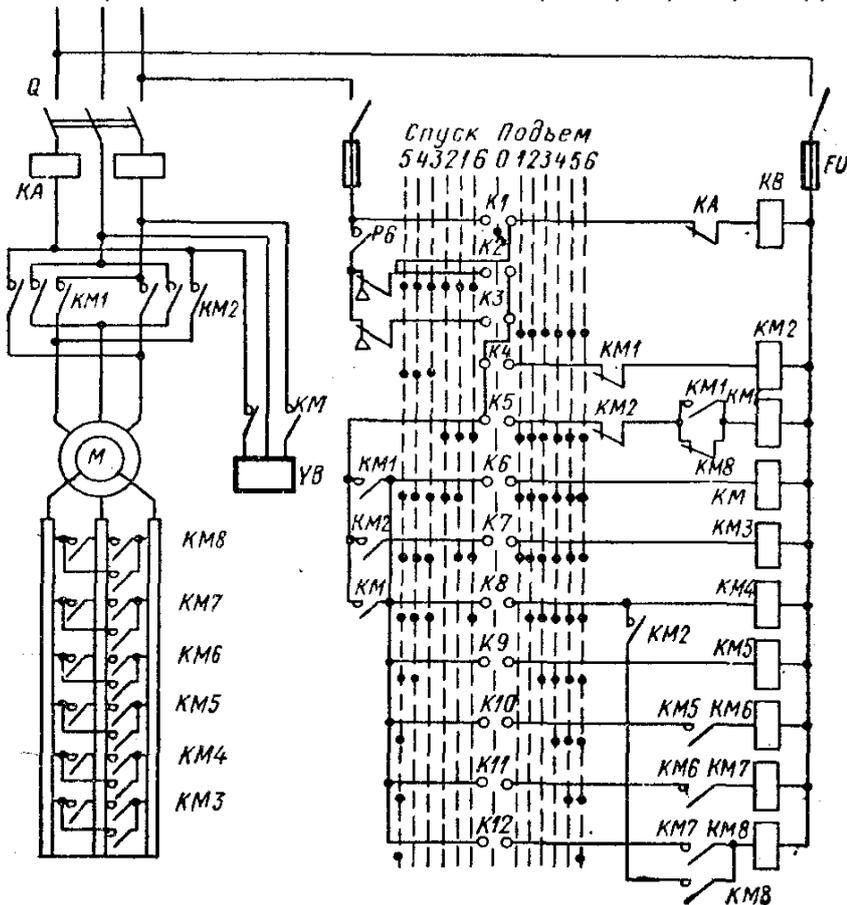


Рисунок 15

чается контактор KM1 и включается контактор KM2. В роторную цепь двигателя теперь включены все ступени резистора ускорения, а ступени противовключения выведены. При переводе командоконтроллера в четвертое и пятое положения из роторной цепи выводятся дополнительные сопротивления.

В пятом положении двигатель работает с постоянно включенным малым сопротивлением в цепи ротора. Во избежание увеличения частоты вращения при переводе командоконтроллера из пятого положения в ну-

Рисунок

левое контактор KM8 остается включенным через замыкающий контакт KM2. В схеме также предусмотрена блокировка с помощью размыкающего контакта KM8, исключающая включение контактора KM1 до отключения контактора KM8 при переходе от силового спуска к тормозному.

При очень напряженных режимах, когда магнитные системы контакторов и тормозов переменного тока не выдерживают большого количества включений из-за нагрева катушек от пусковых токов и частых ударов, применяют магнитные контроллеры с цепями управления на постоянном токе. В этих контроллерах силовые цепи также питаются переменным током, как и в контроллерах типа ТС. Питание цепей управления при этом осуществляется от селенового выпрямителя, установленного в кабине крана или на его мосту.

Недостатком рассмотренной схемы, как и схемы с контроллером типа Т, является отсутствие аппаратов, которые автоматически управляли бы контакторами' ускорения. Кроме того, при переводе рукоятки командоконтроллера со второго положения спуска в третье, когда производится переход с торможения противовключением на торможение с отдачей энергии в сеть (или наоборот), возможно короткое замыкание. Это происходит при реверсе двигателя, когда электрическая дуга между главными контактами контактора KM1 еще не успела погаснуть, а контакты KM2 уже замкнулись.

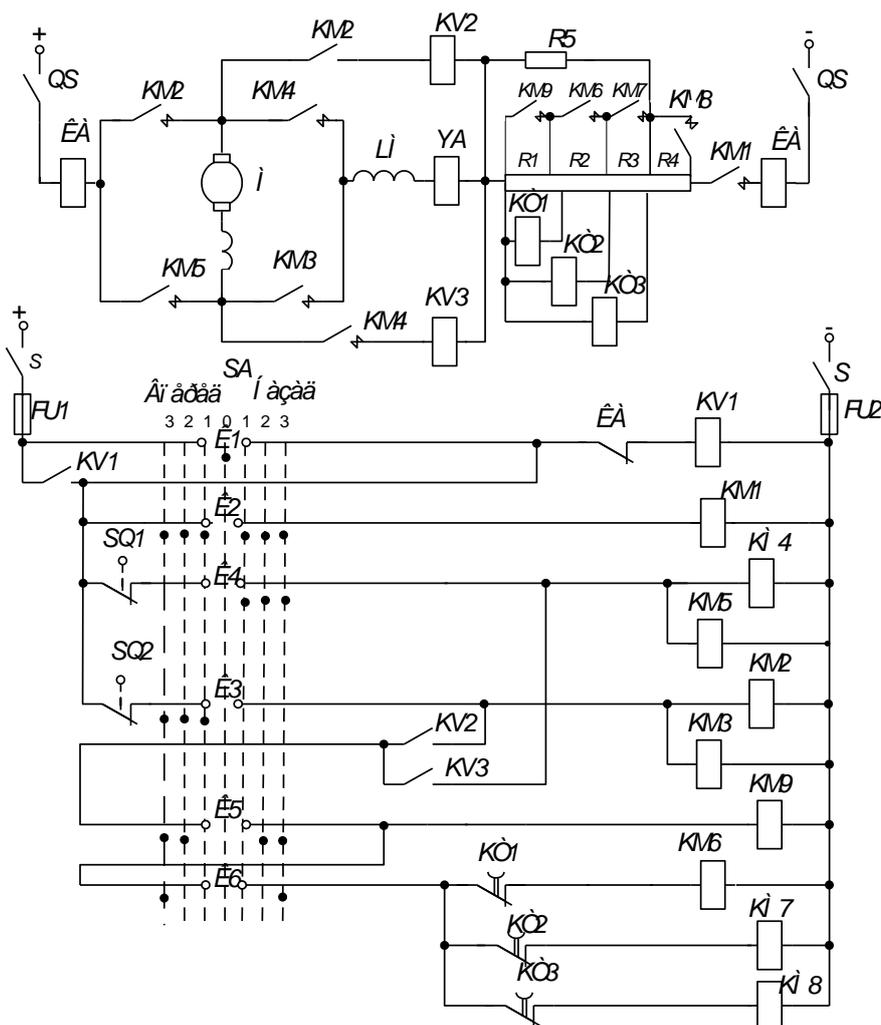
О возможности короткого замыкания в рассматриваемой схеме было известно давно, и для предотвращения его был предложен способ однофазного торможения. Положения командоконтроллера,

при которых используется однофазное торможение, разделяли положение торможения противовключением и положение с отдачей энергии в сеть.

3. Магнитные контроллеры двигателей постоянного тока

Для управления двигателями постоянного тока последовательного возбуждения, работающими в режимах Л, С, Т, ВТ, ОТ, используются магнитные контроллеры серий П, ПС; контроллеры серий П — в механизмах горизонтального передвижения и серии ПС — в электроприводах механизмов подъема.

Все схемы контроллеров обеспечивают автоматический пуск (в функции времени), реверсирование, торможение и ступенчатое регулирование скорости (реостатное). Диапазон регулирования скорости 3:1—4:1.



Описание работы схемы с магнитным контроллером типа П (рисунок16)

Рисунок 16

Для управления двигателями постоянного ток, так же как и переменного, можно применять магнитные контроллеры. Схема управления с магнитным контроллером типа П, предназначена для механизмов передвижения. Этот котроллер имеет симметричную схему включения, в которой предусмотрены торможение противовключением и регулирование частоты вращения пусковыми резисторами. Проследим работу контроллера во всех его положениях. В нулевом положении двигатель отключен от сети. Реле нулевой блокировки KV1 получает питание лишь после включения рубильников силовой QS и контрольной S цепей, срабатывает и самоблокируется через свой замыкающий контакт KV1, подавая тем самым напряжение в цепи управления.

В первом положении «Вперед» через контакт командоконтроллера K2 включается катушка линейного контактора KM1, а через контакт K3 – катушки контакторов KM2 и KM3 и двигатель включается в сеть при полностью включенном сопротивлении. Контакты контактора KM2 замыкаются, и через них получает питание катушка реле противовключения KV2. В свою очередь, при срабатывании реле KV2 его контакты замкнут цепь питания контакта K5 контроллера.

Катушки реле ускорения получают питание за счет падения напряжения на участках тормозного сопротивления R1 – R2 и мгновенно разомкнут свои размыкающие контакты (эти контакты действуют с выдержкой времени на замыкание) KT1, KT2, KT3. Во втором положении «Вперед» включается контактор противовключения KM9, шунтируя ступень резистора R1 и катушку реле 1K, контакты которого замкнутся с выдержкой времени 1 с. и подготовят к включению катушку контактора KM6.

В третьем положении «Вперед» замкнутся контакты командоконтроллера K6 и сработает контактор ускорения KM6, которой после замыкания контактов KT1 выведет ступень резистора R2 и шунтирует катушку KT2.

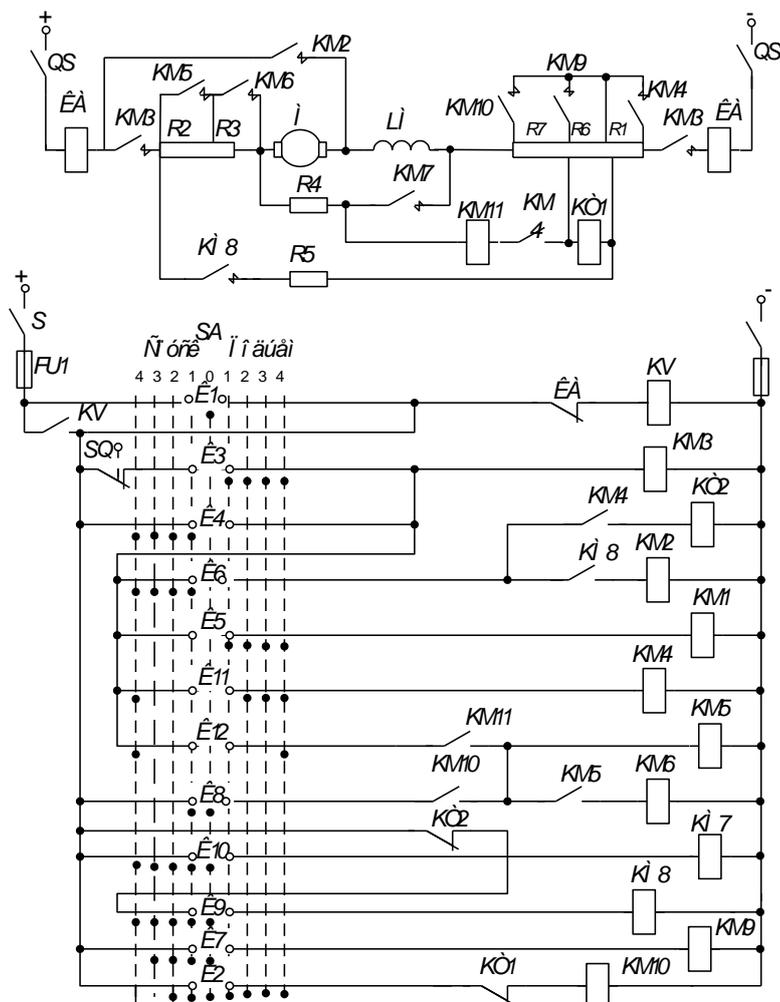
После срабатывания второго реле включится контактор KM7, выключит ступень R3 резистора и шунтирует катушку KT3. Через замкнувшие контакты KT3 включится последний контактор ускорения KM8 и выведет ступень R4 резистора. На этом пуск двигателя заканчивается.

Если перевести командоконтроллер сразу в третье положение, контакторы и реле начнут автоматически замыкаться в следующем порядке: KM2 и KM3, KV2, KM9. Затем после выдержке времени 1 с. замкнутся контакторы KM6 (с выдержкой времени 0.8 с) KM7, 3к (с выдержкой времени 0,3 с) и KM8, чем и заканчивается запуск двигателя.

При необходимости быстрой остановки используют режим противовключения – командоконтроллер переводят в первое положение обратного хода. Двигатель, получая питание через контакты контакторов KM4 и KM5, продолжает вращаться по инерции в направлении «Вперед» и оказывается в режиме противовключения с полностью введенным сопротивлением в цепь якоря R1 – R4; ЭДС якоря в этом случае почти полностью уравнивает напряжение в сети, и реле KV3 (или KV2, если движение происходило в обратном направлении) не работает вплоть до полной остановки якоря.

Описание работы схемы с магнитным контроллером типа ПС

Для управления двигателями подъема применяют магнитные контроллеры типа ПС (рис 17).



Контроллер имеет четыре ступени регулирования при работе двигателя на подъем и четыре при работе на спуск. Схема включения контакторов несимметрична и предусматривает различные режимы работы двигателя при установке рукоятки командоконтроллера в положении подъема или спуска.

Линейный контактор KM3 получает питание через контакт K3 при подъеме груза и через контакт K4 при спуске груза. Для ограничения подъема крюка выше допустимого предела служит конечный выключатель SQ, контакторы которого введены в цепь K3. В первом и втором положениях рукоятки командоконтроллера при работе двигателя на подъем главная цепь

двигателя шунтируется ступенью R4 резистора посредством замыкающего контакта KM7, что даёт возможность получить более глубокое регулирование скорости подъема, чем при простом реостатном

шунтировании. При подъёме груза ступени R6 и R7 резистора шунтируются контактором KM10.

Во втором положении рукоятки командоконтроллера включается контактор KM4, который шунтирует сопротивление R1 и замыкает цепь катушки реле ускорения KM11; его контакт подготавливает к включению цепь катушки контактора KM5. В третьем положении получает питание катушка контактора KM7, вследствие чего отключается ступень R4 резистора, шунтирующая главную цепь двигателя. При установке рукоятки в четвёртое положение последовательно включаются контакторы ускорения KM5 и KM6.

При быстром переводе рукоятки командоконтроллера в четвертое положение реле ускорения KM11 замкнёт свой контакт, когда двигатель

достигнет 60-70% своей номинальной частоты вращения. Катушки контакторов KM5 и KM6 получают питание только после того, как замкнётся контакт KM11. Также будет работать реле KM11 и при быстром переводе рукоятки командоконтроллера в четвёртое положение при спуске груза.

При спуске груза в первом положении командоконтроллера включаются контакторы KV8 и KM2. Блокировать катушку контактора KM2 замыкающим контактом KV8 необходимо чтобы предотвратить свободное падение груза, так как при отключенном контакте KV8 и включенном контакте KM2 двигатель не создаст тормозного момента, а тормозной электромагнит YA откроет тормоз.

При включенных контакторах KV8 и KM2 якорь двигателя и обмотка возбуждения будут включены параллельно, двигатель работает с более жесткой характеристикой, и поэтому скорость опускания груза ограничена. При втором положении командоконтроллера откроется контакт K9, катушки контактов ускорения KM5 и KM6 будут отключены, а в цепь якоря вводятся сопротивления ступеней R3 и R2 резистора. Увеличение сопротивления в цепи якоря приводит к уменьшению частоты вращения в двигательном режиме и к возрастанию её в генераторном режиме. В третьем положении откроется контакт K12, отключится катушка контактора KM10, в цепь возбуждения будет введено сопротивление ступени R7, ток возбуждения машины уменьшится, частота вращения возрастёт.

При переводе командоконтроллера в четвёртое положение включаются контакторы ускорения KM4, KM5 и KM6, которые шунтируют ступени сопротивления R1, R2 и R3 цепи якоря. Контакт K7 откроется, катушка контактора KM9 отключится, а в цепь обмотки возбуждения будет введена ступень R6 резистора, которая снизит ток возбуждения.

Двигатель при спуске груза можно остановить, постепенно переводя командоконтроллер из четвертого положения в первое. В случае необходимости быстрой остановки при спуске груза командоконтроллер сразу переводят в нулевое положение, при этом отключаются катушки контактора KM2 и реле KT2

Якорь двигателя, его обмотка возбуждения и тормозной электромагнит отключаются от сети и замыкаются контактором KM8 на сопротивления R2, R3, R5 и R7; машина будет работать в режиме генераторного торможения с самовозбуждением. Через 0,4-0,6 с сработает реле KT1, катушка которого шунтируется контактом KM9, и включит контактор KM10, закорачивающий ступень резистора R7. После этого через 0,7-1 с реле KT2 откроет свой контакт в цепи контакторов KM7 и KM8. Якорь двигателя с обмоткой возбуждения теперь будет замкнут на ступень сопротивления R4, и торможение усилится. Двигатель в этом положении также работает в режиме генераторного торможения с самовозбуждением, но ещё прибавляется тормозное усилие тормоза, так как его катушка отключена.

В схеме предусмотрены блокировки, а именно: контакторы KM1 и KM8 имеют механическую блокировку, исключающую их одновременное включение; контакторы KM9 и KM3 сблокированы так, что при переходе из третьего положения при спуске в четвертое положение сначала открывается KM9 а затем KM3.

Сопротивления R1 и R6 больше всех остальных сопротивлений, и неправильная блокировка контакторов приведет к значительным броскам тока.

Магнитные контроллеры постоянного тока типов П и ПС рассчитаны только на электродвигатели и тормозные электромагниты последовательного возбуждения.

Контрольные вопросы

1. Какие виды командоконтроллеров вы знаете ?
2. Чем кулачковый командоконтроллер отличается от электромагнитного?
3. Для чего используются конечные выключатели?
4. Какие защиты используются в схемах?.
5. Как работает гидротолкатель?

6. *Как осуществляется реверс в двигателях постоянного и переменного тока?*
7. *Как на схемах работает нулевая защита?*
8. *Поясните работу реле времени.*
9. *Какие блокировки используются в схемах?*

Тема 2.1 Элементы схем силовых цепей управления системы ТП-Д

План

1. Основные элементы схем силовых цепей
2. Схемы управляемых выпрямителей
3. Реверсивные преобразователи
4. Способы включения реверсивных выпрямителей
5. Режимы работы тиристорных схем

1. Основные элементы схем силовых цепей

В связи с бурным внедрением в промышленность сложных систем электроприводов, требующих регулирования скорости электродвигателей, частых пусков, реверсов, ускорений по заданным условиям, поддержания постоянства скорости и т.п., возникает трудность в создании устройств, обеспечивающих выполнение таких требований.

Широко применяются тиристорные ЭП постоянного и переменного тока, в котором в качестве индивидуальных источников питания используются тиристорные преобразователи.

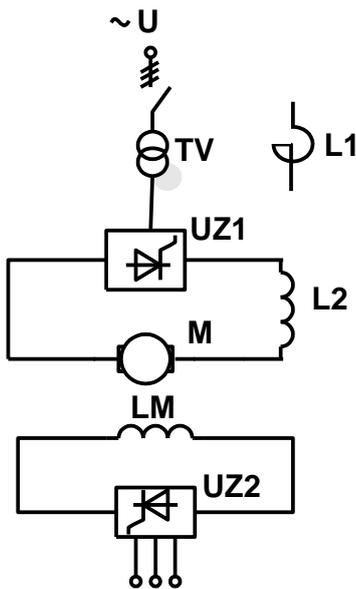
В силовую схему системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» (ТП-Д) входят следующие основные элементы (рисунки 1):

- преобразовательный трансформатор TV, предназначенный для согласования напряжения питающей сети и нагрузки;

- токоограничивающий реактор L1, ограничивающий скорость нарастания тока к.з. в цепи переменного тока;

- управляемый выпрямитель UZ6 предназначенный для выпрямления переменного напряжения и регулирования его величины;

- сглаживающий дроссель L2, уменьшающий пульсации выпрямленного тока; ограничивающий область прерывистых токов; уменьшает скорость нарастания токов к.з. в цепи



Рисунки 1

постоянного тока;

- коммутационная и защитная аппаратура.

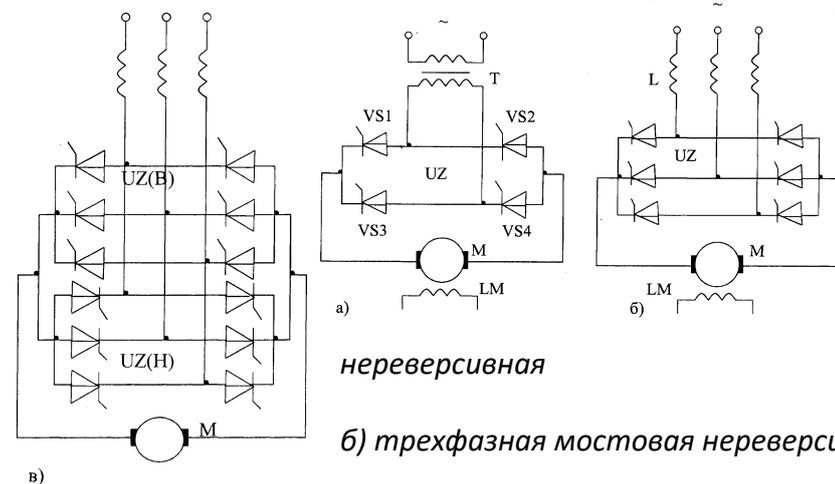
- двигатель постоянного тока M, преобразует электрическую энергию в механическую.

Основной системой регулируемого электропривода с двигателями постоянного тока является система ТП-Д (тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока), наиболее

распространенные схемы которой приведены на рис. 6.10.

О

Рис. 2. Силовые схемы электроприводов ТП-Д



а) однофазная мостовая нереверсивная

б) трехфазная мостовая нереверсивная схема

в) трехфазная мостовая встречно-параллельная реверсивная схема с отдельным управлением

Основу схем тиристорных преобразователей составляют полууправляемые силовые полупроводниковые приборы – тиристоры. Неполная управляемость тиристоров определяется тем, что включение тиристора контролируется системой управления (СИФУ) – при подаче отпирающего импульса на управляющий электрод тиристора последний открывается и остается открытым после снятия отпирающего импульса. Закрывается тиристор после изменения полярности напряжения анод-катод и спада тока до нуля.

Тиристорный преобразователь в схемах электропривода постоянного тока выполняет две функции: выпрямление переменного напряжения питающей сети и регулирование средней величины выпрямленного напряжения.

Принцип регулирования величины среднего значения выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя с импульсно-фазовым управлением рассмотрим на примере однофазной мостовой схемы (рис.6.10а).

Если отпирающие импульсы на тиристоры VS1 и VS4 (и соответственно тиристоры VS3 и VS2 при другой полуволне синусоиды питающего напряжения) подаются в момент естественного открывания, когда напряжение катод-анод становится положительным, то среднее выпрямленное напряжение, определяемое заштрихованной площадью на рис.6.11а), будет максимальным и равным:

$$E_{d0} = k_{cx} U_l, \quad (6.12)$$

где U_l – линейное напряжение на стороне переменного тока;

k_{cx} – коэффициент схемы выпрямления, который равен: для однофазной мостовой схемы – 0,9; для трехфазной мостовой схемы – 1,35; для трехфазной нулевой схемы – 0,675.

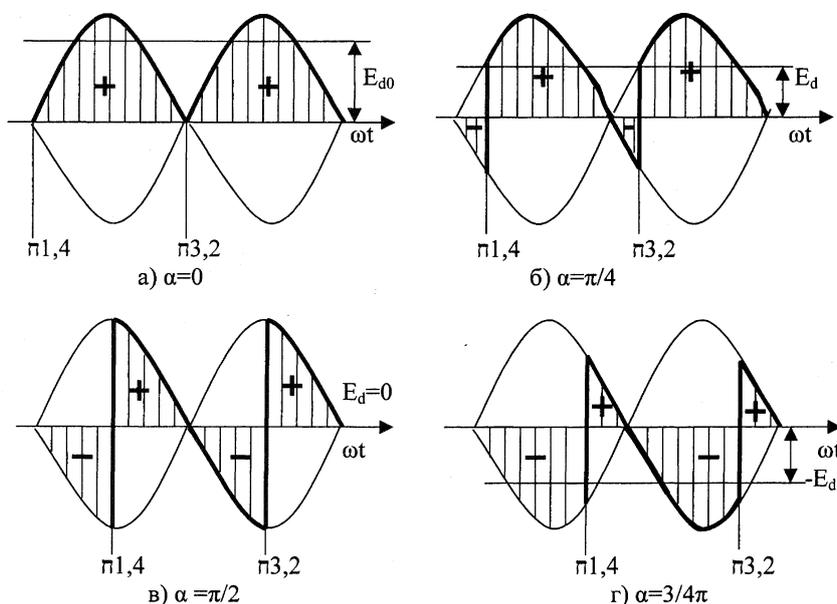


Рис.6.11. Эпюры напряжений однофазного мостового тиристорного преобразователя при различных углах управления α

Если отпирающие импульсы на тиристоры будут подаваться с запаздыванием относительно момента естественного открывания на угол α (угол управления тиристорами), то среднее выпрямленное напряжение преобразователя будет уменьшаться, как это показано на рис.6.11б. При этом тиристоры VS1 и VS2 будут проводить ток до тех пор, пока не откроются тиристоры VS3 и VS4, т.е. и в то время, когда напряжение катод-анод будет отрицательным. Это объясняется тем, что в цепи выпрямленного тока имеется достаточно большая

индуктивность обмотки якоря двигателя L_α , и ток будет протекать под действием э.д.с. самоиндукции. Если же в цепи выпрямленного тока не было бы индуктивности (чисто активная нагрузка), то ток прекратился бы при переходе анодного напряжения через нуль; ток в этом случае был бы прерывистым. При большом значении индуктивности L_α соотношение между средним выпрямленным напряжением преобразователя и углом α будет:

$$E_d = E_{d0} \cos \alpha$$

Среднее выпрямленное напряжение определяется разностью заштрихованных площадей. При значении угла регулирования $\alpha = \pi/2$ среднее выпрямленное напряжение (см.рис.6.11в) будет равно нулю.

Тиристорный преобразователь может работать в выпрямительном и в инверторном режимах. Выпрямительный режим имеет место при углах регулирования $\alpha = 0 \div \pi/2$. При этом среднее выпрямленное напряжение должно быть больше эдс в цепи выпрямленного тока (противоэдс якоря двигателя) $E_d > E_\alpha$. Направление выпрямленного тока совпадает со знаком выпрямленного напря

жения преобразователя. Если угол α увеличить сверх $\pi/2$ ($\alpha = \pi/2 \div 11/12\pi$), то площадь отрицательной полуволны, при которой открыты тиристоры, будет больше площади положительной полуволны (см.рис.6.11г) и, следовательно, среднее выпрямленное напряжение преобразователя будет отрицательным, что следует также из формулы (6.13).

Под действием отрицательного напряжения преобразователя ток пойти не может из-за односторонней проводимости тиристоров. Поэтому инверторный режим преобразователя возможен при соблюдении трех условий:

1. В цепи выпрямленного тока должен быть источник э.д.с., величина которой превосходит среднее значение выпрямленной противоэдс инвертора; в схемах тиристорного привода постоянного тока – э.д.с. якоря двигателя должна быть больше E_d инвертора $E_\alpha > |E_d|$.
2. Источник эдс (якорь двигателя) должен быть так подключен к преобразователю, чтобы было возможно протекание тока под действием э.д.с. якоря.
3. Угол управления тиристорами должен быть больше $\pi/2$ ($\alpha > \pi/2$).

При соблюдении этих условий двигатель постоянного тока будет работать в генераторном режиме, вырабатывая энергию постоянного тока, которая преобразуется тиристорным преобразователем в энергию переменного тока и отдается в питающую сеть. Инверторный режим преобразователей используется в приводах для осуществления рекуперативного торможения двигателей. Схемы тиристорного привода, позволяющие осуществлять этот режим, рассмотрены в следующем параграфе.

Как источник напряжения постоянного тока тиристорный преобразователь характеризуется э.д.с. E_d , регулируемой посредством угла управления α , и внутренним сопротивлением R_n , состоящим из двух слагаемых.

$$R_n = R_a + R_\gamma \quad (6.14)$$

R_a – активное сопротивление источника питания на стороне переменного тока (сетевого реактора или трансформатора);

R_γ – условное сопротивление, связанное с падением напряжения в процессе коммутации тиристоров.

Преобразователи подсоединяются к питающей сети или через трансформатор, служащий для согласования напряжения питающей сети и двигателя, или через сетевой реактор.

Сетевые реакторы в бестрансформаторных схемах питания выполняют две функции: ограничивают ток короткого замыкания в преобразователе и уменьшают негативное влияние преобразователя на питающую сеть. И трансформаторы, и реакторы обладают активным и индуктивным сопротивлением.

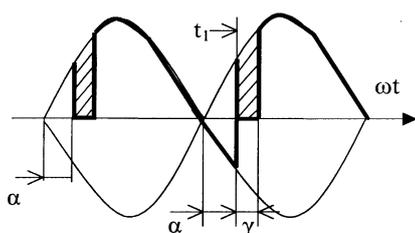
Активное сопротивление фазы трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке, может

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз}}{3I_{2ф}^2},$$

быть определено по паспортным данным трансформатора

где: $I_{2ф}$ – номинальный фазный ток вторичной обмотки трансформатора;

$\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания трансформатора.



П

Рис.6.12. Коммутация тока между тиристорами в однофазном мостовом преобразователе

процесс коммутации тиристоров поясняется рис.6.12. Вернемся к рассмотрению схемы рис.6.10а. Пусть преобразователь работает с уг-лома. До момента t_1 ток проводят тиристоры VS1 и VS4. В момент времени t_1 подаются отпирающие импульсы на тиристоры VS3 и VS2. Последние отпираются. Однако из-за наличия индуктивности на стороне сети ток через тиристоры VS1 и VS4 не может мгновенно упасть до нуля, и некоторое время, измеряемое углом коммутации γ , одновременно будут открыты все четыре вентиля, которые шунтируют цепь нагрузки. В результате среднее выпрямленное напряжение снижается на величину, пропорциональную заштрихованной площади. Это падение напряжения зависит от величины выпрямленного тока I_d и будет равно:

$$\Delta U_\gamma = \frac{m}{2\pi} X_a I_d.$$

Условно величину $\frac{m}{2\pi} X_a$ можно принять за некоторое сопротивление R_γ , вызывающее падение напряжения в преобразователе

$$R_\gamma = \frac{m}{2\pi} X_a, \quad (6.15)$$

где: m – число коммутаций за период;

X_a – индуктивное сопротивление на стороне переменного тока;

$$X_a \approx \frac{U_{2\phi} e_k}{100 I_{2\phi}},$$

здесь $U_{2\phi}$ – фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора;

e_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Следует иметь в виду, что падение напряжения на сопротивлении R_γ не связано с потерями мощности в нем, поскольку оно вызвано индуктивным сопротивлением на стороне переменного тока; оно ухудшает коэффициент мощности преобразователя.

2. Схемы управляемых выпрямителей

Все схемы выпрямителей делятся на **нулевые** (однотактные) и **мостовые** (двухтактные). Вентили объединяются катодами, образуя катодную группу, или анодами, образуя анодную группу.

В **нулевой** схеме нагрузка подключается к нулевой точке трансформатора, что и обусловило название схемы.

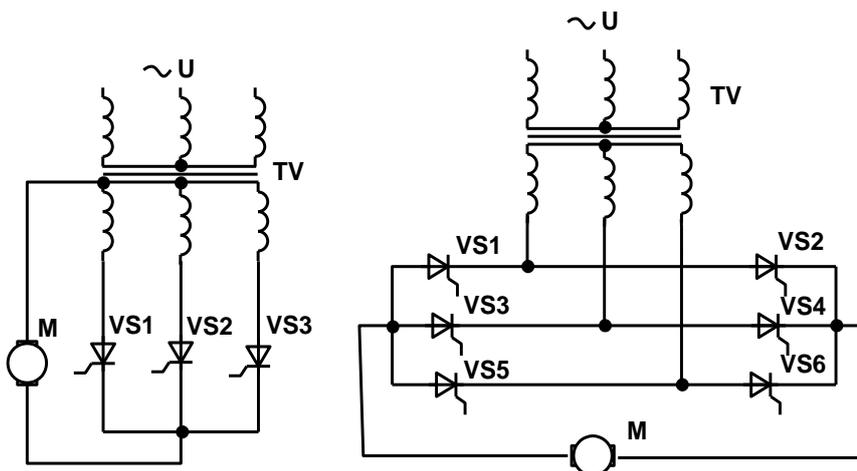


Рисунок 2 – а) нульова; б) мостова схеми випрямління

Мостовая схема эквивалентна последовательному включению двух нулевых схем, из которых одна является катодной, а вторая анодной. Нагрузка включается между общими точками катодной и анодной групп, а источник питания в диагональ моста, образованного вентилями. Вопрос выбора типа схемы выпрямления необходимо увязывать типом нагрузки. Однофазные выпрямители целесообразно применять для нагрузок, к которым не предъявляются требования относительно точности регулирования или величины пульсаций. Для низковольтных выпрямителей, где обратное напряжение на вентиле мало, удобнее применять однофазные схемы выпрямления. Обычная область применения этих схем - это установки малой и средней мощности до 5кВт.

Многофазные схемы выпрямления обладают рядом преимуществ по сравнению с однофазными: меньшая величина пульсаций, лучшее использование трансформаторов и вентиляей, симметричная нагрузка фаз питающей сети. Вследствие сказанного, эти схемы нашли наиболее широкое применение в

электроприводах средней и большой мощности, требующих широкого диапазона регулирования скорости, точного поддержания заданного режима работы.

В тиристорном электроприводе наибольшее распространение нашли мостовые схемы выпрямления. Применение этих схем обусловлено оптимальным соотношением между значениями обратного и прямого напряжения на вентилях и питающим напряжением. Кроме того, питающие трансформаторы мостовых схем имеют высокое использование и практически мало отличаются от обычных сетевых трансформаторов.

Нулевые схемы в тиристорных преобразователях нашли ограниченное применение. Трехфазная нулевая схема используется в электроприводах небольшой мощности с напряжением 115 и 230 В.

Трехфазные мостовые схемы нашли применение в реверсивных выпрямителях на различную нагрузку.

Уравнение механической характеристики ЭП системы ТП-Д имеет вид:

$$\omega = (U_{d0} \cos \alpha / k\Phi_{\partial}) - MR_{я} / k_2 \Phi_{\partial 2} .$$

Изменяя угол регулирования α , можно получить семейство механических характеристик.

3. Реверсивные преобразователи в системе ТП-Д

Односторонняя проводимость тиристоров затрудняет создание реверсивных преобразователей.

Реверсирование двигателя в системе ТП—Д может быть осуществлено тремя способами (рисунок 3)

- с помощью контактного реверсора КМ1, КМ2 в цепи якоря, (рисунок 3,а) однако наличие мощных контакторов сводит на нет основные достоинства тиристорного электропривода;

- с помощью двух групп вентилях в цепи обмотки возбуждения (рисунок 3,б), хотя преобразователь в данном случае будет маломощный, дешевый, однако схема имеет существенный недостаток, который заключается в большой продолжительности реверса—порядка 0,5—2,5 с, что обусловлено относительно большой постоянной времени обмотки возбуждения двигателя;

Для приводов, где требуется максимальное быстрое действие

- с помощью двух групп вентилях в цепи якоря (рисунок 3,в) Для приводов, где требуется максимальное быстрое действие реверсе и тормозной режим (привод реверсивных прокатных станков, электродов дуговых печей и т. п.) применяют реверсивные преобразователи в цепи якоря двигателя. Несмотря на то, что этот способ требует установки сравнительно дорогого двухкомплектного преобразователя, тем не менее он нашел широкое применение благодаря тому, что обеспечивает наиболее полное использование достоинств тиристорного электропривода (быстрое действие, возможность рекуперативного торможения с отдачей энергии в сеть, отсутствие контактов в силовой цепи и т. п.).

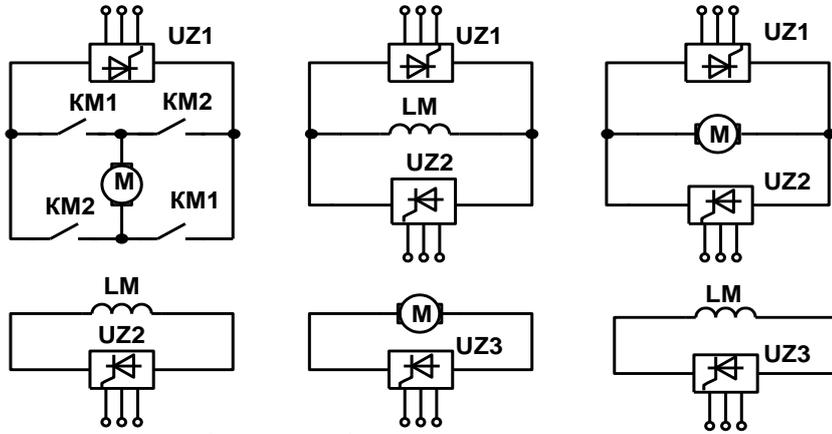


Рисунок 3 – Схемы реверса

4 Способы включения реверсивных выпрямителей

В состав реверсивного преобразователя входят обычно два объединенных электрически комплекта нереверсивных преобразователей. Один комплект вентилей $UZ1$ используется при работе привода в направлении Вперед, а второй $UZ2$ — при работе в направлении Назад. Существуют два основных способа включения реверсивных выпрямителей: **встречно-параллельное** и **перекрестное**. Наибольшее применение нашла встречно-параллельная схема (см. рис. 4), достоинства которой является использование простейшего трансформатора сравнительно малой типовой мощности, возможность питания от трехфазной сети без трансформатора, возможность унификации конструкции реверсивного и нереверсивного преобразователей. Недостаток ее — возможность возникновения тяжелых аварийных режимов при самопроизвольном отпирании или пробое одного из вентилей.

5 Режимы работы тиристорных схем

Тиристорные схемы могут работать в **выпрямительном** или **инверторном** режиме.

При работе двигателя в генераторном режиме, например при спуске груза, реверсивный тиристорный преобразователь можно перевести в **инверторный** режим. В этом режиме постоянный ток электрической машины преобразуется преобразователем в ток переменный, и энергия переменного тока отдается в сеть. Прохождение тока через тиристоры (от анода к катоду) обеспечивается благодаря тому, что положительный полюс якоря электрической

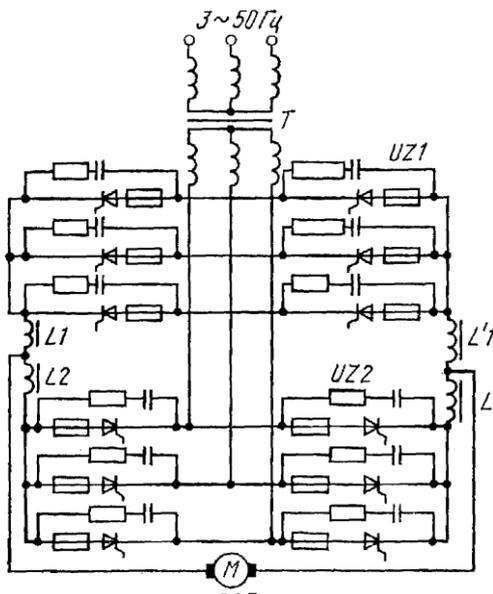


Рисунок 4 - Встречно-параллельная схема включения выпрямителей

машины соединен с анодом тиристоров инверторной группы. Последние отпираются в момент приложения к ним отрицательной полуволны вторичного напряжения трансформатора. В период, когда э. д. с. двигателя будет

превышать фазное напряжение трансформатора, через обмотки последнего пройдет встречный ток (от преобразователя в сеть). Таким образом, будет передаваться в сеть энергия от электропривода.

В инверторном режиме тиристоры отпираются при угле регулирования $\alpha > 90^\circ$, который в этом случае называется углом опережения. Переход из выпрямительного режима в инверторный осуществляется при токе $I = 0$. Сопряжение углов α и β , определяющих положение механических характеристик, производится, исходя из равенства средних значений напряжения на выпрямителе и инверторе в режиме, близком к холостому ходу. При этом обеспечивается плавный переход от выпрямительного режима к инверторному.

В схемах реверсивного тиристорного электропривода применяют два основных способа управления преобразователями: **совместное и раздельное**.

При **совместном** управлении один преобразователь работает в выпрямительном режиме, а другой подготовлен к инвертор-ному режиму.

Раздельное управление заключается в том, что управляющие импульсы подаются только на ту группу вентилей, которая в данный момент должна вступить в работу. С неработающей группы импульсы сняты (заблокированы). Снятие (блокирование) управляющих импульсов производится логическим переключателем устройством, которое определяет момент равенства нулю тока преобразователя, блокирует импульсы ранее работающей группы и после некоторой паузы (10—15 мкс), необходимой для компенсации зоны нечувствительности датчика нулевого тока, разрешает подачу импульсов на вентили другой группы. При раздельном управлении уменьшается вероятность опрокидывания инвертора, повышается к. п. д. привода вследствие исключения уравнивающих токов.

Развитие микроэлектроники привело к созданию быстродействующих систем раздельного управления. Разработка адаптивных систем, а также использование внутренних контуров обратной связи по напряжению позволили получить примерно одинаковые динамические качества как при раздельном, так и при совместном управлении вентильными группами.

В настоящее время во всем мире основным стал способ раздельного управления, совместное управление с регуляторами уравнивающего тока применяется только для специальных приводов (например, при работе в области малых токов при частых изменениях направления тока). При раздельном управлении импульсы системы фазового управления с помощью логического переключателя устройства (ЛПУ) подаются на одну вентильную группу, через которую должен проходить ток нагрузки. Переключение групп производится в момент отсутствия тока, что фиксируется с помощью датчика нулевого тока или датчиков запертого состояния тиристоров.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы силовой цепи и их назначение.
2. Когда тиристорный преобразователь подключается через трансформатор, а когда через реактор?
3. Дайте сравнительную характеристику схем выпрямления.
4. Какие достоинства и недостатки Системы ТП-Д?

5. Как осуществляется реверс в системе ТП-Д?
6. Дайте сравнительную характеристику способов реверса.
7. Какой метод реверса вы выберете для привода , работающего в повторно-кратковременном режиме?
8. Какой метод реверса вы выберете для привода , работающего в длительном режиме?
9. Сравните способы включения реверсивных выпрямителей.
10. Назовите режимы работы системы ТП-Д.
11. Как перейти в инверторный режим работы?
12. Для чего используется инверторный режим ТП-Д?

Системы управления тиристорами

План

1. Система управления преобразовательными устройствами, работающими в выпрямительном режиме

2. Входные устройства

3. Узел сравнения

4. Фазосдвигающие устройства.

5. Выходные узлы каналов управления.

6. Датчики контролируемых параметров

1. Система управления преобразовательными устройствами, работающими в выпрямительном режиме

В большинстве систем управления при открывании тиристорov нужный момент времени широко используется вертикально – фазового управления, сущность которого заключается в сравнении переменного напряжения (синусоидальной, треугольной, пилообразной и других форм) с напряжением, поступающим от устройств автоматического регулирования. Основными узлами являются генератор пилообразного напряжения ГПН, синхронизируемый синусоидальным напряжением $U_{вх}$, нуль – орган (компаратор) и формирователь импульсов ФИ. В этой схеме формирование выходного импульса $U_{вых}$ в момент равенства пилообразного напряжения генератора U_g и напряжения автоматического регулятора U_p . Данный принцип может быть реализован и непосредственно сравнением входного синусоидального напряжения с напряжением регулятора, но при этом сужается диапазон фазового сдвига и, кроме того, появляется нелинейная зависимость этого сдвига от напряжения регулятора.

В самом общем виде структуры систем управления СУ выпрямителей, зависимых инверторов и других видов вентильных преобразователей можно разделить на две группы: многоканальные и одноканальные.

В многоканальных структурах СУ регулирование фазы отпирающих импульсов (т. е. угла управления) производится в каждом канале управления. Число таких каналов обычно равно числу управляемых вентилей схемы или числу ее фаз. В одноканальных структурах СУ регулирование фазы отпирающих импульсов производится в одном (общем для всех фаз) в канале с последующим распределением импульсам по вентилям схемы.

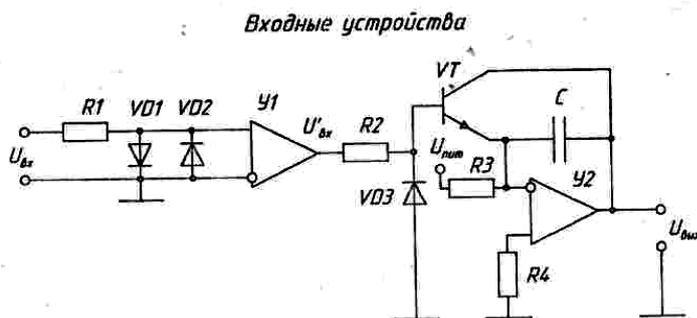
Подобную классификацию СУ целесообразно проводить для многофазных преобразователей, содержащих большое количество вентилей. В том же режиме основной принцип этой классификации справедлив и для однофазных схем.

2. Входные устройства

Основным назначением входных устройств (ВУ) является формирование напряжений, синхронизированных с переменным напряжением силовой цепи. Простейшим, наиболее распространенным входным устройством является трансформатор. На рис. 20 изображена наиболее распространенная схема для управления трехфазным мостовым выпрямителем. Со вторичных обмоток снимается шестифазная система напряжений, поступающая на вход

соответствующего канала управления. Существенным недостатком такого устройства является чувствительность параметров напряжений вторичных обмоток к амплитудным и фазовым искажениям питающей сети, а также различного рода помехам, возникающим в ней при эксплуатации. Более совершенными следует считать синхронизированные с сетевым напряжением в различные типы генераторов. Во многих системах управления используются генераторы с переменным по времени выходным напряжением. Наиболее распространенной формой такого напряжения является пилообразная. В качестве примера рассмотрим схему входного устройства, выполненную на ОУ (рис. 21).

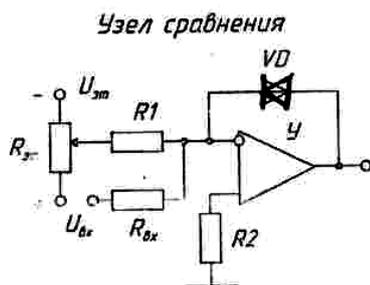
Представленное входное устройство состоит из двух функциональных узлов: входного нелинейного усилителя (на основе операционного усилителя У1) и



генератора пилообразного напряжения, выполненного на ОУ У2. Входной усилитель преобразует входное напряжение синусоидальной формы $U_{вх}$, которое через резистор $R2$ поступает на базу транзистора T . Транзистор работает в ключевом режиме, переключаясь с частотой входного напряжения. Когда транзистор закрыт, происходит заряд конденсатора C от другого источника постоянного тока, напряжение которого - $U_{пит}$ через резистор $R3$ поступает на вход $U2$. Так как $U2$ включен по схеме интегратора, то его выходные напряжение будет линейно возрастать. Когда напряжение с усилителя $U1$ откроет транзистор T , происходит разряд конденсатора и прекращение процесса интегрирования. В результате на выходе генератора формируется напряжение пилообразной формы, синхронизированное с сетевым.

3. Узел сравнения

Предназначен для сравнения напряжения входного устройства с эталонным, регулируемым в зависимости от желаемого угла выдачи управляющего импульса.



Одна из схем узла сравнения представлена на рис.22.

Эталонное напряжение, снимаемое с резистора $R_{эт}$ через резистор $R1$ подается на инверсный вход операционного усилителя $U1$. Входное напряжение $U_{вх}$

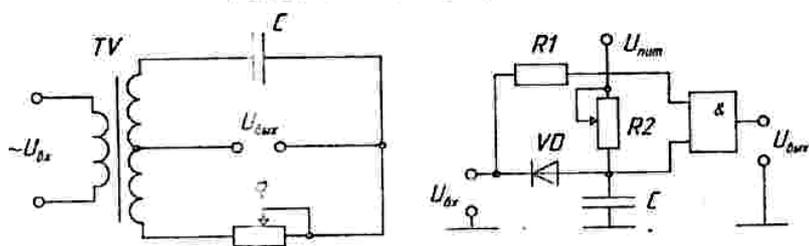
через резистор $R_{вх}$ подается на этот же вход ОУ. При малой величине $U_{вх}$ под действием эталонного напряжения на выходе ОУ установился бы плюс питающего ОУ напряжения. Однако за счет диода $D1$ шунтирующего ОУ, напряжение на выходе последнего равно нулю. Когда напряжение, снимаемое с движка переменного резистора, операционный усилитель (работающий компаратором) поменяет полярность выходного напряжения. На выходе появится минус. В качестве входного напряжения узла сравнения наиболее часто применяется пилообразное напряжение, синхронизированное с напряжением силовой цепи.

4. Фазосдвигающие устройства.

Фазосдвигающие устройства широко используются в системах управления инверторов для регулирования фазы отпирающих импульсов.

схема выполнена на основе RC-цепи. Входное напряжение $U_{вх}$ подается на первичную обмотку трансформатора. За счет наличия нагрузки вторичной обмотки в виде RC выходное напряжение сдвинуто по фазе относительно

Фазосдвигающие устройства



выходного на угол α .

Другим примером фазосдвигающим устройством может служить схема, выполненная на логическом элементе И. В этой схеме на вход подаются два сигнала. Один является подлежащий сдвигу $U_{вх}$, другим – напряжение конденсатора C . Приход первого сигнала запускает цепь заряда конденсатора. При достижении на конденсаторе напряжения, превышающего порог срабатывания элемента, он переходит в другое состояние. На его выходе формируется сигнал, сдвинутый по фазе относительно входного.

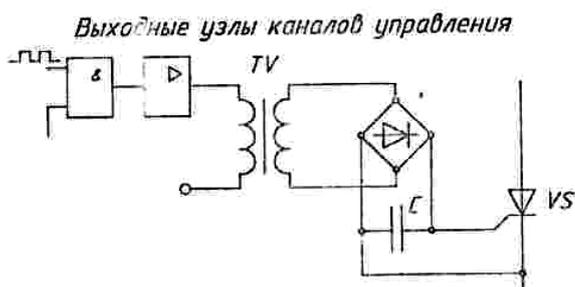
5. Выходные узлы каналов управления.

Для обеспечения требований к управляющим импульсам после формирования их необходимо усилить. Во многих системах управления операции формирования импульсов, их усиления и гальванической развязки осуществляются одним узлом, который называется формирователем импульсов. При небольшой ширине импульсов для этой цели применяются импульсные усилители с трансформаторным выходом. При необходимости формировать импульсы большой длительности и в целях уменьшения параметров трансформатора используют принцип представления импульса в виде выпрямленного напряжения высокой частоты. Рассмотрим работу схемы (рис. 25).

На один из входов элемента И. Поступают импульсы от высокочастотного генератора ВЧГ (20 –100 кГц), на другой – управляющий сигнал. Серия импульсов после усилителя поступает на разделительный трансформатор. Со вторичной

обмотки напряжения выпрямляется, фильтруется конденсатор C и подается на тиристор.

Наиболее перспективным выходным устройством, осуществляющим гальваническую развязку, следует назвать оптронные устройства, о которых



говорилось выше.

6 Датчики контролируемых параметров

Контролируемыми параметрами в преобразовательных устройствах являются ток и напряжение, а выходной величиной – напряжение. Самыми простыми датчиками являются: в качестве датчика напряжения – делитель напряжения; подключенные непосредственно к шинам контролируемого напряжения; датчиком тока – калиброванный шунт, включенный в силовую цепь. Приведенные датчики обладают общим существенным недостатком: имеют гальваническую связь с силовой схемой. Указанный недостаток устраняет применением в датчиках трансформаторов и различных преобразующих устройств на постоянном токе. В качестве датчиков тока и напряжения в цепях переменного тока используются устройства, состоящие из трансформатора, выпрямителя и выходного фильтра. В качестве датчика постоянного тока, имеющего гальваническую развязку, применяются устройства с преобразования (модуляцией) напряжения, снимаемого с шунта в переменное, усилением и демодуляцией.

Для улучшения технических характеристик преобразователей в системах управления применяют датчики состояния тиристоров ДСТ. Работа их заключается в изменении напряжения на тиристоре. В открытом состоянии напряжение на тиристоре близко к нулю, в закрытом – велико.

Контрольные вопросы

- 1. Какую функцию выполняет СИФУ?*
- 2. Для чего предназначены входные устройства?*
- 3. Опишите работу схемы узла сравнения.*
- 4. Для чего используется фазосдвигающее устройство?*
- 5. Какие элементы используются в качестве датчика тока?*
- 6. Какие элементы используются в качестве датчика напряжения?*
- 7. Какие элементы используются в качестве датчика скорости?*

Литература

1. В. В. Москаленко, *Электрический привод*. – Москва, Высшая школа, 1991г, с.430
2. В. В. Москаленко, *Справочник электромонтера*. – Москва, Вища школа, 1991р.- 288с.
3. Н. С. Ушаков *Мостовые электрические краны*. – Ленинград, «Машиностроение», 1988г, с.252
4. Б. М. Рапутов, *Электрооборудование кранов*. –Москва, “Металлургия”- 1990р.. – 272с.
5. М. М. Фотиев, *Электропривод и электрооборудование металлургических цехов*. _М.: “Металлургия”, 1990 –349с.