

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора учебно-воспитательной части

Дата подписания: 13.12.2024 08:16:52

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского»
Политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению лабораторно-практических работ междисциплинарного
курса
«Электрический привод»

для специальности:

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПУСКА, ТОРМОЖЕНИЯ И РЕВЕРСИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Цель работы: изучение автоматических схем управления пуска, торможения и реверсирования электродвигателями различных машин и механизмов.

Основные положения

Управление электроприводом включает в себя следующие операции: пуск, торможение, остановку, реверсирование, регулировка или поддержание неизменными (стабилизация) частоты вращения, момента, мощности либо других параметров электропривода. Автоматизация этих операций дает возможность вести производственный процесс с наибольшей производительностью, позволяет значительно снизить расход электроэнергии и себестоимость продукции, повысить надежность и эффективность работы оборудования, увеличить межремонтные сроки оборудования, благодаря улучшению его эксплуатации, улучшить условия и безопасность труда.

В зависимости от способа реализации операций управления электроприводы разделяются на два вида: **ручной и автоматизированный**.

В ручном электроприводе все операции управления выполняются оператором посредством аппаратов и приборов ручного управления: рубильников, переключателей, кнопок, контроллеров, пусковых и регулировочных реостатов и т.п.

В автоматизированном электроприводе участие оператора сводится к надзору за электроприводом, на случай возникновения в нем аварийных ситуаций. Управление электроприводом выполняется автоматически, без участия человека.

Автоматизированные системы электропривода подразделяются на **разомкнутые и замкнутые**.

В разомкнутой автоматизированной системе управления элементы электропривода составляют прямую цепь воздействий, по которой осуществляется управление электроприводом в соответствии с поступившим на вход этой цепи управляющим сигналом U_y (рис. 5.1). Работа электродвигателя M и других устройств электропривода происходит исключительно в соответствии с этим сигналом. Никакая другая информация о

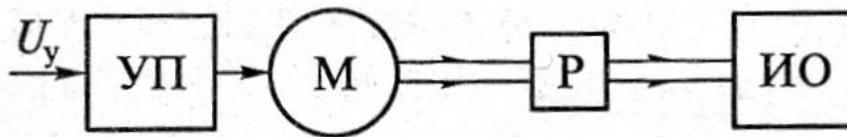


Рис. 5.1 Блок-схема разомкнутой системы
автоматизированного электропривода

фактических значениях параметров в разомкнутую систему не поступает, а следовательно, и нет корректировки работы системы. Например, управляющим сигналом предусмотрено поддержание номинальной частоты вращения вала электродвигателя. Однако из-за происшедшего по непредвиденным причинам падения напряжения в питающей сети частота вращения оказалась меньше номинальной. Вследствие этого фактическое положение исполнительного органа **ИО** не будет соответствовать положению, заданному управляющим сигналом. Отсутствие корректирующих мер может нарушить технологический процесс рабочей машины (механизма), управляемой данным электроприводом. Таким образом, разомкнутая система управления автоматизированным электроприводом не обеспечивает требуемого качества регулирования.

Разомкнутые схемы автоматизированного электропривода выполняются на релейно-контакторных элементах, применение которых в электроприводе пока является наиболее распространенным, хотя и не всегда обеспечивает требуемую надежность. Последнее зависит от качества изготовления релейно-контакторных устройств и правильного их выбора.

В замкнутой автоматизированной системе управления электропривода (рис. 5.2), помимо прямой цепи воздействий, по которой передается задающий сигнал U_3 , несущий информацию о предписанном значении параметров, имеются цепи обратной связи, по которым передается информация об истинном

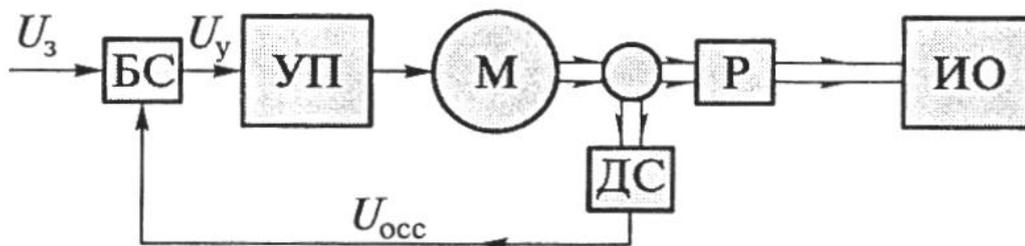


Рис. 5.2 Блок-схема замкнутой системы автоматизированного
электропривода

ном (фактическом) значении параметра, называемый сигналом обратной связи. Сигнал обратной связи получают посредством устройств, называемых датчиками обратной связи **ДОС**.

На рис. 5.2 представлена блок-схема замкнутой системы автоматического регулирования, в которой регулируемым параметром является частота вращения двигателя **М**, приводящего в движение исполнительный орган **ИО** рабочей машины через механическое передающее устройство (редуктор) **Р**. Истинное значение параметра, в данном случае частоты вращения двигателя, получают с объекта управления (двигателя) посредством датчика скорости **ДС** (тахогенератора) и преобразования этого параметра в электрический сигнал обратной связи по скорости $U_{\text{осс}}$. Этот сигнал, будучи поданным в блок сравнения **БС** вместе с сигналом, задающим частоту вращения U_z , корректирует последний. В результате этого на управляемый преобразователь **УП** поступает сигнал управления U_y , скорректированный сигналом обратной связи по скорости $U_{\text{осс}}$ в соответствии с истинным значением регулируемого параметра, в данном случае частоты вращения двигателя **М**.

Задачей замкнутой системы регулирования сводится к обеспечению наиболее точного соответствия истинного значения управляемого параметра (координаты) предписанному. Замкнутые системы электропривода разделяют на **системы стабилизации и следящие системы**.

Электроприводы системы стабилизации предназначены либо для обеспечения постоянства (неизменности) какого-либо параметра привода в условиях воздействия на регулируемый орган возмущающих факторов, либо для изменения этого параметра по заранее заданному закону. Чаще всего это относится к скорости (частоте вращения) или другим параметрам технологических процессов, зависящих от скорости. Обратная связь по скорости является эффективным средством повышения жесткости механических характеристик электропривода. Такие электроприводы применяют в металлообрабатывающих станках, прокатных станах и т.п.

Следящие автоматизированные электроприводы предназначены для воспроизведения движения регулируемого органа посредством силового исполнительного механизма, мощность которого должна быть достаточной для воспроизведения с требуемой скоростью. Такие приводы применяют в промышленных манипуляторах и роботах, механизмах подачи металлообрабатывающих станков и т.п.

1. Типовые схемы автоматизированного управления пуском, реверсом и торможением электроприводов переменного тока

Все операции, связанные с включением и отключением, торможением и реверсом электроприводов в рассматриваемых схемах, выполняются автоматически. Лишь только команды «Пуск» и «Стоп» в этих схемах выполняются оператором. Однако любая из этих схем, будучи включенной, в систему автоматического регулирования, становится полностью автоматизированной, так как все команды по управлению ею, включая «Стоп» и «Пуск», будут выполняться в такой системе

автоматически, в соответствии с управляющими электрическими сигналами.

Следует также иметь в виду, что эти схемы в рассматриваемом виде относятся к категории нерегулируемых, так как в них не предусматривается регулирование частоты вращения либо другого рабочего параметра электропривода.

Рассматриваемые схемы выполнены с применением буквенных кодов и условных обозначений на элементы (см. приложение).

1.1 Схема управления прямым пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором посредством нереверсивного пускателя

Рассматриваемая схема является самой распространенной в электроприводах с короткозамкнутыми асинхронными двигателями малой и средней мощности напряжением до 1 кВ, допускающих прямое их включение в сеть при отсутствии торможения и реверса.

При нажатии кнопки **SB1** «Пуск» замыкается цепь питания катушки контактора **KM1** (рис. 5.3), который срабатывает и своими силовыми контактами **KM1** подключает к сети обмотку статора двигателя **M**. Одновременно замыкаются дополнительные контакты (блок-контакты) **KM1**, шунтирующие кнопку **SB1** «Пуск», чем обеспечивается питание обмотки катушки контактора при отпуске этой кнопки.

При отпуске кнопки **SB1** ее контакты размыкаются, но цепь катушки контактора **KM1** останется замкнутой.

При нажатии на кнопку **SB2** ее контакты размыкаются и цепь катушки контактора **KM1** обесточивается и соответственно

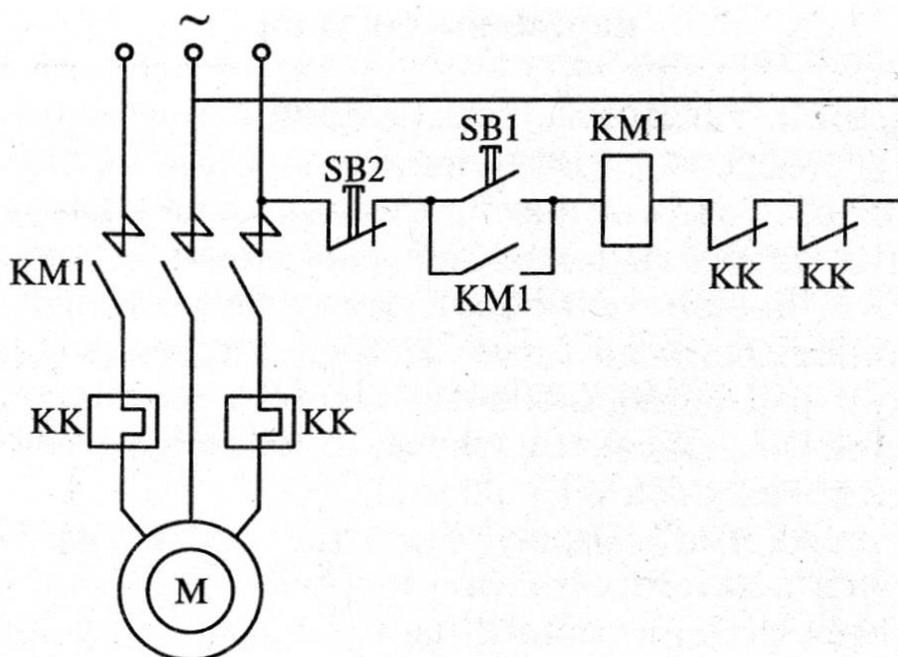


Рис. 5.3 Схема управления прямым пуском трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором посредством нереверсивного пускателя

размыкаются силовые контакты **КМ1**. Двигатель **М** отключается от сети.

Для защиты двигателя от перегрузки (согласно ПУЭ) применяется защита посредством двух тепловых реле **КК**. Если двигатель окажется перегруженным и потребляемый ток превысит допустимое значение, то выделяемая нагревательным элементом в тепловом реле **КК** теплота вызовет такой изгиб биметаллической пластины, при котором разомкнутся дополнительные контакты **КК** в цепи питания катушки контактора **КМ1** и двигатель отключится от сети.

1.2 Схема управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором путем переключения обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

Для трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, работающих при соединении обмотки статора «треугольником», в целях уменьшения пускового тока применяют пуск двигателя переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник» (рис. 5.4).

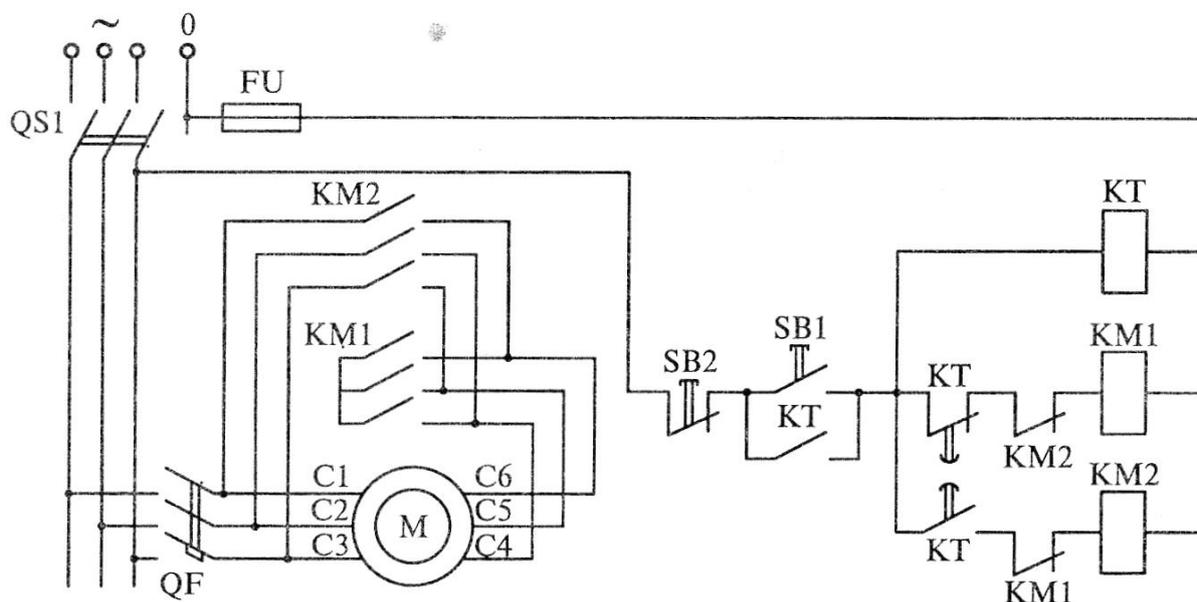


Рис. 5.4 Схема управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором путем переключения обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

Предварительно следует включить рубильник **QS1** и автоматический выключатель **QF**. Затем, нажатием кнопки **SB1** включают контактор **КМ1**, который своими силовыми контактами **КМ1** соединяет обмотку статора двигателя «звездой». При этом начинается разгон ротора

двигателя при пониженном напряжении на фазных обмотках статора. Одновременно включается реле времени **КТ**, которое своими контактами **КТ** шунтирует кнопку **SB1**. С замедлением на срабатывание размыкаются контакты **КТ** в цепи катушки **КМ1** и контактор **КМ1** отключается, размыкая соединение «звездой» обмотки статора. Одновременно замыкаются контакты **КТ** в цепи контактора **КМ2**, который срабатывает и своими силовыми контактами **КМ2** соединяет обмотку статора двигателя «треугольником». Двигатель продолжает разгон, но при номинальном напряжении на фазных отмотках статора.

1.3 Схема неперевсивного управления трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с применением динамического торможения в функции времени

При нажатии на кнопку **SB1** «Пуск» замыкается цепь питания катушки контактора **КМ1**, который срабатывает и своими силовыми контактами **КМ1** подключает двигатель **М** к трехфазной сети, а также подключает катушку реле динамического торможения **КТ** подключает к источнику постоянного тока (рис. 5.5).

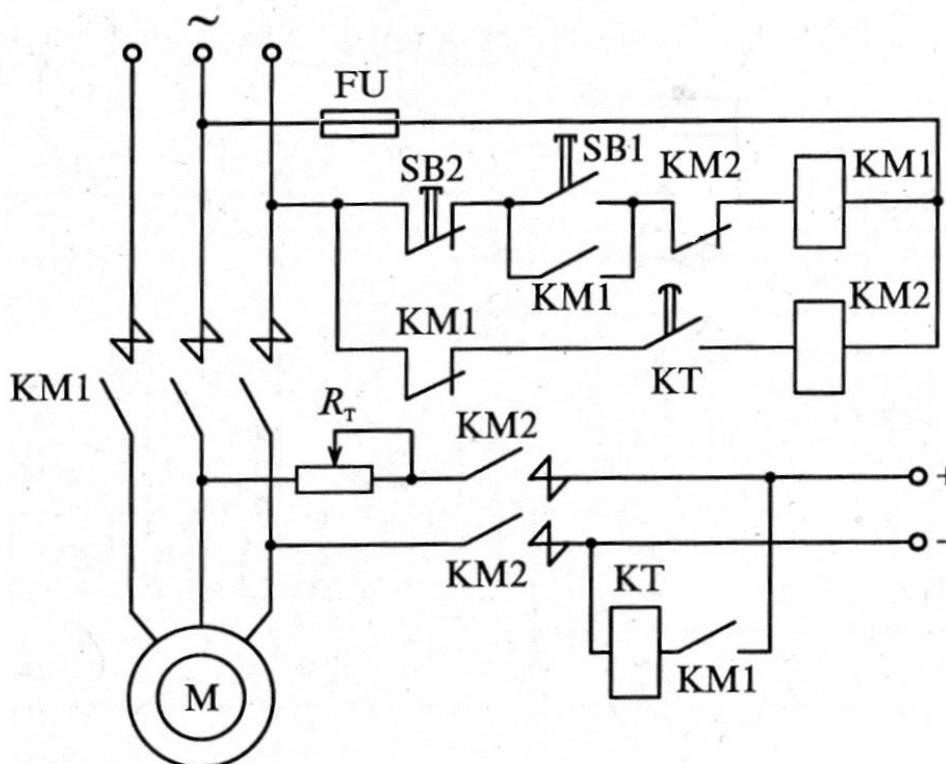


Рис. 5.5 Схема неперевсивного управления трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с применением динамического торможения в функции времени

При включении контактора **КМ1** размыкаются его дополнительные в цепи контактора торможения **КМ2** и замыкаются контакты **КМ1**,

шунтирующие кнопку **SB1** «Пуск». При срабатывании реле **КТ** замыкаются контакты **КТ** в цепи катушки контактора торможения **KM2**, но этот контактор не срабатывает, так как цепь его катушки остается разомкнутой контактами **KM1**.

Для остановки двигателя нажимают кнопку **SB2** «Стор». При этом прекращается питание катушки контактора **KM1** и двигатель отключается от сети. Одновременно замыкаются контакты **KM1** в цепи катушки контактора **KM2**, который срабатывает и своими силовыми контактами **KM2** подключает обмотку статора двигателя к источнику постоянного тока, что приводит к динамическому торможению двигателя. Одновременно размыкаются контакты **KM2** в цепи катушки контактора **KM1**, что исключает его случайное включение.

Резистор **R_t** предназначен для ограничения постоянного тока в обмотке статора двигателя при динамическом торможении. Однако протекание **постоянного тока** в обмотке статора непродолжительно, так как при отключении контактора **KM1** размыкаются его контакты в цепи питания катушки реле времени **КТ**, что ведет к размыканию с некоторой временной задержкой контактов **КТ** в цепи питания катушки контактора торможения **KM2**. В результате обмотка статора двигателя силовыми контактами **KM2** отключается от сети постоянного тока через некоторое время после отключения двигателя от трехфазной сети. Выдержка времени на размыкание дополнительных контактов реле времени **КТ** устанавливается опытным путем с учетом времени, необходимого на торможение двигателя.

1.4 Схема реверсивного управления трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с применением торможения противовключением в функции скорости

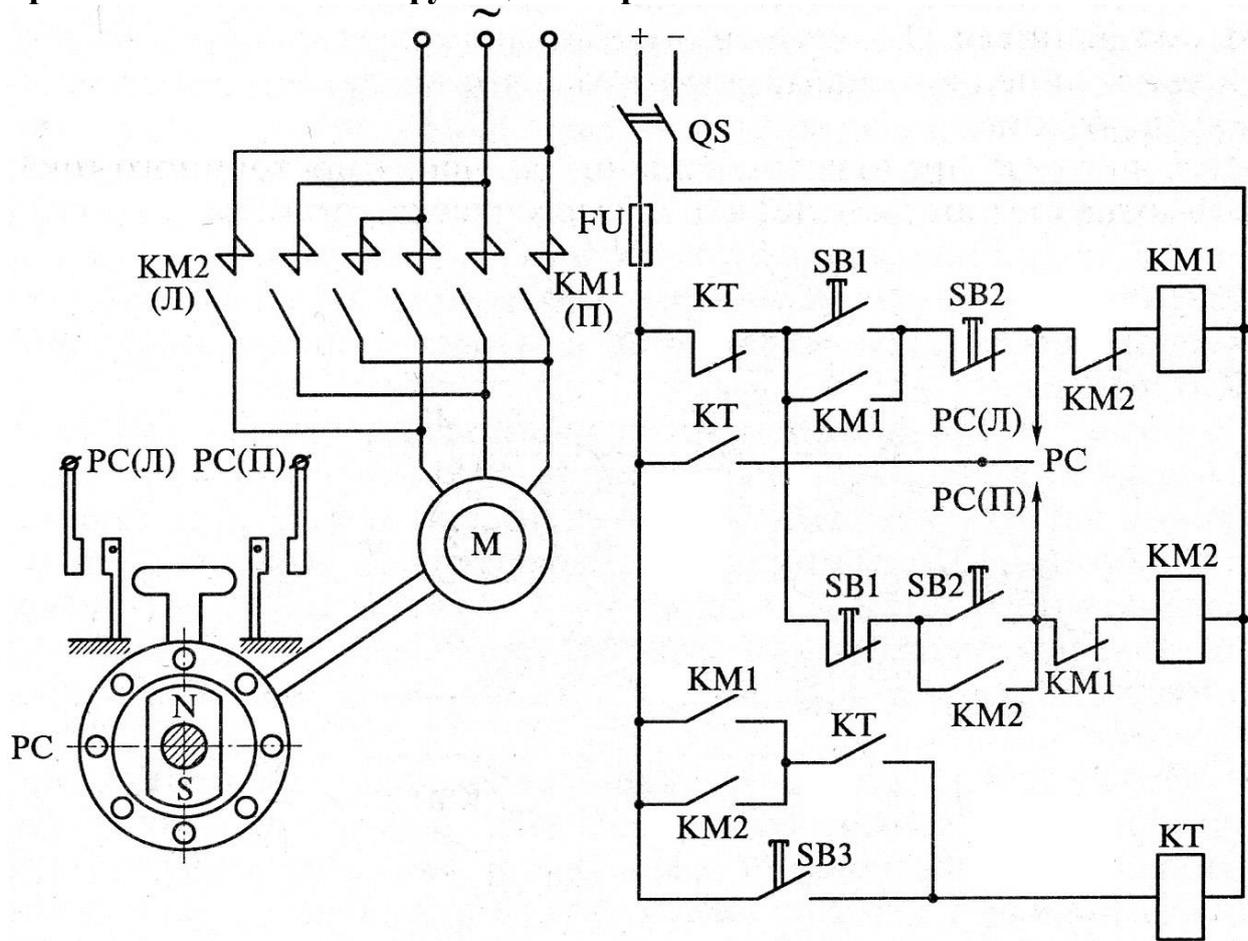


Рис. 5.6 Схема реверсивного управления трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с применением торможения противовключением в функции скорости.

В этой схеме (рис. 5.6) подключение двигателя к сети возможно через две группы силовых контактов: контакты **КМ1(II)**, при замыкании которых ротор двигателя вращается в одном направлении (вправо) и контакты **КМ2(I)**, при которых ротор вращается в другом направлении (влево). Схема содержит реле скорости **РС**, механически соединенное с валом двигателя **М**. Контакты этого реле **РС(II)** и **РС(I)** включены в схему управления двигателем. Схема управления предусматривает подачу постоянного тока рубильником **QS**.

Для подключения двигателя на «правое» вращение нажимают на кнопку **SB1**. При этом замыкается цепь катушки контактора **КМ1** и одновременно размыкаются контакты в цепи контактора **КМ2**, исключая возможность случайного включения этого контактора, что привело бы к короткому замыканию. При срабатывании контактора **КМ1** замыкаются его блокировочные контакты, шунтирующие кнопку **SB1**, и включаются силовые контакты **КМ1(II)**, которые присоединяют обмотку статора двигателя к сети. Одновременно размыкаются контакты блокировочные **КМ1**, исключая возможность включения контактора **КМ2**, и замыкаются контакты **КМ1** в цепи реле

торможения **КТ**. После пуска двигателя **М** срабатывает реле скорости **РС** и его средний контакт **РС** замыкается с крайним контактом **РС(П)**.

Для остановки двигателя нажимают кнопку **SB3** «Стоп». При этом замыкаются, подключающие реле торможения **КТ**, при срабатывании которого размыкаются его контакты **КТ** в цепи катушки контактора **KM1** и двигатель отключается от сети, продолжая вращения по инерции. Одновременно замыкаются контакты **КТ** в цепи реле торможения **КТ** и контакты **КТ** в цепи подвижного контакта **РС**. Так как отключение контактора **KM1** вызвало замыкание контактов **KM1** в цепи катушки контактора **KM2**, он включается и замыкает силовые контакты **KM2(Л)**.

Возникший в двигателе вращающий момент левого вращения вызывает торможение двигателя противовключением. При уменьшении частоты вращения ротора двигателя до значения, составляющего 5-10% номинального, вращающий момент на короткозамкнутой клетке реле скорости **РС** уменьшается настолько, что под действием пружины контакты **РС-РС(П)** размыкаются, и катушка контактора **KM2** отключается и процесс торможения прекращается. Это исключает возможность реверсирования двигателя при торможении противовключением.

Настройку частоты вращения ротора двигателя, при которой размыкаются контакты реле скорости **РС**, выполняют регулировкой сжатия пружин реле посредством винтов.

Если при работе двигателя **М** с правым вращением ротора потребуется реверсирование, то нажимать кнопку **SB3** «Стоп» не следует. Для этого достаточно нажать на кнопку **SB2**. При этом размыкаются контакты цепи катушки контактора **KM1** и замыкаются блокировочные контакты в цепи контактора **KM2**. В итоге разомкнутся силовые контакты **KM1(П)** и замкнутся силовые контакты **KM2(Л)**, изменится порядок чередования фаз на обмотке статора и двигатель изменит направление вращения ротора. Если после этого потребуется остановка двигателя, то необходимо нажать кнопку **SB3** «Стоп» и наступит процесс торможения противовключением.

1.5 Схема нереверсивного управления трехфазного двухскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре на разное число полюсов

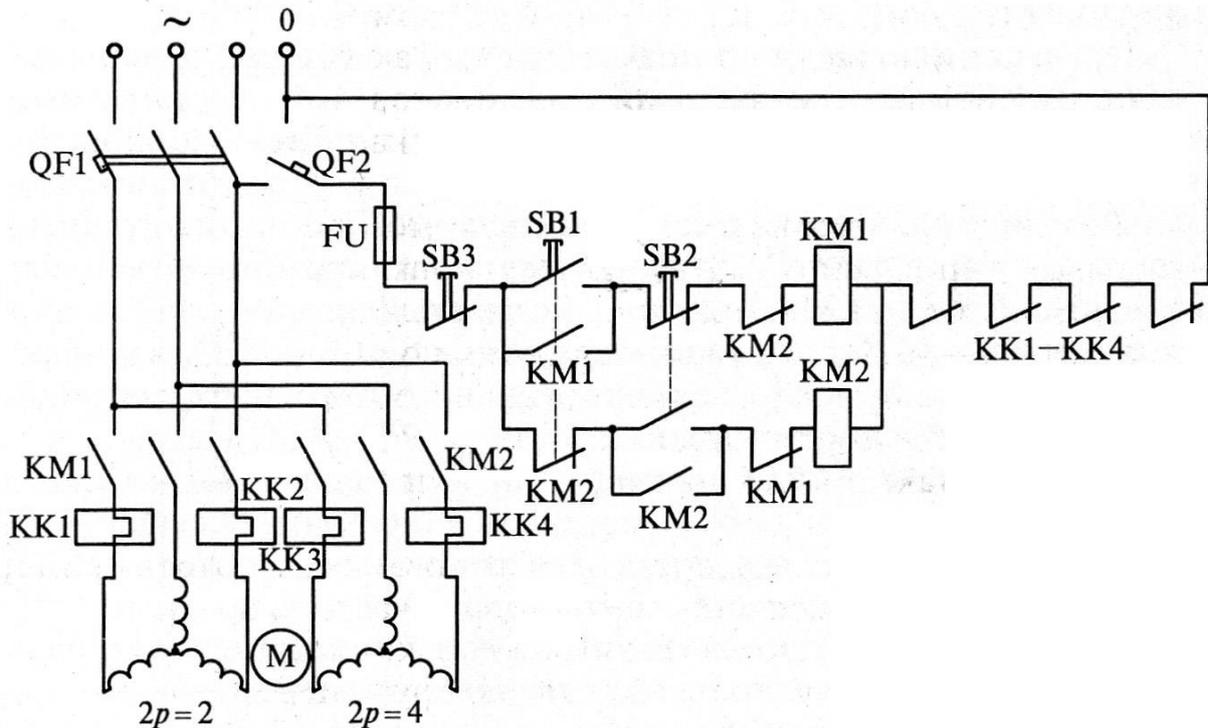


Рис. 5.7 Схема нереверсивного управления трехфазного двухскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя обмотками на статоре на разное число полюсов

После включения автоматов **QF1** и **QF2** нажимают двояную кнопку **SB1**. При этом срабатывает контактор **KM1** (рис. 5.7), который своими контактами размыкает цепь катушки контактора **KM2**, чтобы исключить возможность случайного включения контактора **KM2**, что привело бы к аварии, и включает в трехфазную сеть обмотку статора с меньшим числом полюсов ($2p=2$). Одновременно шунтируется кнопка **SB1**. Двигатель работает с наибольшей частотой вращения.

При необходимости перейти на меньшую частоту вращения нажимают двояную кнопку **SB2**. При этом отключается контактор **KM1** и включается контактор **KM2**. В результате отключаются силовые контакты **KM1**, включаются силовые контакты **KM2**, подключающие к сети обмотку статора с большим числом полюсов ($2p=4$).

Для отключения двигателя следует нажать кнопку **SB3**. При этом размыкается цепь управления, и все устройства в этой цепи отключаются. В итоге размыкаются силовые контакты **KM2** и двигатель оказывается выключенным.

Для защиты асинхронного двигателя от перегрузки в цепи статора включены тепловые реле **KK1**, **KK2**, **KK3**, **KK4**, а их размыкающие контакты включены последовательно в цепь управления.

1.6 Схема реверсивного управления трехфазного двухскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с одной обмоткой на статоре, переключаемой на разное число полюсов

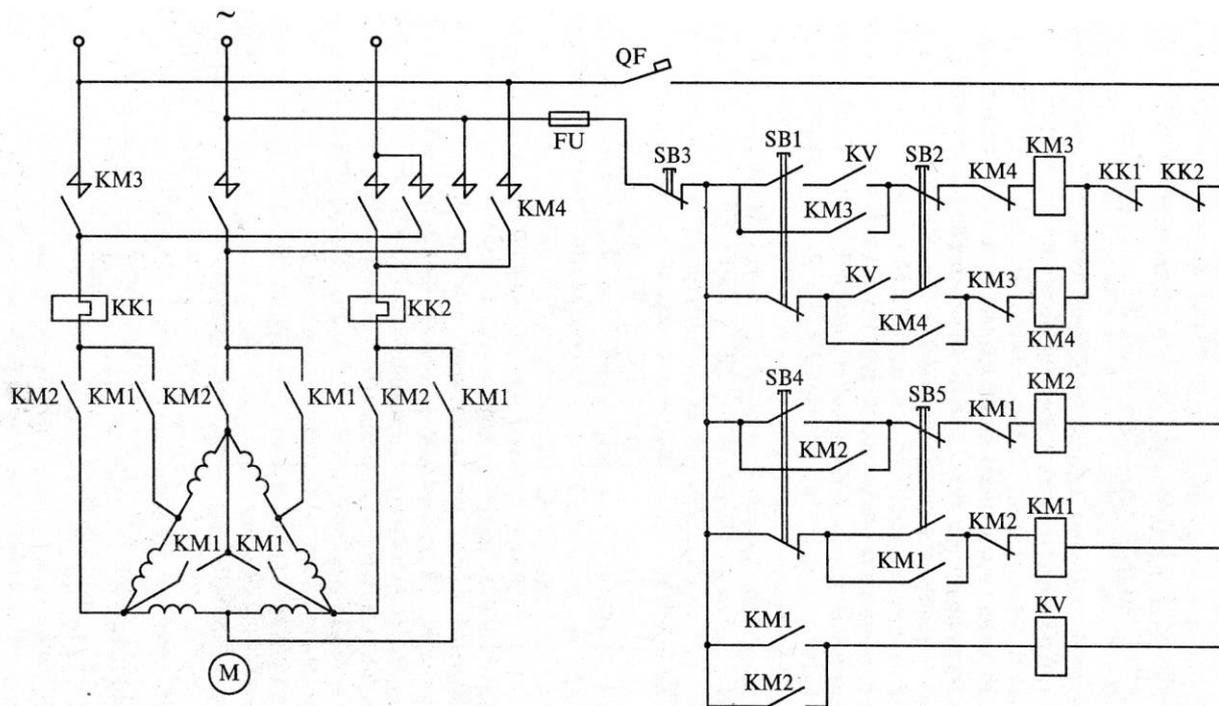


Рис. 5.8 Схема реверсивного управления трехфазного двухскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с одной обмоткой на статоре, переключаемой на разное число полюсов

В отличие от рассмотренной схемы управления (рис. 5.7), данная схема (рис. 5.8) управляет двигателем с одной обмоткой на статоре, конструкция которой путем переключения секционных групп обмотки позволяет получение двух вариантов этой обмотки с разным числом полюсов в соотношении 2:1. При соединении обмотки статора в «треугольник» ее число полюсов наибольшее, например, $2p=4$, а при соединении обмоток в «двойную звезду» число полюсов обмотки наименьшее, например, $2p=2$.

Защита силовой части электропривода осуществляется тепловыми реле **KK1** и **KK2**, а защита схемы управления - предохранителем **FU**.

Для запуска двигателя на низкую частоту вращения необходимо соединить обмотку статора в «треугольник». С этой целью нажимают кнопку **SB4**, при этом срабатывает контактор **KM2** и блокировочное реле **KV**. Силовые контакты **KM2**, замкнувшись, подготавливают двигатель для включения в сеть при соединении обмотки статора в «треугольник», а реле **KV**, замкнув свои контакты в цепях катушек **KM3** и **KM4**, подготавливают подключение двигателя в трехфазную сеть. Затем нажимают кнопки **SB1** или **SB2**, в зависимости от требуемого направления вращения ротора двигателя «Вперед» или «Назад» соответственно.

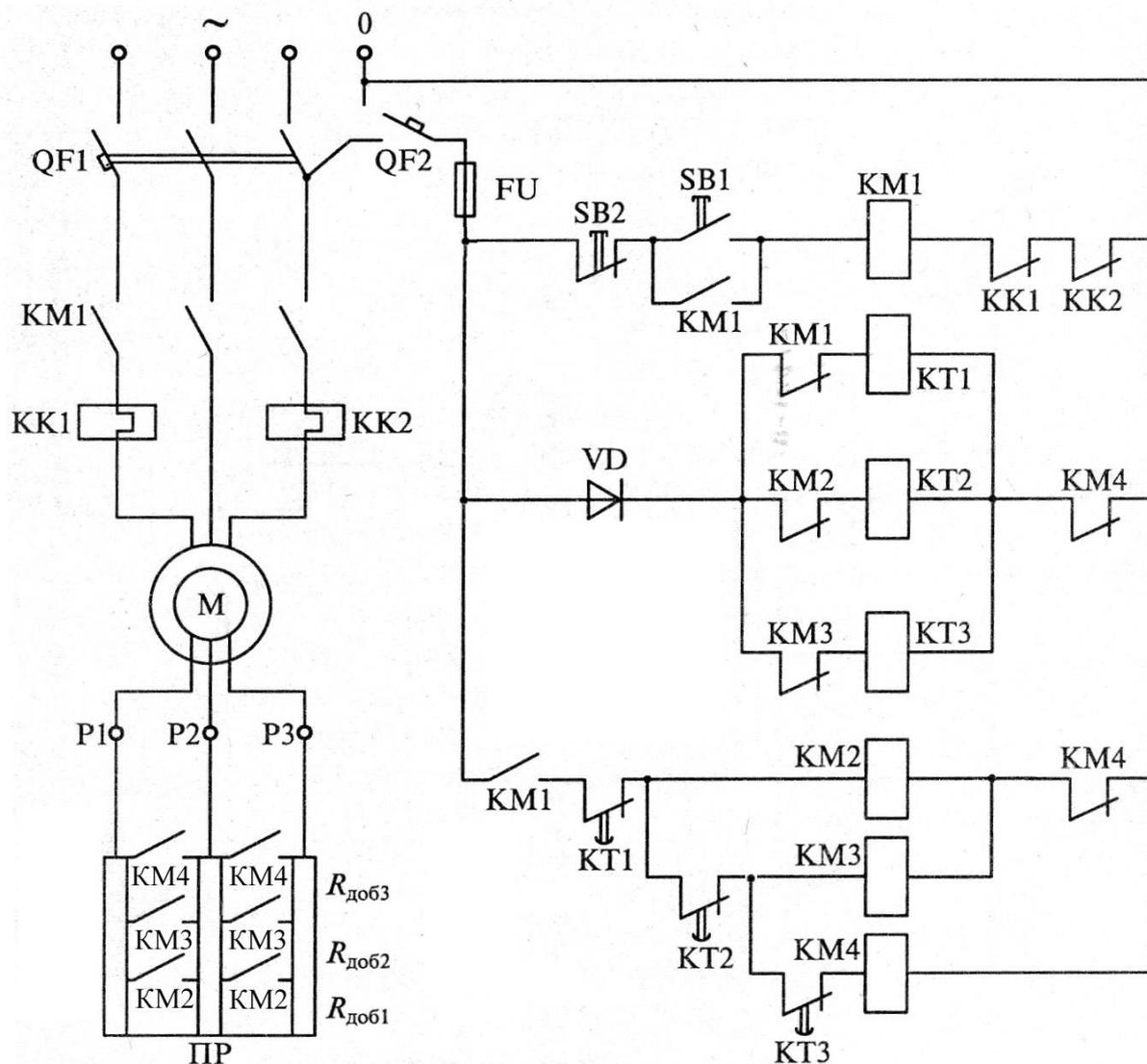
После разгона двигателя до установившейся (низкой) частоты вращения может быть осуществлено его переключение на более высокую частоту вращения. Для этого нажимают кнопку **SB5**, что приводит к отключению контактора **KM2** и включению контактора **KM1**. В итоге происходит пересоединение секционных групп обмотки статора с «треугольника» на «двойную звезду».

Для остановки двигателя нажимают кнопку **SB3**, что вызывает отключение всех контакторов от сети.

Применение в схеме кнопок управления со сдвоенными контактами исключает одновременное включение контакторов **KM1** и **KM2**, **KM3** и **KM4**, что привело бы к неправильному соединению секционных групп обмотки статора и нарушению работы схемы.

1.7 Схема управления пуском в три ступени трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени

Схема (рис. 5.9) обеспечивает реостатный трехступенчатый пуск двигателя в функции времени с применением реле времени постоянного



тока **КТ1**, **КТ2** и **КТ3** с замедлением на размыкание.

Рис. 5.9 Схема управления пуском в три ступени трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени

При включении автоматических выключателей **QF1** и **QF2** срабатывают все реле времени **КТ1**, **КТ2** и **КТ3** и их контакты размыкают цепи катушек контакторов **KM2**, **KM3** и **KM4**, предназначенных для замыкания секций пускового реостата **ПР** (рис. 5.9). Пуск двигателя начинается с нажатия кнопки **SB1**, которая замыкает цепь катушки контактора **KM1**. При его срабатывании замыкаются силовые контакты **KM1**, включающие обмотку статора двигателя в трехфазную сеть. Одновременно контакты **KM1** шунтируют кнопку **SB1** так,

чтобы при отпускании кнопки цепь катушки **КМ1** осталась замкнутой. Все контакты в **ПР** остаются разомкнутыми, т.е. пуск двигателя начинается при полностью введенных ступенях **ПР** ($R_{доб1} + R_{доб2} + R_{доб3}$). Одновременно силовые контакты контактора **КМ1** подключают катушки контакторов **КМ2**, **КМ3** и **КМ4**, а контакты **КМ1** в цепи реле времени **КТ1** размыкаются и отключают это реле. Через установленную в этом реле выдержку времени на размыкание контакты **КТ1** замкнутся, контактор **КМ2** сработает и своими силовыми контактами шунтирует первую ступень **ПР** так, что пуск двигателя будет продолжаться на второй ступени **ПР** ($R_{доб2} + R_{доб3}$). Одновременно при срабатывании **КМ2** его контакты отключают реле времени **КТ2** и контакты этого реле в цепи контактора **КМ3** с установленной выдержкой времени включают этот контактор. Силовыми контактами **КМ3** будет шунтирована вторая ступень **ПР** и пуск двигателя будет продолжаться на третьей ступени **ПР** ($R_{доб3}$). Одновременно контакты **КМ3** в цепи реле времени **КТ3** разомкнут эту цепь и реле будет отключено. Его контакты **КТ3**, спустя время выдержки при отключении, замкнут цепь катушки контактора **КМ4**, он сработает и своими силовыми контактами шунтирует последнюю ступень **ПР**.

На этом процесс пуска заканчивается и наступает режим работы при $R_{доп}=0$. Так как работа двигателя может продолжаться длительное время, все реле времени **КТ1**, **КТ2**, **КТ3** и контакторы **КМ2**, **КМ3** целесообразно отключить, что и происходит посредством размыкающих контактов **КМ4**. Замыкающие силовые контакты контактора **КМ4** полностью шунтируют **ПР**.

1.8 Схема управления пуском в две ступени трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором с применением динамического торможения в функции времени

Схема (рис. 5.10) обеспечивает ручной реостатный двухступенчатый пуск двигателя, и динамическое торможение в функции времени.

При подаче на схему напряжения постоянного тока 220 В и напряжения переменного тока 380 В рубильниками **Q1** и **Q2** и автоматом **QF** включается реле времени **КТ1**, подготавливая двигатель **М** к пуску с полным пусковым резистором в цепи ротора. Одновременно, если рукоятка командоконтроллера **SA** находится в нулевой (0) позиции и максимально-токовые реле **FA1**, **FA2** и **FA3** не включены, срабатывает реле защиты **KV** от понижения питающего напряжения, подготавливая схему к работе.

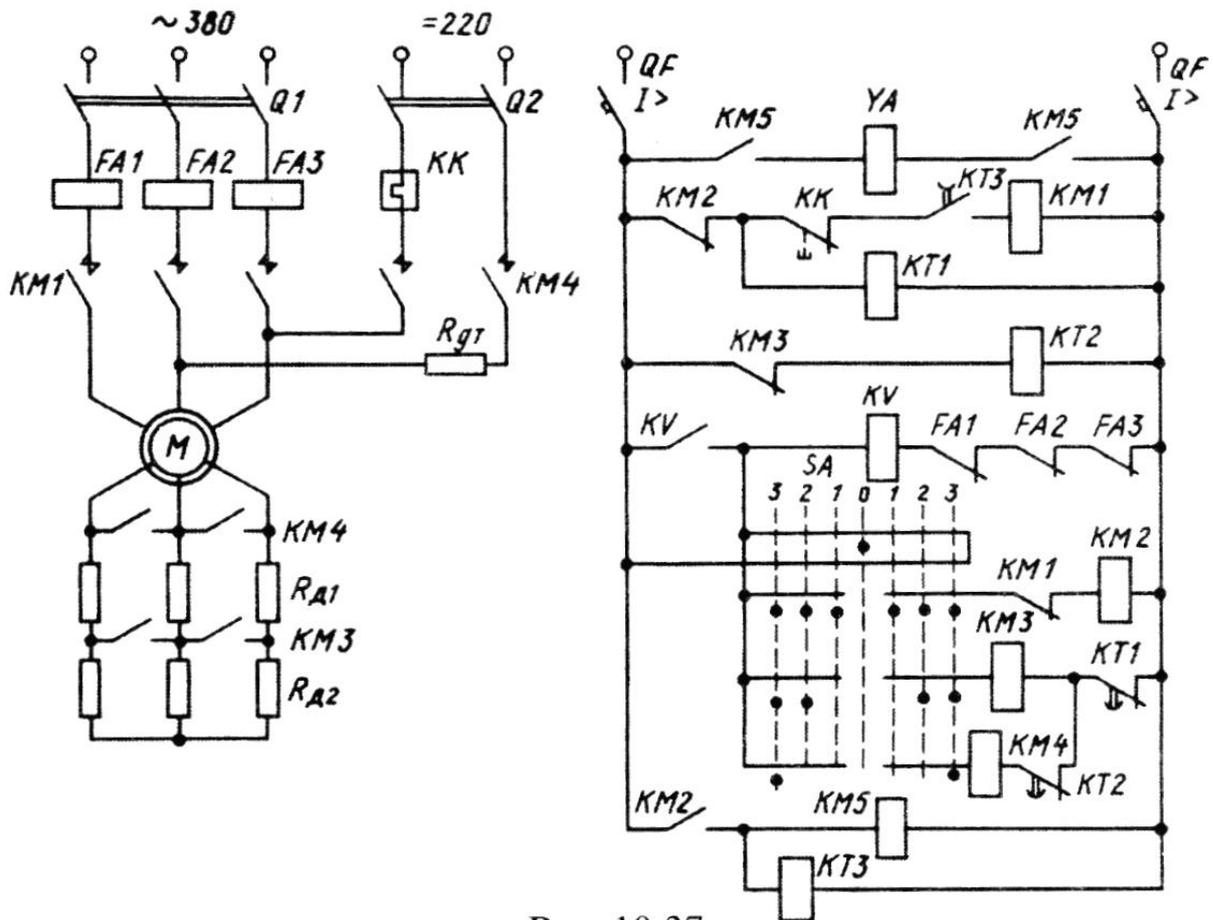


Рис. 5.10 Схема управления пуском в две ступени трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором с применением динамического торможения в функции времени

Пуск двигателя осуществляется по одной из искусственных или естественной характеристике, для чего рукоятка командоконтроллера **SA** соответственно устанавливается в положения **1**, **2** или **3**. При этом включаются контактор **KM1**, подключающий двигатель сети переменного тока, контактор управления тормозом **KM5**, подключающий к сети катушку **YA** электромагнитного тормоза, который при этом растормаживает двигатель, и реле времени **KT3**, управляющее процессом динамического торможения. При переводе рукоятки командоконтроллера **SA** в положение **2** или **3** включаются также контакторы ускорения **KM3** и **KM4** и двигатель начинает разгоняться.

Торможение двигателя происходит при переводе рукоятки командоконтроллера **SA** в положение **0** (нулевое) положение. При этом отключаются контакторы **KM2** и **KM5** и включается контактор динамического торможения **KM4**, который подключает статорную обмотку двигателя к источнику постоянного тока. В результате происходит процесс комбинированного (механического и динамического) торможения двигателя, который заканчивается после отсчета времени реле **KT3** выдержки времени, соответствующей времени торможения.

1.9 Схема управления прямым асинхронным пуском трехфазного синхронного двигателя в функции тока статора

Наиболее сложным при эксплуатации синхронных двигателей является процесс пуска. Большинство синхронных двигателей имеют на роторе короткозамкнутую обмотку типа «беличье колесо» для асинхронного пуска. При нажатии на кнопку **SB1** срабатывает контактор **KM1**, который своими силовыми контактами включает в сеть обмотку статора двигателя (рис. 5.11).

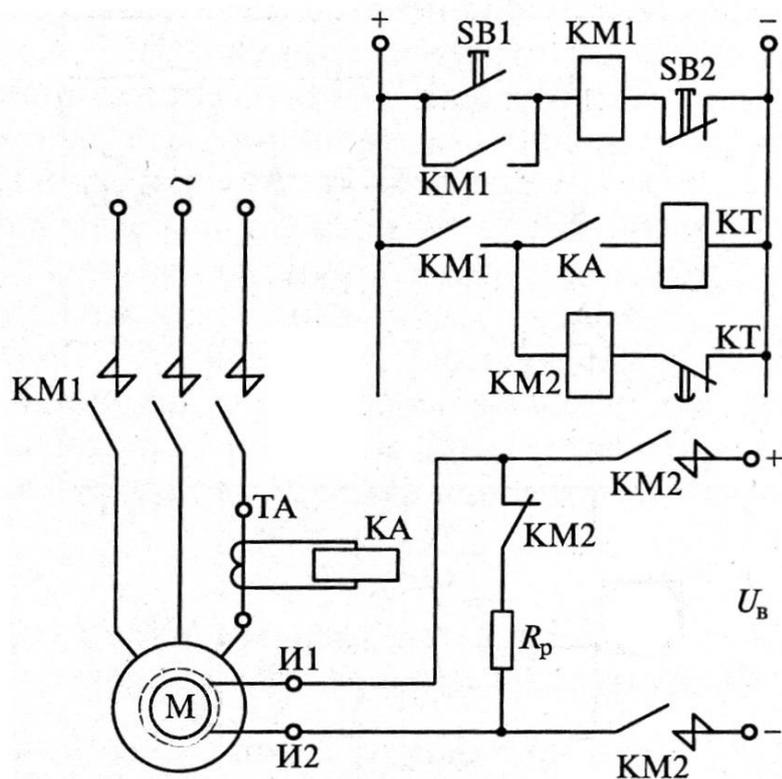


Рис. 5.11 Схема управления прямым асинхронным пуском синхронного двигателя в функции тока статора

Возникшее вращающееся магнитное поле статора сцепляется с пусковой обмоткой ротора и на роторе появляется пусковой момент. Под действием этого момента ротор начинает разгоняться. При этом постоянный ток в обмотку возбуждения не подается (клеммы **И₁** и **И₂**), а сама обмотка замкнута на разрядный резистор R_p , что предохраняет обмотку от наведения в ней вращающимся полем статора чрезмерно высокой ЭДС, опасной для межвитковой изоляции обмотки. По мере разгона ротора пусковой ток в цепи статора снижается. Контроль над величиной тока осуществляется посредством реле тока **КА**, включенного в одну из фаз через трансформатор тока **ТА**. Уставку этого реле на отпускание принимают равной номинальному значению тока статора, при котором частота вращения ротора достаточно близка к синхронной ($n \approx 0,95n_1$). Пока пусковой ток превышает это значение реле тока, реле **КА** включено и своими контактами замыкает цепь катушки реле времени **КТ**. При этом

контакты **КТ** в цепи катушки контактора **КМ2** разомкнуты, и силовые контакты **КМ2** не подключают обмотку возбуждения I_1I_2 на напряжение U_b . Когда же пусковой ток статора, постепенно снижаясь, достигнет значения тока уставки реле тока **КА**, это реле отпустит и своими контактами отключит катушку реле времени **КТ**, которое своими замыкающими контактами **КТ** с некоторым замедлением замкнет цепь катушки контактора **КМ2**. При этом контактор **КМ2** сработает и подключит обмотку возбуждения I_1I_2 синхронного двигателя к сети постоянного тока на напряжение U_b , одновременно отключив разрядный резистор R_p . При этом двигатель возбуждается, втягивается в синхронизм и начинает работу в синхронном режиме.

Для остановки двигателя нажимают кнопку **SB2**, что вызывает отключение контактора **КМ1** от сети.

2. Типовые схемы автоматизированного управления пуском, реверсом и торможением электроприводов постоянного тока

2.1 Схема управления пуском в две ступени в функции времени двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и остановкой с динамическим торможением

Пуск двигателя **М** в две ступени в функции времени осуществляется с помощью двух реле времени **КТ1** и **КТ2** (рис.5.12). При кратковременном нажатии кнопки **SB1** «Пуск» замыкается цепь питания катушки контактора **KM1**, при срабатывании которого замыкаются блок-контакты **KM1**, шунтирующие кнопку **SB1**, размыкают контакты в цепи терморезистора R_T , замыкаются контакты, включающие реле **КТ1**, и замыкаются силовые контакты **KM1**, подключающие к сети постоянного тока двигатель **М**. При этом начинается пуск двигателя **М**, в цепи обмотки якоря, которого включены элементы пускового резистора R_1+R_2 .

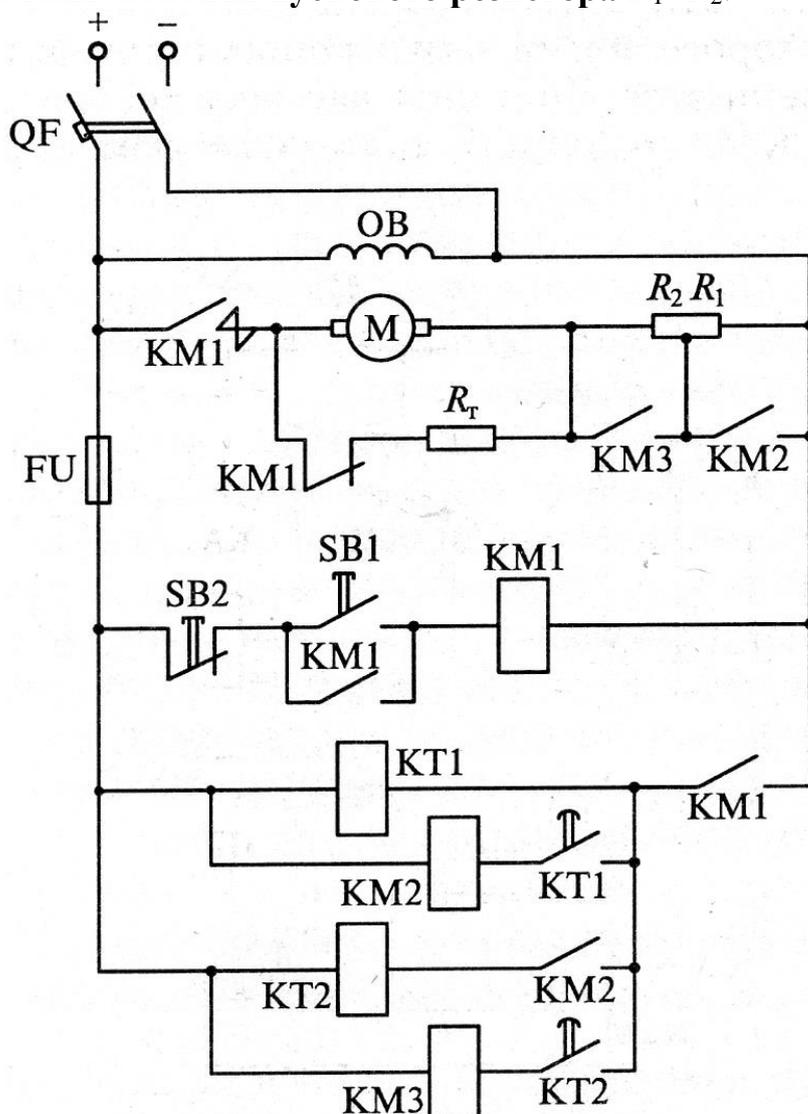


Рис. 5.12 Схема управления пуском в две ступени в функции времени двигателя постоянного тока параллельного возбуждения с динамическим торможением

Реле времени **КТ1** с выдержкой времени замедления при срабатывании своими контактами замыкает цепь катушки контактора **КМ2**, при срабатывании которого контакты **КМ2** шунтируют элемент пускового резистора R_1 . В итоге разгон двигателя продолжается, но теперь на второй ступени пуска с сопротивлением добавочного резистора в цепи якоря R_2 . Одновременно замыкаются контакты **КМ2**, подключающие катушку реле времени **КТ2**, которое срабатывает и с заданной выдержкой времени своими контактами подключает катушку контактора **КМ3**. Контактор **КМ3** срабатывает и своими контактами шунтирует элемент пускового резистора R_2 и цепь якоря двигателя оказывается включенной на полное напряжение сети постоянного тока. На этом процесс пуска заканчивается, и двигатель **М** переходит в рабочий режим. Таким образом, продолжительность пуска на **первой ступени** определяется временем замедления при срабатывании реле времени **КТ1**, а продолжительность пуска на **второй ступени** - временем замедления при срабатывании реле времени **КТ2**.

Для отключения двигателя необходимо кратковременно нажать кнопку **SB2** «Стоп». При этом разомкнется цепь питания катушки контактора **КМ1**, который своими силовыми контактами отключит якорь двигателя и цепи всех катушек реле и контакторов от сети. Следовательно, разомкнутся контакты **КМ2** и **КМ3**, шунтирующие элементы пускового резистора, и двигатель будет подготовлен к следующему включению. Одновременно замкнутся контакты **КМ1** в цепи резистора R_T и двигатель перейдет в режим динамического торможения.

Количество ступеней пуска двигателя может быть увеличено путем добавления числа ступеней сопротивления в пусковой резистор с соответствующим увеличением количества реле времени **КТ** и контакторов **КМ**.

Рассмотренная схема управления пуском двигателя постоянного тока независимого возбуждения может быть использована и для пуска двигателя с последовательным возбуждением. Следует помнить, что пуск двигателя с последовательным возбуждением допускается лишь при нагрузке на валу двигателя не менее 25% номинальной.

2.2 Схема управления пуском в две ступени в функции тока двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Схемой предусмотрен пуск двигателя в две ступени. В схеме применены три контактора **КМ1**, **КМ2** и **КМ3**, три реле тока **КА1**, **КА2** и **КАМ**, два реле времени с замедлением при срабатывании **КТ1** и **КТ2** (рис. 5.13).

При нажатии кнопки **SB1** срабатывает контактор **КМ1**, который своими силовыми контактами подключает двигатель к сети, а блокировочными контактами зашунтирует кнопку **SB1**. Одновременно

срабатывает реле времени **КТ1** и его контакты в цепи контактора **КМ2** замыкаются с замедлением. Начинается процесс пуска двигателя с добавочным резистором в цепи якоря (R_1+R_2). При этом пусковой ток в цепи якоря величиной I_{a1} оказывается достаточным для срабатывания реле тока **КА1** и его контакты размыкают цепь катушки контактора **КМ2** до того, как эта цепь замкнулась контактами реле времени **КТ1**.

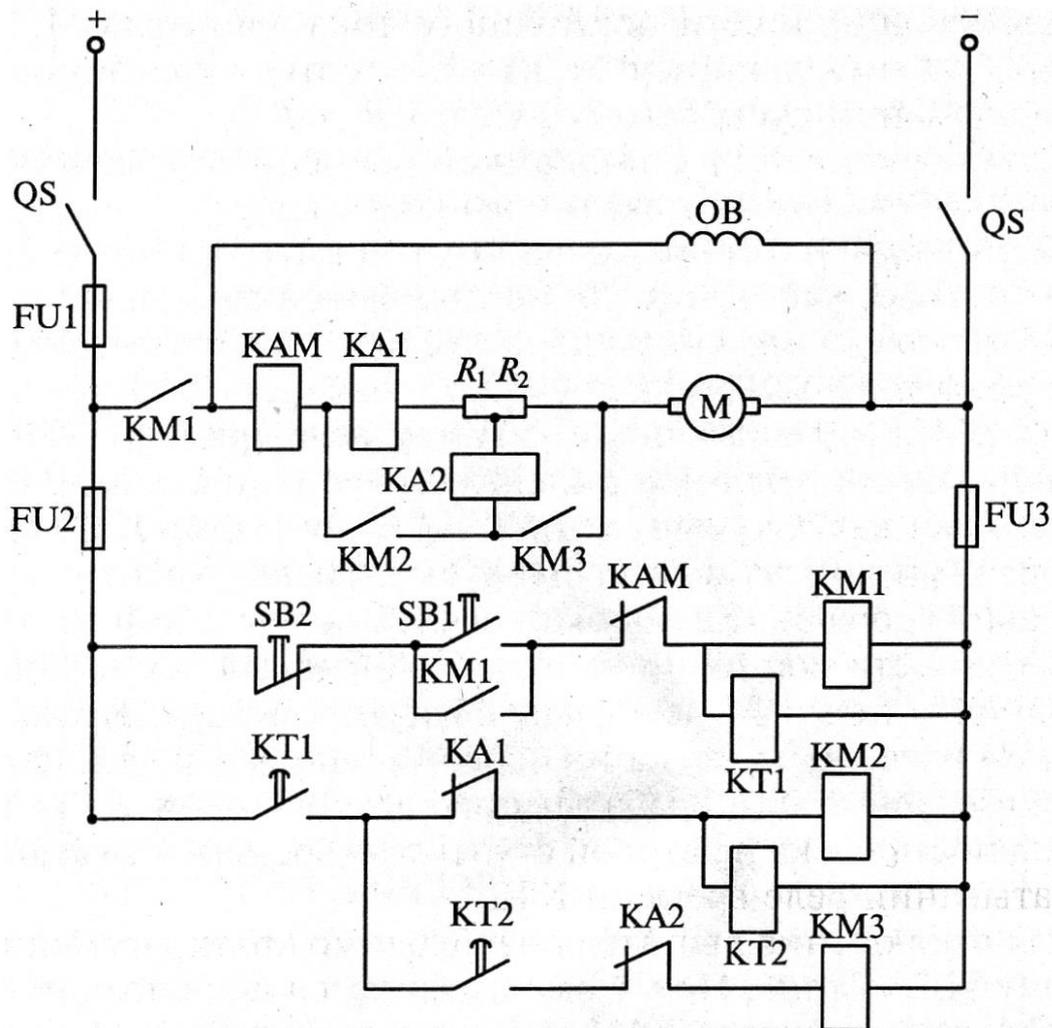


Рис. 5.13 Схема управления пуском в две ступени двигателя постоянного тока параллельного возбуждения в функции тока

По мере разгона ротора пусковой ток убывает и при его уменьшении до величины $I_{a2} < I_{a1}$ реле тока **КА1** отпускает, его контакты замыкают цепь контактора **КМ2** и реле времени **КТ2**. Контактор **КМ2** срабатывает и своими контактами шунтирует сопротивление R_1 вместе с катушкой реле тока **КА1**. При этом начинается вторая ступень пуска двигателя с сопротивлением в цепи якоря R_2 и ток якоря вновь увеличивается до значения I_{a1} , при котором срабатывает реле тока **КА2**, разомкнув свои контакты в цепи катушки контактора **КМ3** еще до того, как замкнулись контакты реле времени **КТ2**, срабатывающие с замедлением. Якорь двигателя, продолжая разгоняться, вызывает уменьшение тока якоря вновь до значения I_{a2} , при котором реле тока **КА2** отпускает и своими контактами замыкает цепь

катушки контактора **КМ3**. Это контактор, срабатывает, шунтирует своими контактами сопротивление R_2 . Теперь в цепи якоря нет добавочных резисторов, и двигатель переходит в режим работы на естественной механической характеристике.

Для остановки двигателя достаточно нажать на кнопку **SB2**, при этом отпускает контактор **КМ1** и отключает от сети двигатель **М** и все реле и контакторы. В итоге схема переходит в состояние, необходимое для следующего пуска.

Реле максимального тока **КАМ** в цепи якоря двигателя служит для защиты двигателя от перегрузки: когда ток якоря превысит значение пускового тока I_{a1} , реле **КАМ** сработает и своими контактами отключит цепь контактора **КМ1**.

2.3 Схема управления пуском в две ступени в функции времени двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, реверсом и торможением противовключением в функции ЭДС

Схемой предусмотрен пуск двигателя в две ступени. В схеме применены: автоматический выключатель **QF**, кнопки управления **SB1**(сдвоенная), **SB2**(сдвоенная) и **SB3**, контакторы **КМ1**, **КМ2**, **КМ3** и **КМ4**, реле времени **КТ** с замедлением при отпускании, реле напряжения **KV1** и **KV2**. В цепь якоря двигателя последовательно включены два резистора: пусковой $R_{д1}$ и противовключения $R_{д2}$ (рис. 5.14).

При включении автомата **QF** все элементы схемы оказываются под напряжением. При нажатии кнопки **SB1** включается контактор **КМ1** и своими силовыми контактами включает в сеть двигатель **М**, одновременно блокировочные контакты **КМ1** шунтируют кнопку **SB1** и включают катушку реле времени **KV1**. Начинается пуск двигателя **М**, при этом начальный пусковой ток двигателя I_{a1} ограничен резисторами $(R_{д1}+R_{д2})$. Этот пусковой ток создаст на резисторе $R_{д2}$ падение напряжения $U_{д2}=I_{a1} \cdot R_{д2}$, что приведет к срабатыванию реле времени **КТ**, и его контакты разомкнут цепь катушки контактора **КМ4**. Реле напряжения **KV1**, включенное контактами **КМ1**, сработает и подключит цепи катушек контакторов **КМ3** и **КМ4** (цепь **КМ4** останется разомкнутой контактами реле времени **КТ**). Контактор **КМ3** сработает и своими контактами шунтирует резистор $R_{д2}$, при этом двигатель перейдет на вторую ступень пуска, а реле времени **КТ** отпустит и своими контактами с выдержкой времени при отпускании замкнет цепь контактора **КМ4**, который сработает и своими контактами шунтирует резистор $R_{д1}$. В итоге двигатель окажется под полным напряжением сети, т.е. режим пуска двигателя сменится работой в режиме естественной механической характеристики.

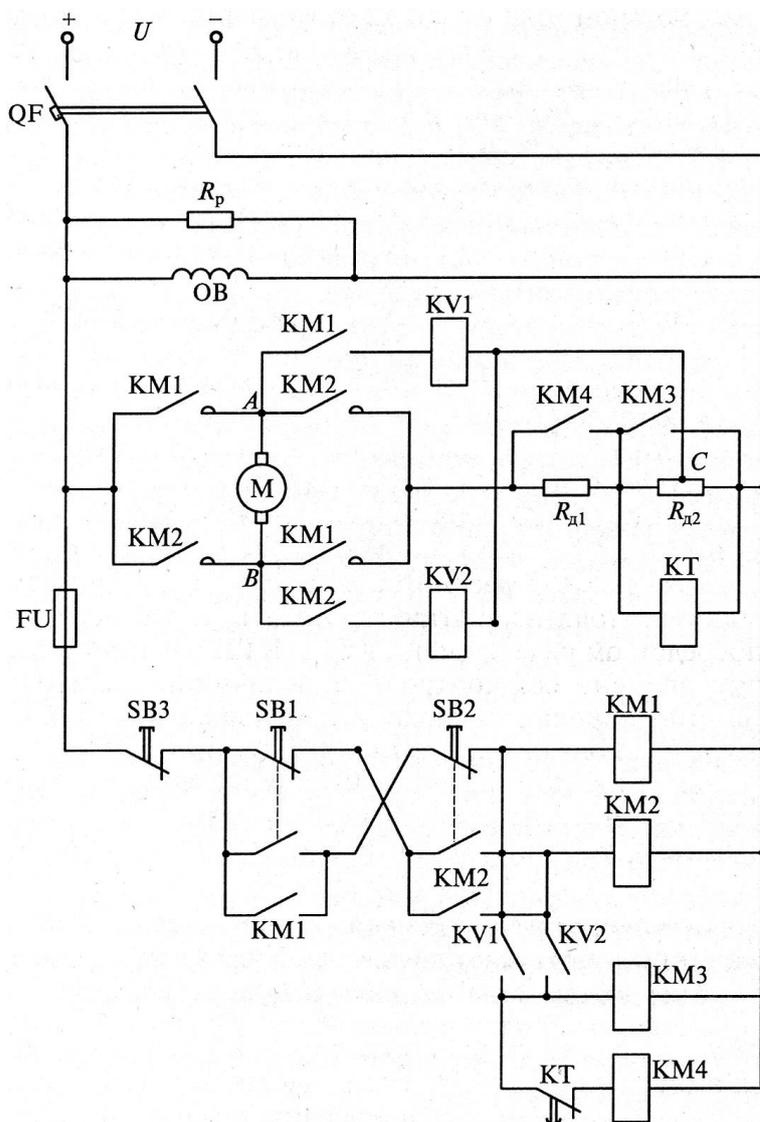


Рис. 5.14 Схема управления пуском в две ступени в функции времени двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, реверсом и торможением противовключением в функции ЭДС

Для реверсирования двигателя необходимо нажать сдвоенную кнопку **SB2**. При этом отключатся контакторы **KM1**, **KM3** и **KM4** и включится контактор **KM2**. В результате произойдет переключение цепи якоря двигателя на другое направление тока (от точки **B** к точке **A**). При этом электромагнитный момент двигателя изменит направление и станет тормозящим по отношению к якорю, продолжающему вращение по инерции в прежнем направлении. Ток якоря будет ограничен сопротивлением резисторов $R_{д1} + R_{д2}$. За счет падения напряжения на резисторе $R_{д2}$ сработает реле времени **КТ** и своими контактами разомкнет цепь катушки контактора **KM4**. Блокировочные контакты **KM2** шунтируют кнопку **SB2** и подключат катушку реле напряжения **KV2**. Однако в условиях противовключения двигателя, когда якорь за счет накопленной кинетической энергии продолжает вращаться в прежнем направлении, а ток в обмотке якоря изменил свое направление, ЭДС якоря E_a направлена

согласно с напряжением сети. Поэтому реле напряжения **KV2** в начальный момент противовключения не срабатывает.

При срабатывании реле напряжения **KV2** включается контактор **KM3**, который своими контактами шунтирует резистор $R_{д2}$. К этому времени процесс торможения заканчивается ($n \approx 0$) и происходит реверсирование двигателя.

В этих условиях в двигателе начинается процесс пуска с ограничением пускового тока резистором $R_{д1}$. При этом реле времени **КТ** отключается и его контакты с выдержкой времени на отпускание замыкают цепь катушки контактора **KM4**. При срабатывании **KM4** шунтирует резистор $R_{д1}$ и двигатель переходит в рабочий режим, т.е. в режим работы на естественной характеристике.

Если же требуется остановить двигатель сразу после торможения, то в момент изменения направления вращения якоря следует нажать на кнопку **SB3**, при этом разомкнутся цепи всех контакторов и двигатель будет отключен от сети, а все реле и контакторы цепи управления окажутся в состоянии, необходимом для следующего включения двигателя.

Разрядный резистор R_p образует с обмоткой возбуждения **ОВ** замкнутый контур. Поэтому при отключении двигателя автоматом **QF** ЭДС самоиндукции, наведенная **ОВ**, создаст ток в этом контуре, а электромагнитная энергия, запасенная в **ОВ**, будет преобразована в тепловую энергию, не создав в этой обмотке опасных перенапряжений.

Порядок выполнения работы

1. Изучить основные положения и ознакомиться с типами электроприводов машин и механизмов.
2. Изучить типовые схемы управления пуском двигателей переменного и постоянного тока
3. Составить отчет о работе с ответами на контрольные вопросы.
4. Составить схему управления пуском и торможением в соответствии с индивидуальным заданием по вариантам, приведенным в задании 5.1.

Контрольные вопросы

1. В чем различие между разомкнутыми и замкнутыми системами автоматического управления ?
2. Каково назначение двух реле **КК** в схеме рис. 5.3 ?
3. Чем блокируется одновременное включение контакторов **KM1** и **KM2** в схеме рис. 5.4 ?
4. Каково назначение реле времени **КТ** в схеме рис. 5.5 ?
5. Объясните назначение реле скорости в схеме рис. 5.6 ?
6. Каково назначение реле тока **КА** в схеме рис. 5.6 ?
7. Чем блокируется одновременное включение контакторов **KM1** и **KM2** в схеме рис. 5.7 ?

8. Что исключает одновременное включение контакторов КМ1 и КМ2, КМ3 и КМ4 в схеме рис. 5.8 ?
9. Каково назначение размыкающего контакта КМ4 в схеме рис. 5.9 ?
10. Каково назначение реле KV в схеме рис. 5.10 ?
11. Каково назначение резистора R_p в цепи обмотки возбуждения в схеме рис. 5.11 ?
12. Чем определяется продолжительность пуска на первой и второй ступенях в схеме рис. 5.12 ?
13. Чем определяется продолжительность пуска на первой и второй ступенях в схеме рис. 5.13 ?
14. Чем объясняется замедление срабатывание реле напряжения KV2 в схеме рис. 5.14 ?

Контрольные задания

Задание 5.1 Составить и вычертить схему управления по вариантам. Схемы выполнить в соответствии с ГОСТ, приведенном в приложении. Привести полное описание работы схемы управления и принятые средства защиты от коротких замыканий и перегрузок.

Вариант 1. Схема управления прямым пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором посредством реверсивного пускателя

Вариант 2. Схема управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором посредством пусковых резисторов.

Вариант 3. Схема управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором посредством пусковых дросселей (реакторов).

Вариант 4 Схема управления пуском трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором посредством понижающего трансформатора.

Вариант 5. Схема реверсивного управления трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с применением динамического торможения в функции времени

Вариант 6. Схема нереверсивного управления трехфазного трехскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с тремя обмотками на статоре на разное число полюсов.

Вариант 7. Схема нереверсивного управления трехфазного четырехскоростного асинхронного двигателя с коротко-замкнутым ротором с четырьмя обмотками на статоре на разное число полюсов.

Вариант 8. Схема управления прямым пуском трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором посредством реверсивного пускателя и конденсаторным торможением.

Вариант 9. Схема управления прямым пуском трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором посредством реверсивного пускателя и магнитным торможением.

Вариант 10. Схема управления пуском в четыре ступени трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени.

Вариант 11. Схема управления пуском в две ступени с дросселями трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени.

Вариант 12. Схема управления пуском в одну ступень в функции времени трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором с применением торможения противовключением в функции ЭДС.

Вариант 13. Схема управления пуском в одну ступень в функции тока трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором с применением торможения противовключением в функции скорости.

Вариант 14. Схема управления реакторным пуском синхронного двигателя в функции тока статора с применением динамического торможения.

Вариант 15. Схема управления трансформаторным пуском синхронного двигателя в функции тока статора с применением торможения противовключением.

Вариант 16. Схема управления пуском в одну ступени в функции ЭДС двигателя постоянного тока независимого возбуждения и торможение противовключением в функции времени.

Вариант 17. Схема управления пуском в две ступени в функции времени двигателя постоянного тока независимого возбуждения и динамическим торможением в функции скорости.

Вариант 18. Схема управления пуском в одну ступень в функции времени двигателя постоянного тока независимого возбуждения и динамическим торможением в функции ЭДС.

Вариант 19. Схема управления пуском двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением в функции тока.

Вариант 20. Схема управления пуском в три ступени в функции времени двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением и динамическим торможением.

Вариант 21. Схема управления пуском в две ступени в функции времени двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением и торможением противовключением.

Вариант 22. Схема управления пуском асинхронного однофазного двигателя и динамическим торможением.

Вариант 23. Схема управления пуском асинхронного однофазного конденсаторного двигателя.

Вариант 24. Схема управления пуском универсального коллекторного двигателя.

Вариант 25. Схема управления пуском асинхронного двигателя с полым немагнитным ротором.

Вариант 26. Схема управления пуском исполнительного асинхронного редукторного двигателя.

Вариант 27. Схема управления пуском синхронного реактивного конденсаторного редукторного двигателя.

Вариант 28. Схема управления пуском синхронного гистерезисного редукторного двигателя.

Вариант 29. Схема управления пуском синхронного редукторного двигателя с магнитным ротором.

Вариант 30. Схема управления пуском коллекторного исполнительного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и обычным (зубцовым) якорем.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СХЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Цель работы: изучение автоматических схем регулирования скорости электродвигателями различных машин и механизмов.

Основные положения

Под регулированием скорости следует понимать принудительное изменение скорости с помощью специальных регулировочных устройств в соответствии с требованиями технологического процесса.

Регулирование скорости машин и механизмов может осуществляться механическим и электрическим способами. Механический способ связан с применением редукторов, цепных, ременных передач или с помощью гидравлических и фрикционных муфт и др. Однако наибольшее применение находят электрические способы регулирования скорости, что осуществляется изменением схемы включения электродвигателя, параметров цепи двигателя или параметров питающего напряжения.

Электрическое регулирование скорости позволяет вести технологический процесс в наилучшем режиме и сравнительно легко автоматизировать этот процесс, повысить производительность, долговечность, экономичность работы машин.

Основными показателями, характеризующими различные способы регулирования скорости электроприводов, являются следующие.

1. Диапазон регулирования скорости D - отношение наибольшей угловой скорости ω_{\max} , возможной при данном способе регулирования, к наименьшей ω_{\min} при номинальном моменте на валу двигателя. Обычно диапазон регулирования выражается отношением 2:1, 4:1, 20:1 и т.д.

2. Плавность регулирования - отношение скоростей на двух соседних ступенях регулирования. Чем больше ступеней скорости в заданном диапазоне регулирования, тем выше плавность.

3. Экономичность регулирования скорости, характеризующаяся величиной потерь энергии при регулировании и продолжительностью работы с этими потерями, а также стоимостью необходимого оборудования. Наибольшие потери энергии, а следовательно, и наименьшую экономичность имеет система электропривода, где регулирование ведется включением реостата в силовую цепь электродвигателя.

4. Стабильность работы на заданной скорости, характеризующаяся постоянством скорости при заданном отклонении момента статического сопротивления на валу. Стабильность зависит в основном от жесткости механической характеристики.

5. Направление регулирования скорости (вверх или вниз от скорости на естественной характеристике).

Регулировочные свойства электродвигателя должны возможно полнее соответствовать требованиям приводимой машине. Прежде всего, это относится к величинам **момента** и **мощности** при различных угловых скоростях. Условием полного использования электродвигателя при работе на разных регулировочных характеристиках является поддержание **тока** двигателя на уровне **номинальной** величины.

Изменение момента нагрузки и мощности на валу в зависимости от скорости имеет разный характер для различных производственных механизмов (рис. 6.1).

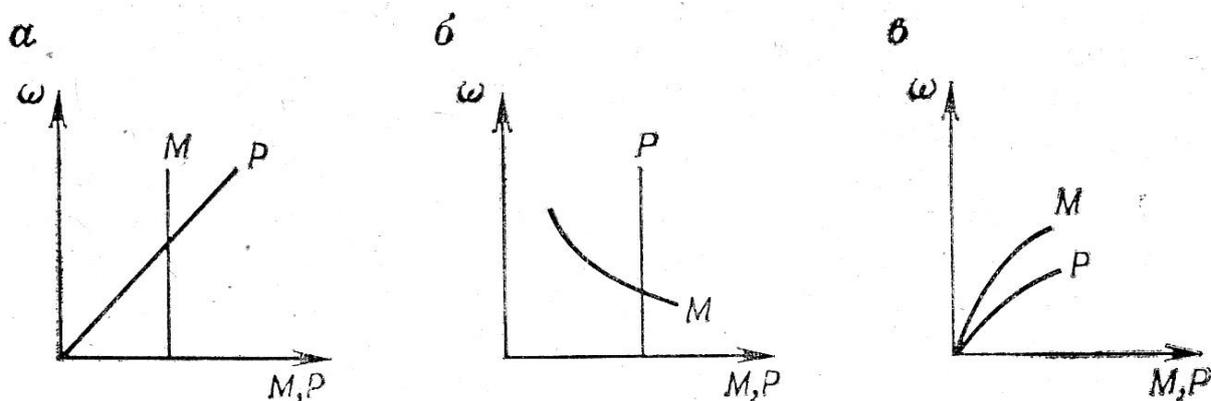


Рис. 6.1 Характер изменения момента M и мощности P на валу электродвигателя в функции угловой скорости ω

Одна группа механизмов - подъемные установки с цилиндрическими барабанами, конвейеры с постоянной массой перемещаемых грузов - работают с постоянным моментом на валу M и изменяемой мощностью P (рис. 6.1, а).

Другая группа механизмов - режущие органы горных комбайнов, экскаваторов и др. - работают с постоянной мощностью на валу P , а момент M изменяется обратно пропорционально угловой скорости, т.е. по закону гиперболы (рис. 6.1,б).

Третья группа механизмов - вентиляторы, насосы и др. механизмы - работают с изменяющимся моментом M пропорциональным квадрату скорости, а мощность P изменяется пропорционально кубу скорости (рис. 6.1,в).

Сравнивая закон изменения момента и мощности на валу исполнительного механизма в функции скорости с соответствующими характеристиками электродвигателя, можно выбрать наиболее экономичный способ регулирования скорости.

1. Регулирование скорости двигателей постоянного тока

Уравнение механической характеристики для электродвигателей постоянного тока имеет следующий вид.

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - M \frac{R_{я} + R_{р}}{k^2 \cdot \Phi^2}$$

где ω - угловая скорость, рад/с;

U - подводимое напряжение, В;

k - коэффициент, зависящий от конструкции двигателя;

Φ - магнитный поток возбуждения двигателя, Вб;

M - момент на валу двигателя, Н·м;

$R_{я}$ - сопротивление обмотки якоря, Ом;

$R_{р}$ - сопротивление реостата в цепи якоря, Ом.

Анализ этого уравнения показывает, что для двигателей постоянного тока возможны **три** основных способа электрического регулирования угловой скорости:

- изменением сопротивления реостата в цепи якоря $R_{я}$;
- изменением магнитного потока двигателя Φ ;
- изменением напряжения, подводимого к якорю U .

1.1 Регулирование скорости двигателей постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением

1.1.1 Регулирование скорости изменением сопротивления реостата в цепи якоря

Введение реостата в цепь якоря двигателя смягчает механическую характеристику, увеличивая ее наклон (рис.6.2). При этом работа двигателя на реостатной характеристике может стать нестабильной, так как с изменением нагрузки скорость значительно изменяется (уменьшается). Угловую скорость можно регулировать только вниз от основной скорости на естественной характеристике. Диапазон регулирования уменьшается с уменьшением момента нагрузки. Плавность регулирования будет низкой, так как введение в силовую цепь двигателя реостата с большим числом ступеней затруднительно.

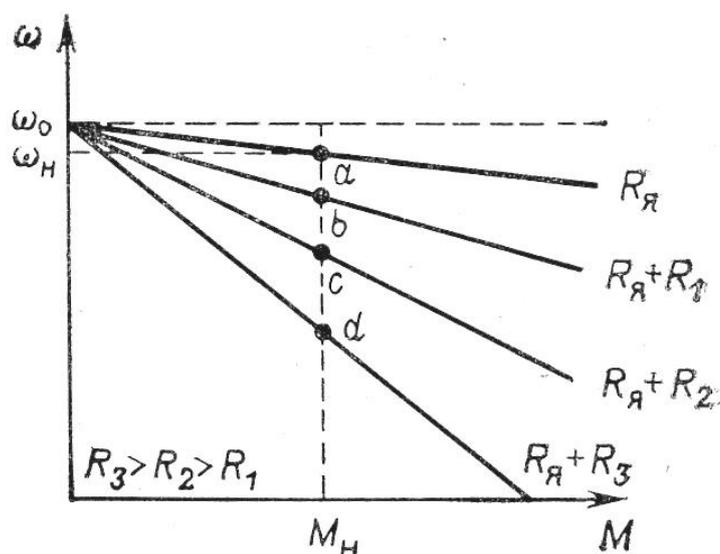


Рис. 6.2 Естественные и искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением сопротивления реостата в цепь якоря

Данный способ регулирования неэкономичен, что ограничивает область применения только приводами, где не требуется длительной работы двигателя при пониженной скорости. Потери энергии в регулировочном реостате будут составлять

$$\Delta P = I^2 \cdot R_p = c_d \cdot \Phi \cdot I \cdot (\omega_1 - \omega_2)$$

т.е. они пропорциональны перепаду угловой скорости при регулировании в диапазоне от ω_1 до ω_2 .

Вследствие выше перечисленных недостатков этот способ регулирования не нашел широкого применения.

Для получения жестких механических характеристик при малых скоростях якорь двигателя шунтируют реостатом $R_{ш}$ (рис. 6.3,а).

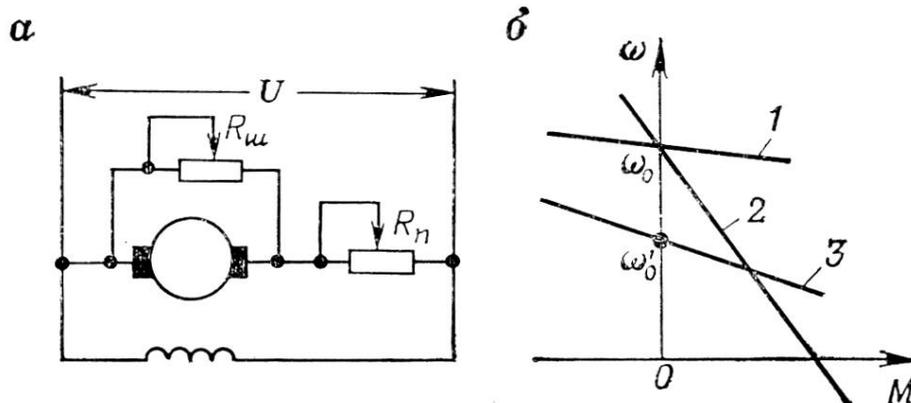


Рис. 6.3 Схема и механические характеристики двигателя с параллельным возбуждением при шунтировании якоря

Схема с шунтированием якоря используется в приводах сравнительно небольшой мощности. Обычно она применяется для предварительного снижения скорости при необходимости точной остановки привода. Длительная работа при шунтировании якоря неэкономична

вследствие относительно больших потерь энергии в реостате $R_{ш}$. Диапазон регулирования скорости для рассматриваемого случая составляет примерно $(3 \div 5):1$.

Механическая характеристика двигателя при шунтировании якоря (прямая 3 рис. 6.4,б) отличается жесткостью, что обеспечивает стабильность регулирования скорости. Для сравнения там же изображены естественная (прямая 1, рис. 6.4,б) и искусственная (прямая 2, рис. 6.4,б) характеристики двигателя. Жесткость механической характеристики зависит от соотношения величин сопротивлений последовательного $R_{п}$ (рис. 6.4,а) и шунтирующего $R_{ш}$ реостатов. С увеличением величины сопротивления $R_{ш}$ увеличивается наклон характеристики и снижается скорость холостого хода ω_0 . Когда $R_{п} = \infty$, двигатель будет работать в режиме динамического торможения на реостат $R_{ш}$.

1.1.2 Регулирование скорости изменением потока возбуждения двигателя

Широко применяется в электроприводе благодаря простоте и экономичности. Мощность, затрачиваемая в регулировочном реостате, включенном в цепь возбуждения, не превышает 1-2% мощности двигателя. Плавность регулирования скорости будет удовлетворительной, так как использование маломощного регулировочного реостата с большим числом ступеней не вызывает затруднения. Скорость регулируется только вверх от основной (рис. 6.4). Скорость идеального холостого хода увеличивается с уменьшением магнитного потока Φ . Диапазон регулирования при данном способе сравнительно невелик и составляет обычно от 1,5:1 до 4:1. Верхний предел скорости ограничивается тем, что при значительном уменьшении магнитного потока возбуждения механическая характеристика значительно смягчается и скорость становится нестабильной. Нижний предел угловой скорости ограничен насыщением машины, когда увеличение тока возбуждения уже не вызывает роста магнитного тока. При значительном нагрузочном моменте снижение магнитного потока приводит не к увеличению скорости, а, наоборот, к ее снижению.

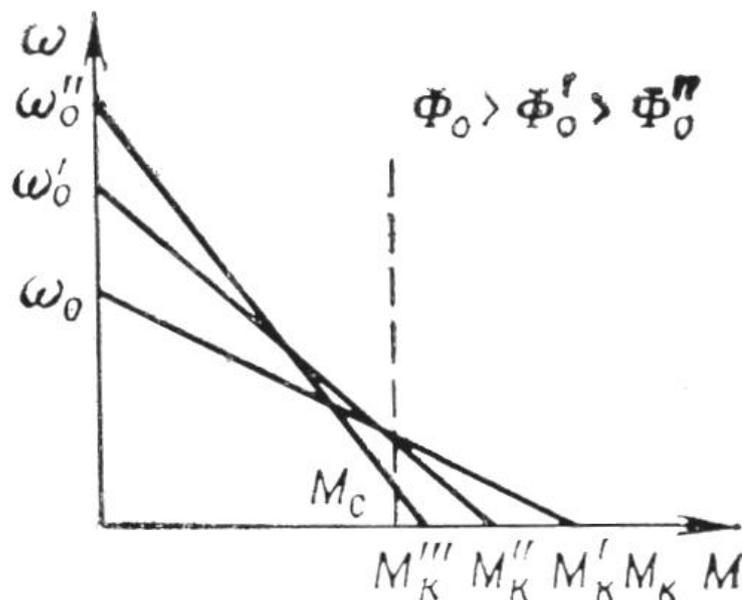


Рис. 6.4 Естественные и искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением магнитного потока возбуждения

Следует отметить, что вследствие значительной индуктивности обмотки возбуждения время регулирования при дан-ном способе будет сравнительно **велико**, если не принять специальных мер.

1.1.3 Регулирование скорости изменением напряжения, подводимого к якору

Для регулирования скорости двигателя изменением напряжения постоянного тока требуется источник регулируемого постоянного тока. Питание якоря при этом может осуществляться от индивидуального регулируемого источника постоянного тока. В качестве последнего может быть использован машинный генератор постоянного тока, полупроводниковый выпрямитель (тиристор), полупроводниковый выпрямитель в сочетании с магнитным усилителем.

Система привода, в которой двигатель питается от индивидуального машинного генератора постоянного тока, называется системой генератор-двигатель (Г-Д). Система привода, в которой двигатель питается от тиристорных преобразователей, называется системой тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д).

При изменении напряжения, подводимого к якору двигателя, пропорционально изменяется скорость идеального холостого ω_0 на естественной характеристике (прямая 1, рис.6.5), а искусственные характеристики (прямые 2-8) оставаясь линейными и параллельными друг к другу, имеют по сравнению с естественной характеристикой 1 больший наклон из-за наличия внутреннего сопротивления источника постоянного тока.

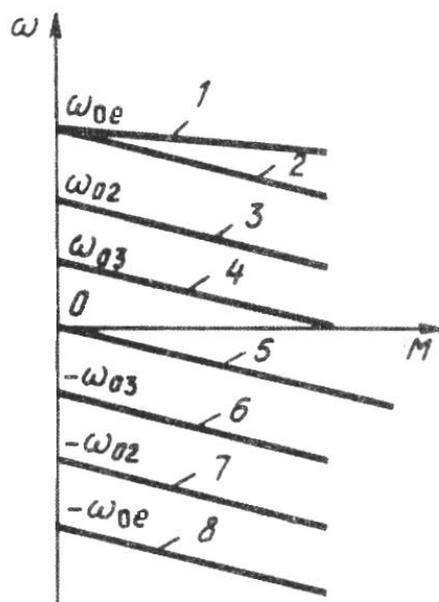


Рис. 6.5 Естественные и искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением напряжения, подводимого к якорию

Характеристики располагаются в первом и четвертом квадрантах и параллельны друг другу.

Изменение уровня напряжения не изменяет жесткость механической характеристики. При этом работа двигателя на реостатной характеристике остается стабильной, и с изменением нагрузки скорость изменяется мало. Угловую скорость можно регулировать только вниз от основной скорости на естественной характеристике. Диапазон регулирования значительный и составляет 10:1. Плавность регулирования большая.

Однако у этого способа регулирования скорости есть недостатки, связанные с регулируемыми источниками постоянного тока: сложность в устройстве и управления; невысокая помехозащищенность; малая перегрузочная способность по току и напряжению.

Несмотря на указанные недостатки, этот способ является весьма эффективным и широко применяется для привода ответственных рабочих машин.

1.2 Регулирование скорости двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением

Регулирование скорости двигателей с последовательным и смешанным возбуждением осуществляется теми же **тремя** способами, что и двигателя с параллельным возбуждением.

1.2.1 Регулирование скорости изменением сопротивления реостата в цепи якоря

Введение реостата в цепь якоря двигателя смягчает механическую характеристику, увеличивая ее наклон (рис.6.6). При этом работа двигателя на реостатной характеристике может стать стабильной, так как с изменением нагрузки скорость значительно изменяется (уменьшается). Угловую скорость можно регулировать только вниз от основной скорости на естественной характеристике. Диапазон регулирования уменьшается с уменьшением момента нагрузки. Плавность регулирования будет низкой, так как введение в силовую цепь двигателя реостата с большим числом ступеней затруднительно.

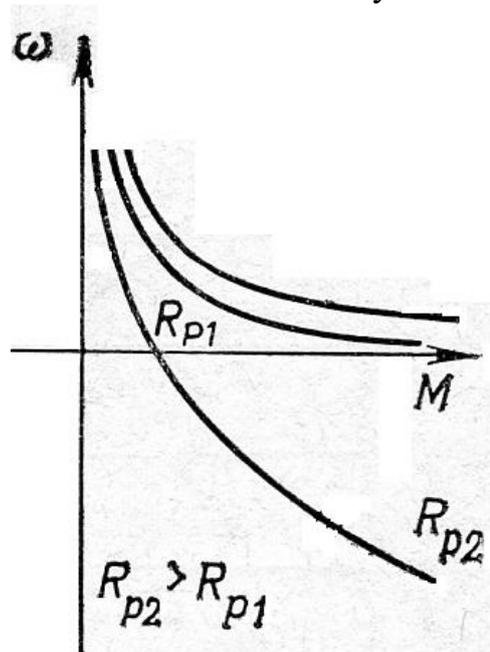


Рис. 6.6 Естественные и искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением изменением сопротивления реостата в цепи якоря

Данный способ регулирования неэкономичен, что ограничивает область применения только приводами, где не требуется длительной работы двигателя при пониженной скорости.

Вследствие выше перечисленных недостатков этот способ регулирования не нашел широкого применения.

Для получения жестких механических характеристик при малых скоростях якорь двигателя шунтируют реостатом $R_{ш.я}$ (рис. 6.7, б).

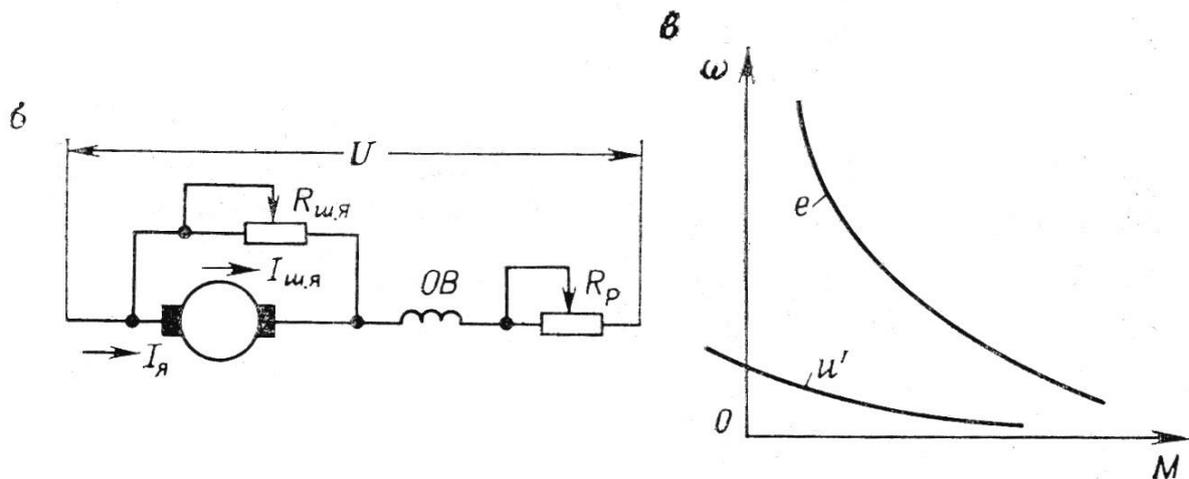


Рис. 6.7 Схема и механические характеристики двигателя с последовательным возбуждением при шунтировании якоря

При шунтировании обмотки якоря реостатом $R_{ш.я}$ увеличиваются ток обмотки возбуждения и, как следствие, магнитный поток двигателя. Шунтирование обмотки якоря вызывает увеличение жесткости механической характеристики двигателя и появления конечной скорости идеального холостого хода, причем механические характеристики будут пересекать ось ординат (рис. 6.7в, кривая $и'$). Появляются свойства двигателя смешанного возбуждения.

Данный способ регулирования мало экономичен, так как потери мощности в шунтирующем резисторе $R_{ш.я}$ имеют тот же порядок, что при регулировании введением реостата в цепь якоря. Этот способ применяется для кратковременного снижения скорости при необходимости сохранения достаточной жесткости механической характеристики. Скорость двигателя регулируется только вниз от естественной (кривая e , рис 6.7в). Пределы регулирования 1: 0,5. Достоинством данного способа является устойчивость регулирования, особенно при малых скоростях.

Значительно чаще используется регулирование скорости последовательно-параллельным включением двигателей (рис 6.8). Это способ получил применение в приводе электровозов.

При параллельном соединении двигателей и полностью **выведенном** реостате (рис. 6.8, а) скорость двигателя равна номинальной. Наименьшая скорость имеет место при последовательном соединении (рис. 6.8, в) двигателей и полностью **введенном** в цепь якоря реостате R_p .

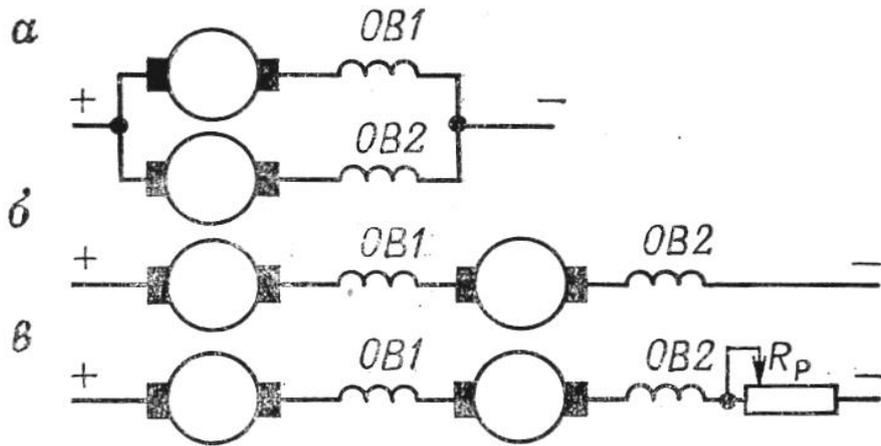


Рис. 6.8 Схемы последовательно-параллельного включения двигателей с последовательным возбуждением

При полностью **выведенном** реостате R_p и последовательном соединении двигателей (рис. 6.8, б) каждый из них работает при напряжении и скорости, равных половине их номинальной величины.

Таким образом, при наличии только **одной** ступени реостата можно получить **четыре** ступени скорости.

1.2.2 Регулирование скорости изменением потока возбуждения двигателя

Параллельно обмотке возбуждения включается шунтирующий реостат $R_{ш.в.}$ (рис. 6.9, а). Ток якоря I_a распределяется обратно пропорционально сопротивлениям обмотки якоря и шунта.

Механическая характеристика (кривая *и*), соответствующая пониженному магнитному потоку возбуждения, расположится выше естественной характеристики *е* (рис. 6.9, в).

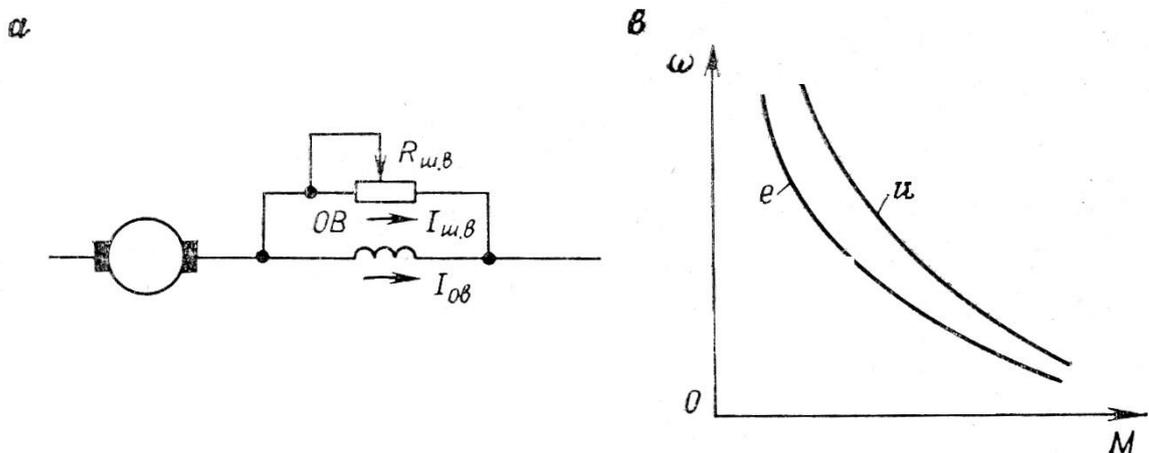


Рис. 6.9 Схема и механические характеристики двигателя с последовательным возбуждением при шунтировании обмотки возбуждения

При шунтировании обмотки возбуждения верхний предел скорости обычно не превышает 150% номинальной, так как ограничен условиями коммутации и механической прочностью якоря двигателя.

С уменьшением магнитного потока обмотки возбуждения будет возрастать ток якоря, что вызывает перегрев двигателя и выход его из строя. Поэтому данный способ регулирования целесообразно использовать для приводов, мощность которых постоянна, а момент изменяется в зависимости от скорости по гиперболической кривой.

1.3 Регулирование скорости двигателей постоянного тока с применением тиристорных преобразователей напряжения (ТПН)

В качестве индивидуальных регулируемых источников питания двигателей постоянного тока используют статические преобразователи на тиристорах (система привода ТП-Д).

Достоинствами тиристорных преобразователей являются:

- отсутствие подвижных частей;
- простой уход;
- надежность;
- долговечность;
- малые габаритные размеры и масса;
- быстродействие;
- высокий КПД;
- бесшумность работы;
- отсутствие массивного фундамента;
- возможность более полной автоматизации.

Тиристорные преобразователи напряжения (ТПН) поставляются заводами комплектно, в блочном исполнении.

Комплектный ТПН содержит следующие элементы:

- силовую часть - вентильный блок из тиристоров;
- систему импульсно-фазового управления (СИФУ);
- систему защиты и сигнализации;
- систему охлаждения;
- измерительные приборы и др.

ТПН бывают однокомплектными и двухкомплектными, соответственно нереверсивными и реверсивными. Силовую часть преобразователя чаще всего выполняют по трехфазной мостовой схеме и реже - по трехфазной схеме с нулевой точкой.

Если условия работы привода не требуют частого реверсирования двигателя, то используют однокомплектный ТПН (рис. 6.10). Изменение полярности выпрямленного напряжения, т.е. реверсирование двигателя, в этом случае осуществляется с помощью контакторов в цепи якоря (рис.10, а) или в цепи обмотки возбуждения (рис. 6.10,б). При необходимости частого реверсирования более целесообразно применение двухкомплектного ТРН (рис. 6.11).

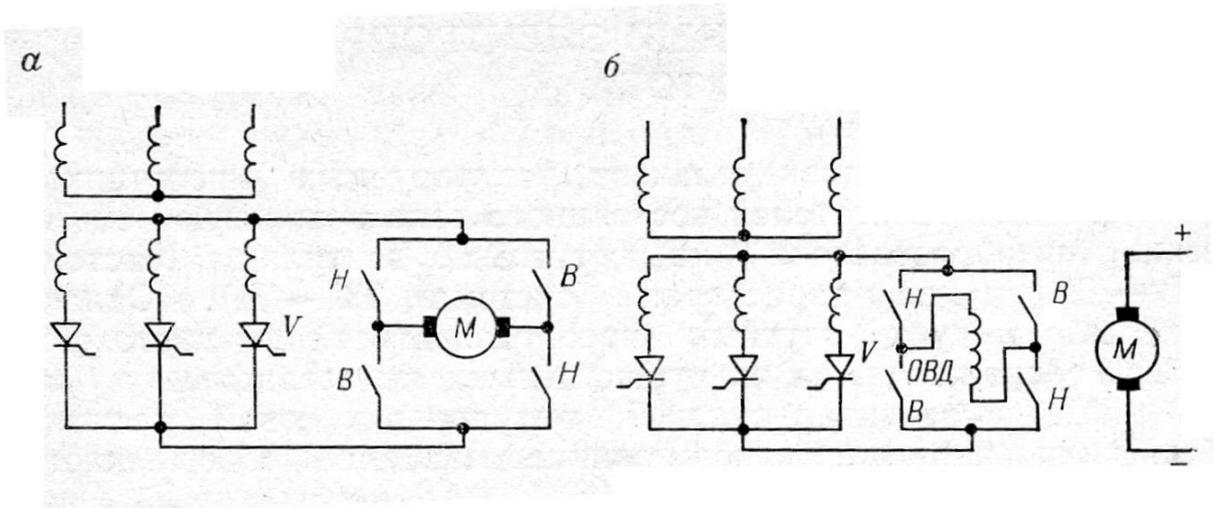


Рис. 6.10 Схемы однокомплектных ТРН

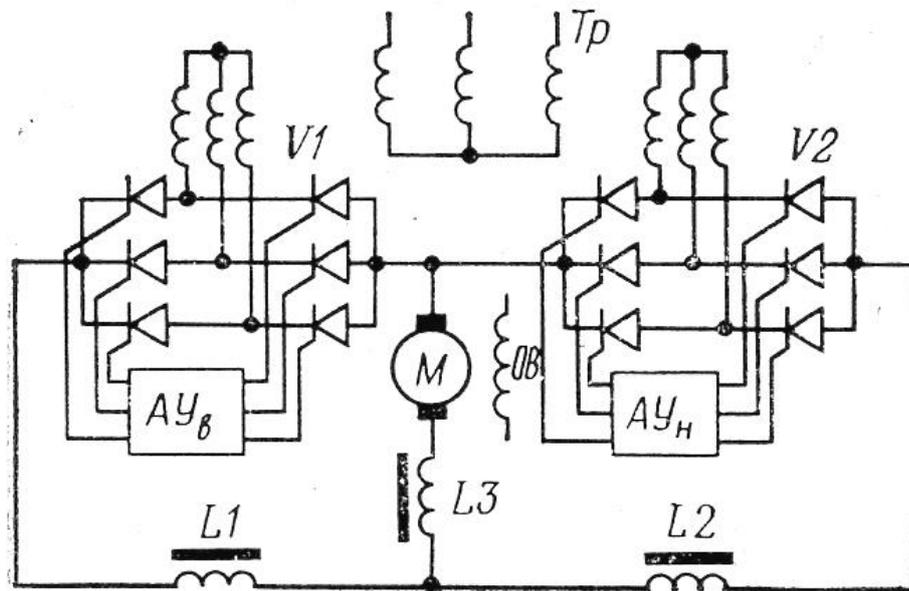


Рис. 6.11 Схема реверсивного двухкомплектного ТРН

V1 - преобразователь «Вперед»; V2 - преобразователь «Назад»; AY_В и AY_Н - аппаратура управления тиристорами; L1 и L2 - уравнивательные реакторы; L3 - сглаживающий реактор.

Достоинством двухкомплектного преобразователя является быстрое действие при реверсировании, отсутствие контактов в силовой цепи.

Механические характеристики двигательного режима показаны в первом квадранте (рис. 6.12).

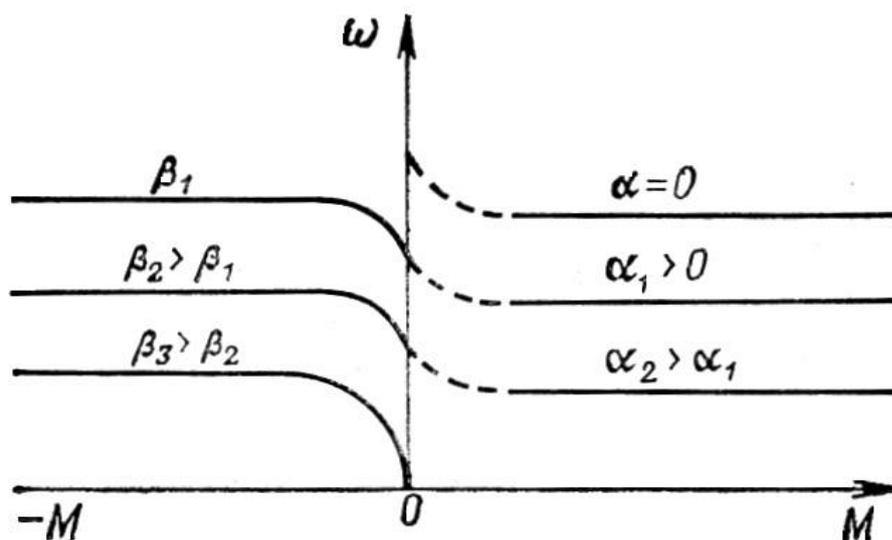


Рис. 6.12 Механические характеристики тиристорного привода постоянного тока

При походе к режиму холостого хода механические характеристики идут вверх, что объясняется возникновением режима прерывистых токов (пунктирная линия).

Пуск двигателя в системе ТП-Д осуществляется плавным увеличением выпрямленного напряжения, а торможение - плавным его уменьшением. Когда ЭДС двигателя, вращающегося по инерции, переходит в генераторный режим, а преобразователь - в инверторный. При этом электроэнергия от двигателя через трансформатор отдается в сеть переменного тока. Угол регулирования α в инверторном режиме больше 90° . Поэтому вместо угла регулирования употребляется такое понятие, как «угол опережения зажигания» $\beta = \pi - \alpha$. Семейством механических характеристик привода в инверторном режиме приведен на рис. 6.12 во втором квадранте.

2. Регулирование скорости асинхронных двигателей

Уравнение механической характеристики для асинхронных электродвигателей следующий вид.

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot R'_2}{\left[\omega_0 \cdot s \cdot \left(\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + x_k^2 \right) \right]}$$

где U_{ϕ} - подводимое фазное напряжение, В;

R'_2 - активное приведенное сопротивление обмотки ротора, Ом;

$\omega_0 = 2\pi \cdot f / p$ - угловая скорость магнитного поля статора, рад/с;

$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ - скольжение асинхронного двигателя;

R_1 - активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом;

x_k^2 - индуктивное фазное сопротивление короткого замыкания, Ом;

Анализ этого уравнения показывает, что для асинхронных двигателей возможны **четыре** основных способа электрического регулирования угловой скорости:

- изменение скольжения s введением в цепь статора или ротора добавочных резисторов;
- изменение скорости вращающегося поля статора изменением числа пар полюсов p ;
- изменением подводимого к двигателю напряжения U ;
- изменением частоты питающего напряжения f .

2.1 Регулирование скорости асинхронных двигателей введением в цепь статора или ротора добавочных резисторов

2.1.1 Регулирование скорости асинхронного двигателя введением в цепь статора добавочных резисторов

Введение реостата в цепь статора применяется главным образом для регулирования (ограничения) при пуске (рис.6.13).

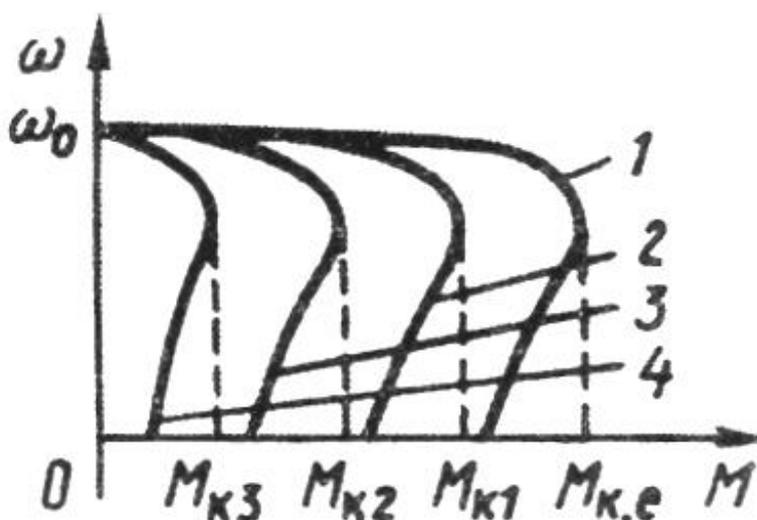


Рис. 6.13 Естественные и искусственные механические характеристики асинхронного двигателя при введении добавочных резисторов в цепь статора

Скорость холостого хода ω_0 при включении добавочных резисторов $R_{1д}$ не изменяется, получаемые искусственные характеристики представляют собой семейство кривых 2-4, которые расположены левее естественной характеристики 1, построенной при $R_{1д}=0$, причем большему значению $R_{1д}$ соответствует больший наклон искусственных характеристик. Такие искусственные характеристики мало пригодны для регулирования скорости, так как они обеспечивают небольшой диапазон изменения. По мере увеличения $R_{1д}$ жесткость характеристик и перегрузочная способность снижаются. Снижается также и экономичность.

В силу этих недостатков регулирование скорости этим способом применяется редко. Этот способ обычно используется для ограничения

токов и моментов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при пуске, реверсе и торможении. Например, при электроприводе лифтов с двухскоростным асинхронным двигателем.

2.1.2 Регулирование скорости асинхронного двигателя введением в цепь ротора добавочных резисторов

Введение реостата в цепь ротора применяется главным образом для регулирования скорости и момента асинхронного двигателя с **фазным ротором** (рис.6.14).

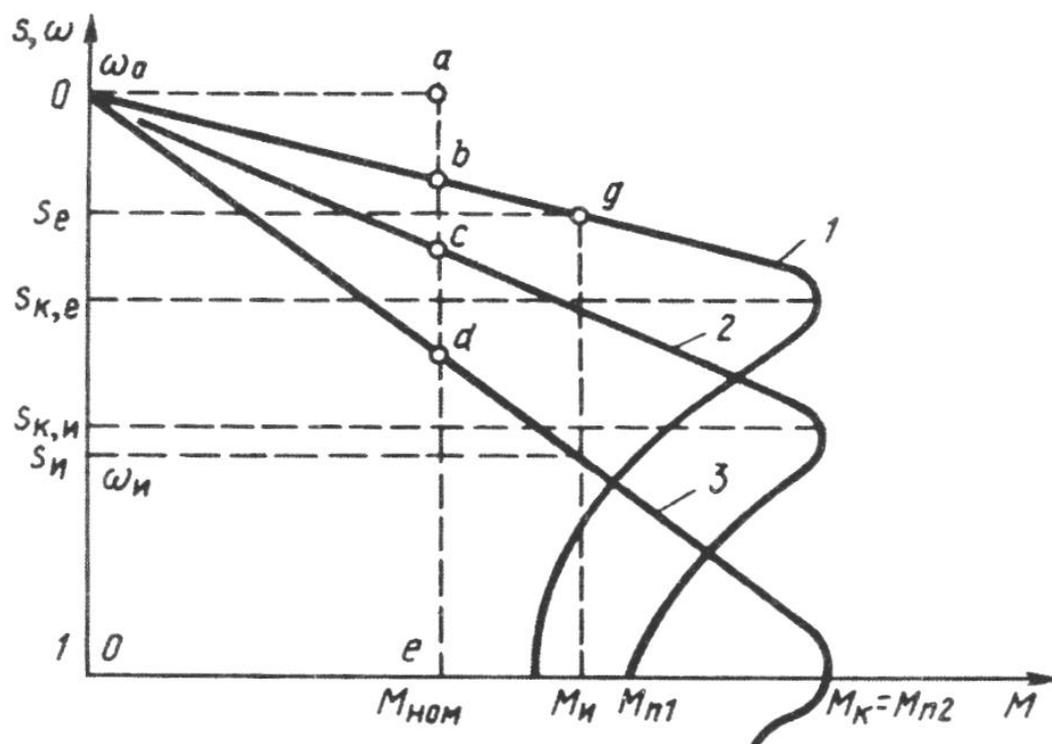


Рис. 6.14 Естественные и искусственные механические характеристики асинхронного двигателя при введении добавочных резисторов в цепь ротора

Скорость идеального холостого хода ω_0 при включении добавочных резисторов $R_{2д}$ не изменяется, получаемые искусственные характеристики представляют собой семейство кривых 2-3, которые располагаются с большим наклоном относительно естественной характеристики 1, построенной при $R_{2д}=0$, причем большему значению $R_{2д}$ соответствует больший наклон искусственных характеристик. При этом развиваемый максимальный момент $M_{кр}$ остается неизменным. Это позволяет сохранить перегрузочную способность двигателя, что весьма важно при регулировании скорости.

Этот способ имеет ряд недостатков. С уменьшением жесткости механической характеристики снижается стабильность работы двигателя на данной характеристике. Скорость может регулироваться только вниз от основной. Диапазон регулирования непостоянен и зависит от нагрузки.

Потери мощности в роторной цепи растут пропорционально скольжению.

В отличие от пускового реостата **регулируемый** реостат рассчитывают на длительную работу при полном токе нагрузки, вследствие чего он более громоздок и тяжел.

Данный способ применяется при небольшом требуемом диапазоне регулирования или кратковременной работе двигателя на пониженных скоростях. Например, в электроприводе подъемно-транспортных машин и механизмов.

2.2 Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением числа пар полюсов

Этот способ регулирования скорости применяется главным образом для асинхронных двигателя с **короткозамкнутым ротором**, так как для перехода на другую скорость требуется изменять число пар полюсов только в обмотке статора. Тем более, что в короткозамкнутой обмотке ротора типа «беличье колесо» всегда образуется столько же полюсов, сколько и в обмотке статора.

В двигателе же с **фазным ротором** для перехода на другую скорость пришлось бы одновременно переключать обмотку статора и ротора, что представляет значительные трудности.

Этот способ регулирования может быть реализован при использовании специальных многоскоростных асинхронных двигателей. Особенностью этих двигателей является статорная обмотка, состоящая из двух одинаковых секций (полубмоток), используя различные схемы соединения которых можно изменять число пар полюсов p . В соответствии с формулой $\omega_0 = 2\pi \cdot f_1 / p$ при этом изменяется скорость вращения магнитного поля ω_0 , а значит, и скорость двигателя. Ротор многоскоростных двигателей обычно выполняется короткозамкнутым.

Двухскоростные двигатели имеют на статоре либо **две** обмотки с разным числом полюсов, либо **одну** обмотку, допускающую переключением числа пар полюсов (полюснопереключаемую). Трехскоростные двигатели имеют одну полюснопереключаемую обмотку и одну непереключаемую обмотку. Четырехскоростные имеют две полюснопереключаемые обмотки.

Практически наиболее употребительными схемами переключения числа пар полюсов одной обмотки статора являются схемы включения со «звезды на двойную звезду» (рис. 6.15, а, б,) и с «треугольника на двойную звезду» (рис. 6.15, в, г).

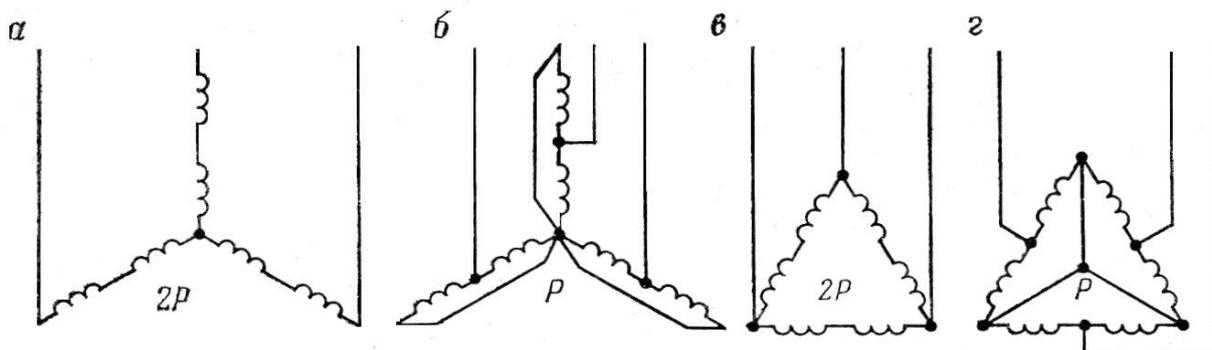


Рис. 6.15 Схемы переключения обмоток статора

При переключении по схеме «звезда-двойная звезда» (рис. 6.15, а и б) регулирование осуществляется практически при постоянном моменте. В этом случае низкая скорость (большее число пар полюсов $2p$) соответствует схеме соединения в «одинарную звезду» (рис. 6.15, а). Переключение на «двойную звезду» (меньшее число полюсов p) осуществляется по схеме (рис. 6.15, б). После переключения сопротивление части обмотки, включенной на напряжение сети, уменьшается **вдвое**, ток возрастает, а следовательно, возрастает **вдвое** мощность двигателя. Но так как одновременно с этим увеличивается **вдвое** скорость, то момент двигателя остается неизменным. Механические характеристики при соединении обмоток в «одинарную звезду» 2 и «двойную звезду» 1 двухскоростного асинхронного двигателя изображены на рис. 6.16.

При переключении по схеме «треугольник-двойная звезда» (рис. 6.15, в и г) регулирование осуществляется практически при постоянной мощности. В этом случае низкая скорость (большее число пар полюсов $2p$) соответствует схеме соединения в «треугольник» (рис. 6.15, в). Переключение на «двойную звезду» (меньшее число полюсов p) осуществляется по схеме (рис. 6.15, г). После переключения сопротивление фазы обмотки и напряжение, приложенное к ней, не изменяется, поэтому ток фазы до и после переключения остается прежним.

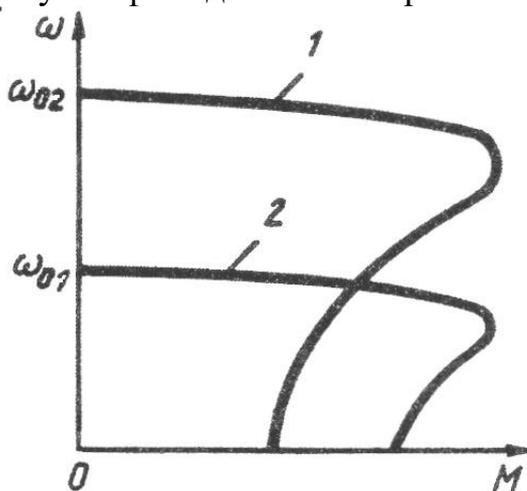


Рис. 6.16 Механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя при переключении по схеме «звезда-двойная звезда»

Так как после переключения скорость увеличится **вдвое**, а мощность останется постоянной, то момент двигателя уменьшится **вдвое** и регулирование будет осуществляться при постоянной мощности. Механические характеристики при соединении обмоток в «треугольник» 1 и «двойную звезду» 2 двухскоростного асинхронного двигателя изображены на рис. 6.17.

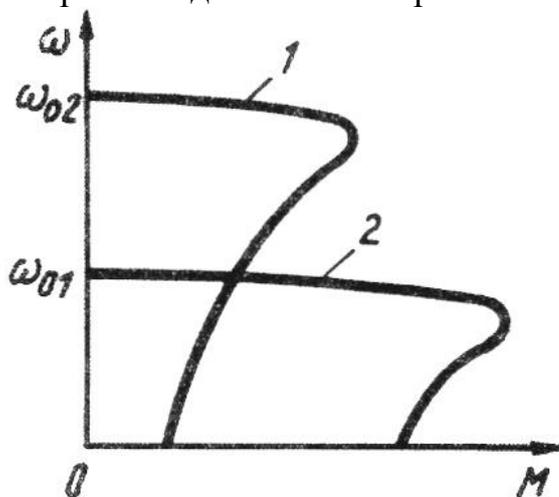


Рис. 6.17 Механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя при переключении по схеме «треугольник-двойная звезда»

Этот способ регулирования скорости характеризуется рядом положительных показателей, что определяет широкое применение в асинхронных электроприводах, и в первую очередь это экономичность, так как процесс изменения скорости не сопровождается выделением в роторной цепи дополнительных потерь энергии, вызывающий излишний нагрев двигателя и ухудшающий его КПД.

Механические характеристики отличаются хорошей жесткостью и достаточной перегрузочной способностью.

Схему переключения «звезда-двойная звезда» целесообразно применять при постоянном моменте нагрузки, а схему «треугольник-двойная звезда» - при нагрузке электроприемников, имеющий характер постоянной мощности.

Недостатком рассмотренного способа является ступенчатость изменения скорости и относительно небольшой диапазон ее регулирования, обычно 1:6-8. Этот способ регулирования применяют в электроприводе конвейеров, толкателей, питателей, вентиляторов и др.

2.3 Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением напряжения

Изменение напряжения, подводимого к статору асинхронного двигателя, позволяет регулировать скорость с хорошими показателями и с помощью простых схем управления, а также обеспечить экономичные режимы работы двигателя.

Для регулирования скорости асинхронного двигателя между сетью переменного тока со стандартным напряжением $U_{1н}$ и статором двигателя 2 (рис.

6.18) включен регулятор напряжения 1, выходное напряжение которого $U_{1\text{рег}}$ изменяется с помощью мало-мощного внешнего сигнала управления U_y в пределах от значения сетевого напряжения $U_{1н}$ и практически до нуля. При этом частота напряжения на двигателе не изменяется и равна стандартной 50 Гц.

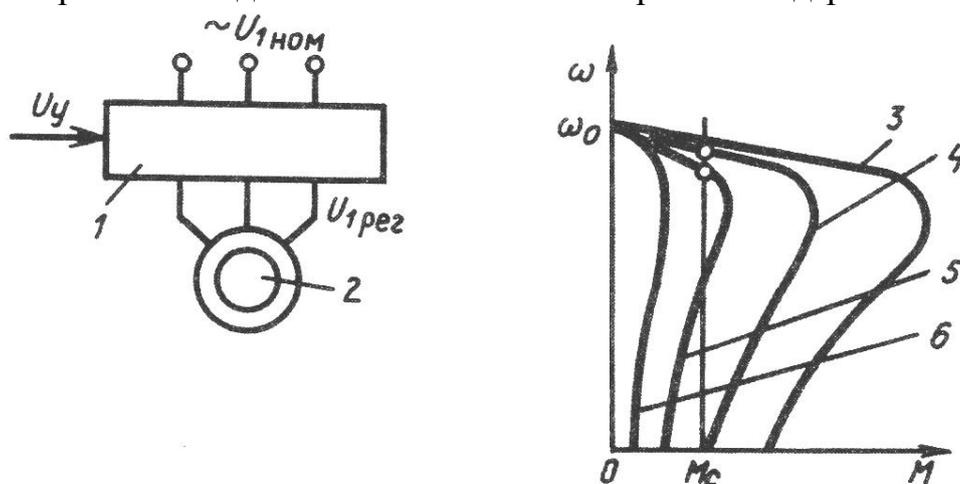


Рис. 6.18 Схема и механические характеристики асинхронного двигателя изменением напряжения на статоре

Изменение напряжения на статоре не приводит к изменению скорости холостого хода $\omega_0 = 2\pi \cdot f/p$ и не влияет на критическое скольжение s_k , но существенно изменяет критический момент M_k . Уменьшение момента M_k происходит пропорционально **квадрату** снижения скорости. В результате искусственные характеристики 3-6 (рис. 6.18), построенные соответственно при напряжениях (1; 0,8; 0,6 и 0,4) $U_{1н}$, оказываются малоприспособными для регулирования скорости, так как по мере уменьшения напряжения резко снижаются критический момент асинхронного двигателя и тем самым его перегрузочная способность, а диапазон регулирования скорости очень мал. Приведенная схема используется весьма редко и только для регулирования натяжения на исполнительном органе рабочей машины.

Для регулирования напряжения на статоре асинхронного двигателя могут использоваться и другие электротехнические устройства - автотрансформаторы, магнитные усилители, а также терристорные регуляторы напряжения (ТРН). Выпускаемые промышленностью ТРН обладают высоким КПД, простотой обслуживания, легкостью автоматизации работы электропривода. ТРН входит в состав распространенной системы электропривода «терристорный регулятор напряжения - асинхронный двигатель» (ТРН-АД).

Для регулирования напряжения используются трехфазные схемы регулирования, состоящие из шести тиристоров VS1... VS6 (рис. 6.19), управляемых импульсами от системы импульсно-фазового управления (СИФУ). Изменяя угол управления, можно регулировать напряжение на нагрузке от полного сетевого напряжения сети до нуля.

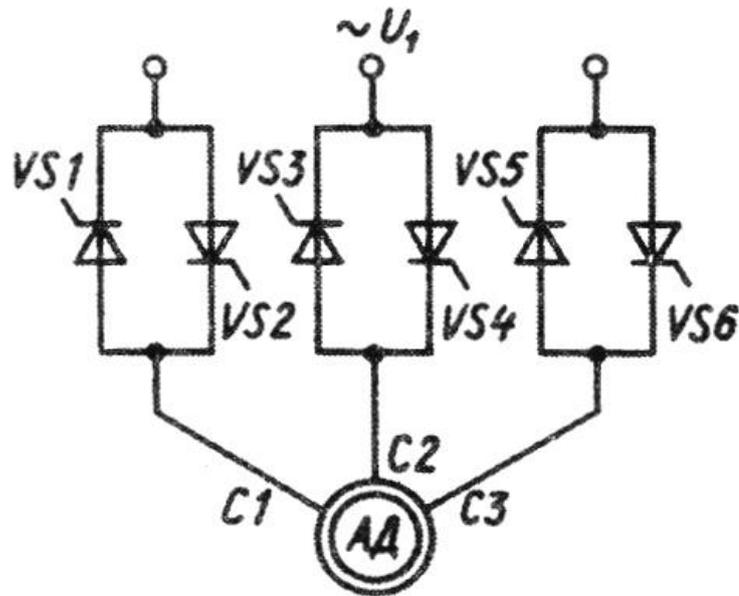


Рис. 6.19 Схема нереверсивного ТРН

ТРН позволяет также осуществлять изменение направления его скорости, т.е. реверс. На рис. 6.20 приведена схема реверсивного ТРН на пяти парах встречно-параллельно включенных тиристоров VS1... VS10.

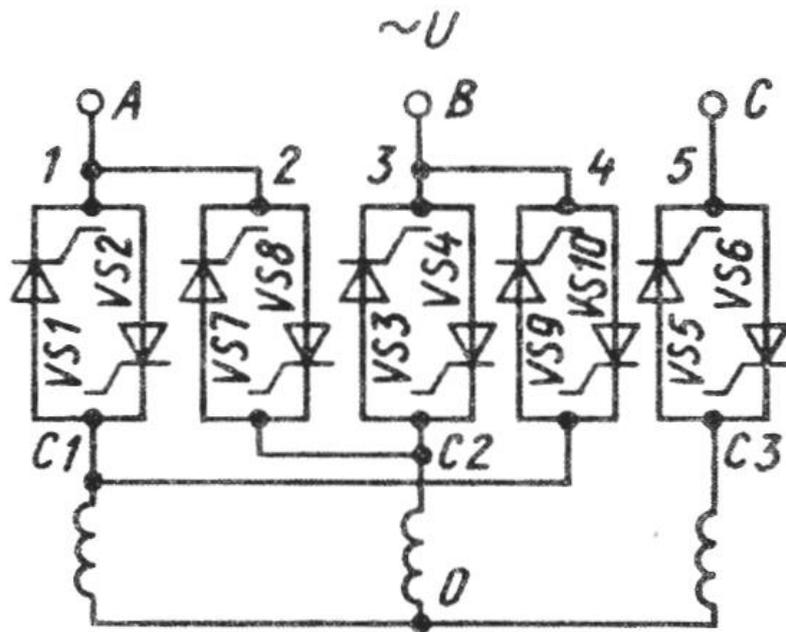


Рис. 6.20 Схема реверсивного ТРН

Если сигналы управления от СИФУ подать на тиристорные пары 1,3 и 5, то на статоре асинхронного двигателя питающее напряжение будет в прямой последовательности фаз сети АВС и двигатель будет вращаться вправо. Если же сигналы управления подать на тиристорные пары 2,4 и 5, а с тиристорных пар 1 и 3 их снять, то будет другая последовательность фаз сетевого напряжения - ВАС, при этом направление вращения двигателя изменится на противоположное. С помощью ТРН можно обеспечивать также электрическое торможение.

2.4 Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением частоты питающего напряжения

Данный способ, называемый также частотным, широко используется для качественного регулирования скорости асинхронных двигателей. Принцип его заключается в том, что изменяя частоту f_1 питающего асинхронный двигатель напряжения, можно в соответствии с выражением $\omega_0 = 2\pi \cdot f / p$ изменять его скорость ω_0 , получая искусственные характеристики. Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а получаемые при этом характеристики обладают высокой жесткостью (рис. 6.21).

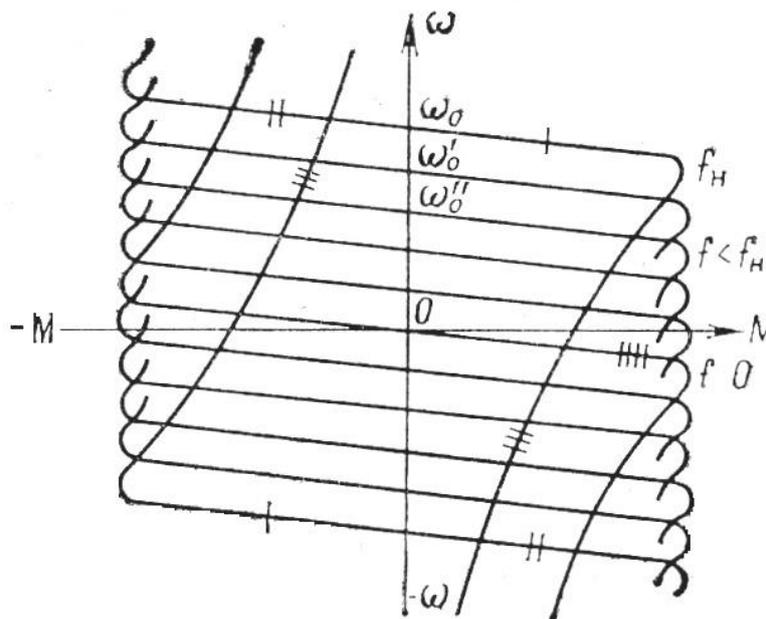


Рис. 6.21 Механические характеристики асинхронного двигателя изменением частоты напряжения на статоре

Механические характеристики обладают большой жесткостью, а регулирование скорости отличается большой плавностью и широким диапазоном. Двумя чертами отмечены характеристики в режиме рекуперативного торможения с отдачей энергии в сеть, тремя - в режиме торможения противовключением и четырьмя - в режиме динамического торможения.

Для лучшего использования и получения высоких энергетических показателей работы асинхронного двигателя (коэффициента мощности, КПД и перегрузочной способности) одновременно с частотой необходимо изменять и подводимое к нему напряжение. Рациональный закон изменения напряжения при этом зависит от характера момента нагрузки M_c .

При постоянном моменте нагрузки $M_c = \text{const}$ напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально его частоте

$$U_1 / f_1 = \text{const}$$

Для вентиляторного характера нагрузки соотношение будет иметь вид

$$U_1 / f_1^2 = \text{const}$$

При большом моменте нагрузки, обратно пропорционально скорости

$$U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const}$$

При реализации частотного способа регулирования скорости используется преобразователь частоты, который позволяет также регулировать и напряжение на статоре.

В электроприводе нашли широкое применение тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока (рис. 6.22).

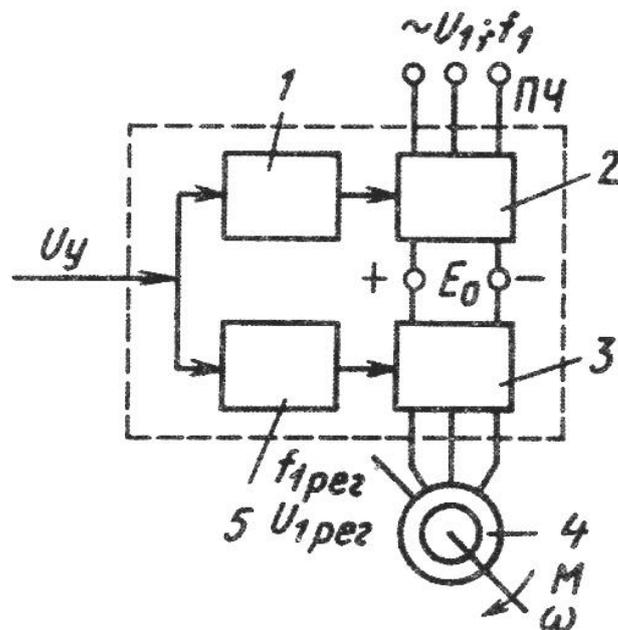


Рис. 6.22 Структурная схема ТПЧ с промежуточным звеном постоянного тока

ТПЧ с промежуточным звеном постоянного тока состоит из двух основных блоков: управляемого выпрямителя 2 и управляемого инвертора 3 с блоками управления 1 и 5. Напряжение сети $U_{1н}$ стандартной частоты f_1 подается на вход управляемого выпрямителя 2, преобразующего переменное напряжение $U_{1н}$ в постоянное E_0 , которое можно регулировать в широких пределах с помощью блока управления 1.

Выпрямленное и регулируемое напряжение E_0 подается на вход инвертора 3, которое преобразует его в трехфазное напряжение $U_{1рег}$ регулируемой частоты $f_{1рег}$, поступающее на двигатель 4. Частота выходного напряжения инвертора $f_{1рег}$ регулируется блоком управления 5 в функции сигнала управления U_y .

На рис. 6.23 приведена схема силовой части электропривода по системе «тиристорный преобразователь частоты - асинхронный двигатель» (ТПЧ-АД) с промежуточным звеном постоянного тока.

В этой схеме на выходе управляемого выпрямителя 1 включены реактор L_0 и конденсатор C_0 фильтра, обеспечивающий вместе с диодами $VD7 \dots VD12$ циркуляцию реактивной мощности. Автономный инвертор напряжения 2 выполнен на тиристорах $VS1 \dots VS6$. Конденсаторы C и реакторы L вместе с диодами $VD1 \dots VD6$ образуют цепи искусственной коммутации, обеспечивающие выключение тиристоров $VS1 \dots VS6$ в нужные моменты времени.

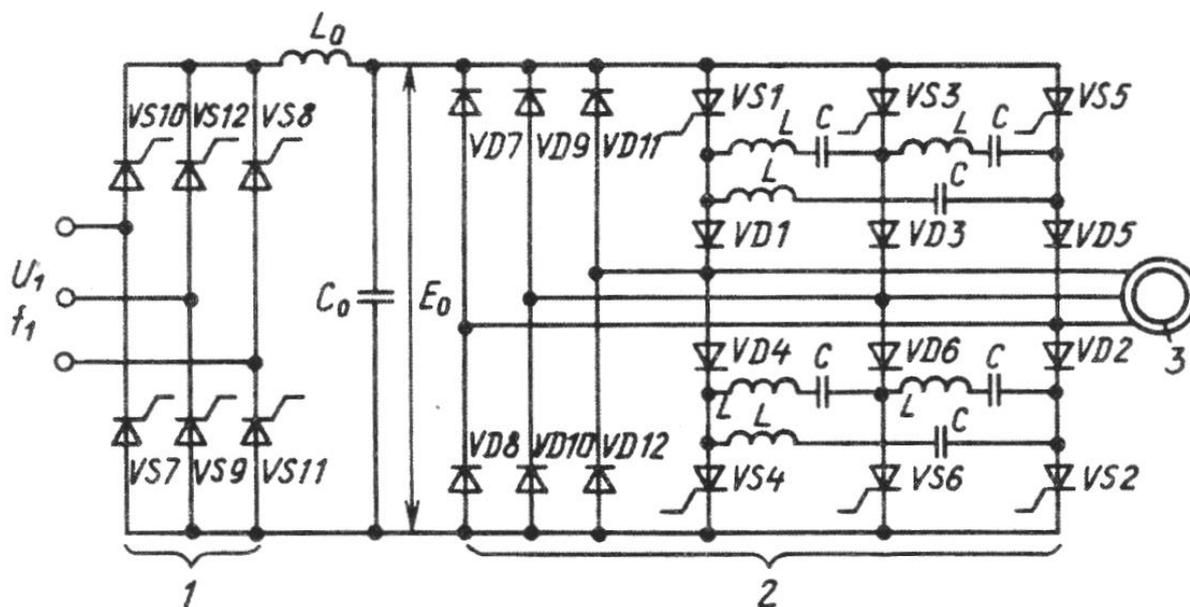


Рис. 6.23 Схема силовой части ТФЧ со звеном постоянного тока

Амплитуда напряжения на выходе инвертора регулируется изменением напряжения E_0 на его входе с помощью блока управления выпрямителем 1, а его частота $f_{\text{рег}}$ определяется частотой коммутации тиристоров VS1 ...VS6, задаваемой блоком управления инвертором.

Частотное управление является весьма экономичным, так как обеспечивает регулирование скорости асинхронного двигателя без больших потерь мощности в роторной цепи, ухудшающий КПД и приводящий к необходимости завышения мощности двигателя.

Реализуемый диапазон регулирования скорости в разомкнутых системах составляет 1:10, а в замкнутых системах его значение может достигать 1:1000 и более.

В силу отмеченных высоких показателей частотный способ находит в настоящее время все более широкое применение. Более того, использование частотно-управляемого асинхронного электропривода в некоторых случаях может быть единственно возможным.

Порядок выполнения работы

1. Изучить основные положения и ознакомиться с типами электроприводов машин и механизмов.
2. Изучить схемы регулирования скорости вращения электродвигателями переменного и постоянного тока
3. Составить отчет о работе с ответами на контрольные вопросы.
4. Произвести исследование рабочих свойств системы «тиристорный преобразователь частоты - асинхронный двигатель» (ТФЧ-АД), частотного регулирования скорости вращения в **разомкнутой системе** привода на лабораторном стенде ИАД-1.

Контрольные вопросы

1. Какие способы регулирования скорости существуют ?
2. Назовите основные показатели, характеризующие способы регулирования скорости ?
3. Какой характер носят взаимоотношения между моментом M и мощностью P в электроприводе современных механизмов и машин ?
4. Какие способы электрического регулирования скорости возможны в двигателях постоянного тока ?
5. Изобразите механические (естественные и искусственные) характеристики двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением при изменении сопротивления реостата в цепи якоря, при шунтировании якоря, при изменении магнитного потока возбуждения, при изменении подводимого напряжения ?
6. Изобразите механические (естественные и искусственные) характеристики двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением при изменении сопротивления реостата в цепи якоря, при шунтировании якоря, при шунтировании обмотки возбуждения ?
7. Для чего двигателя постоянного тока последовательного возбуждения включают между собой в различные схемы ? Нарисуйте эти схемы включения ?
8. Какими достоинствами обладают тиристорные преобразователи, используемые в регулировании скорости двигателей постоянного тока ?
9. Из каких основных элементов современный ТРН ?
10. Изобразите схему реверсивного двухкомплектного ТРН и его механические характеристики ?
11. Какие способы электрического регулирования скорости возможны в асинхронных двигателях ?
12. Изобразите механические (естественные и искусственные) характеристики асинхронных двигателей при введении добавочных резисторов в цепь статора, добавочных резисторов в цепь статора ?
13. Изобразите схемы переключения обмоток статора при регулировании многоскоростных асинхронных двигателей ?
14. Изобразите механические характеристики асинхронных двухскоростных двигателей при переключении по схеме «звезда-двойная звезда», «треугольник-двойная звезда» ?
15. Изобразите механические (естественные и искусственные) характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения на статоре ?
16. Изобразите электрическую схему реверсивного ТРН для регулирования скорости асинхронного двигателя ?
17. Изобразите электрическую схему реверсивного ТПЧ со звеном постоянного тока для регулирования скорости асинхронного двигателя и его механические характеристики ?

3 Исследование разомкнутой системы привода ТПЧ-АД

Исследование рабочих свойств системы «тиристорный преобразователь частоты-асинхронный двигатель» (ТПЧ-АД), частотного регулирования скорости вращения в **разомкнутой системе** привода можно произвести на лабораторном стенде ИАД-1 производства ООО «ТАИС Электра».

В состав стенда входят:

- электромашинный агрегат;
- моноблок системы управления.

Электромашинный агрегат состоит из размещенных на одном валу асинхронного электродвигателя М1, нагрузочной машины М2 и импульсного датчика скорости М3.

Моноблок системы управления состоит из двух лицевых панелей: вертикальной и горизонтальной. Внешний вид панелей лабораторного стенда приведен на рис. 6.24.

На вертикальной лицевой панели расположены:

- автоматический выключатель QF, предназначенный для подачи электропитания на элементы схемы и обеспечения защиты стенда от короткого замыкания;

- цифровой измеритель мощности, подсоединенный к частотному преобразователю ПЧ и измеряющему напряжение питающей сети, ток, потребляемый преобразователем, активную мощность и частоту напряжения сети;

- преобразователь частоты ПЧ типа Altivar 31, предназначенный для управления асинхронным электродвигателем М1;

- цифровой светодиодный индикатор «n, об/мин», отображающий значение частоты вращения асинхронного двигателя М1;

- цифровые светодиодные индикаторы «I_я, А» и «U_я, В», отображающие значение тока и напряжения якоря нагрузочной машины М2.

На горизонтальной лицевой панели расположены:

- мнемосхема электромашинного агрегата, состоящего из исследуемого асинхронного двигателя М1, нагрузочного электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением М2 и датчика скорости М3;

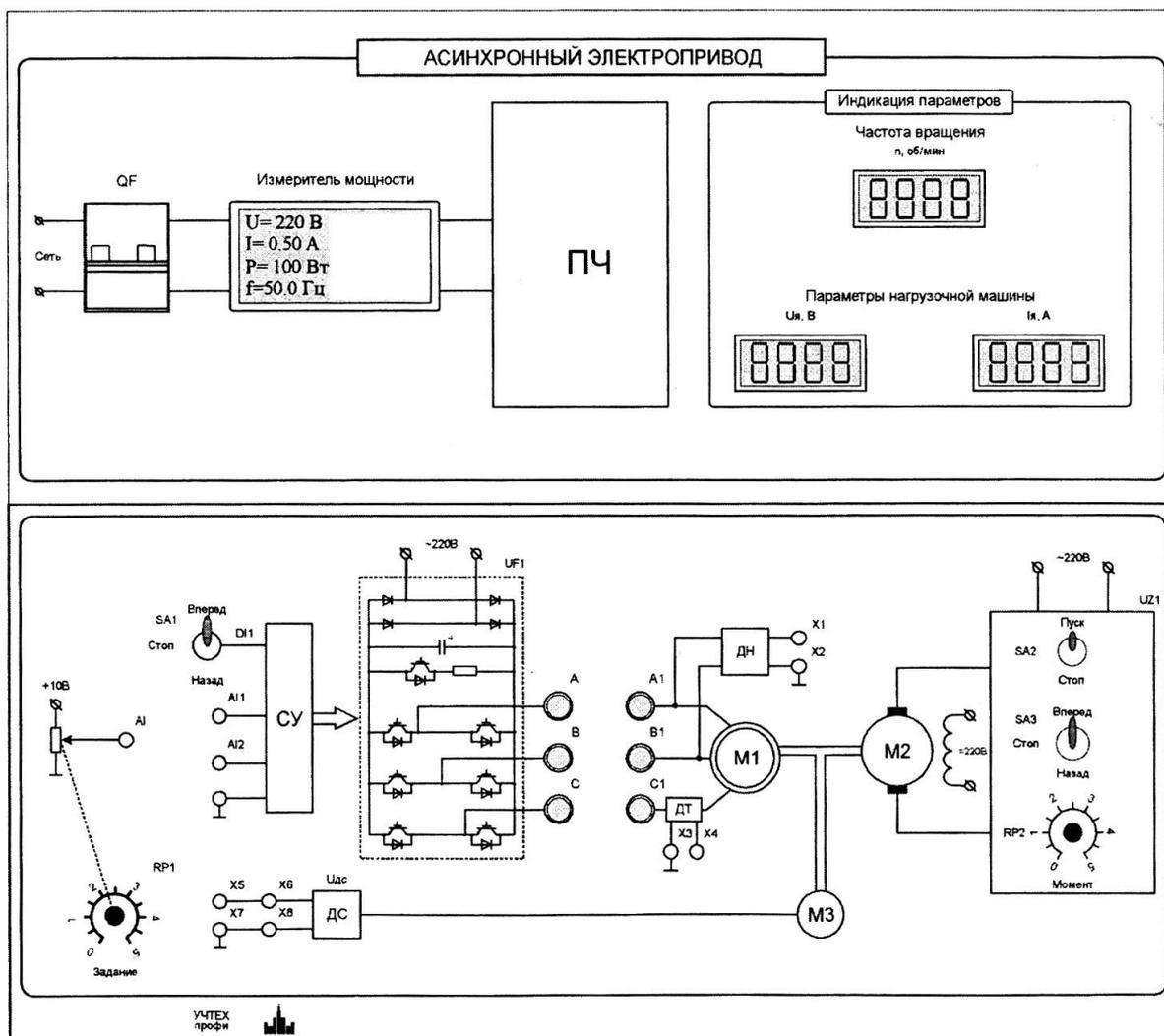


Рис. 6.24 Внешний вид лицевой панели стенда АИД-1

- мнемосхема и система управления преобразователя частоты UF1;
- преобразователь UZ1 нагрузочного двигателя M2, предназначенного для создания активного момента нагрузки асинхронного двигателя M1;
- датчики тока ДТ и напряжения ДН статорной цепи асинхронного двигателя M1, выходные клеммы которых выведены на лицевую панель;
- датчик скорости ДС, предназначенный для создания и настройки замкнутых систем электропривода.

На лицевой панели расположены следующие органы управления:

- тумблер (переключатель) SA2, разрешающий работу преобразователя нагрузочного двигателя M2;
- переключатель SA1 выбора полярности сигнала задания частотного преобразователя (реверс двигателя);
- переключатель SA3 выбора направления нагрузки;
- потенциометр RP1 задания частоты вращения частотного преобразователя;
- потенциометр RP2 задания момента нагрузочного двигателя.

Порядок выполнения исследования

1. Изучить схему для снятия характеристик системы ТПЧ-АД.
2. Снять характеристики разомкнутой системы ТПЧ-АД.
3. Исследовать способы торможения двигателя.
4. Построить энергетические диаграммы разомкнутой системы ТПЧ-АД.

Методические указания

Перед проведением исследования при выключенном автоматическом выключателе QF необходимо привести переключатели и потенциометры, расположенные на лицевой панели моноблока, в исходное состояние:

- переключатели SA1 и SA3 перевести в положение «Стоп»;
- переключатель SA2 (разрешение работы нагрузочной машины M2) в положение «Стоп»;
- потенциометры RP1 и RP2 установить в крайнее положение против часовой стрелки (положение 0);
- установить перемычку (замкнуть проводом) между клеммами AI и AI1.
- установить перемычку (замкнуть проводом) между клеммами A и A1, B и B1, C и C1 из комплекта проводов.

В этой работе исследуется **разомкнутая** система электропривода ТПЧ-АД. Производятся расчеты и строятся характеристики и энергетическая диаграмма.

Схема для исследования разомкнутой системы электропривода ТПЧ-АД представлена на рис. 6.25.

Статорная цепь асинхронного двигателя M1 подключается к выходу преобразователя частоты UF1. Преобразователь частоты UF1 подключен к однофазному напряжению ~220 В через цифровой измеритель мощности.

Тормозные режимы обеспечивает нагрузочная машина M2, подключенная к преобразователю (выпрямителю) UZ1.

Для измерения тока статора, частоты выходного напряжения статора, мощности двигателя и момента асинхронного двигателя M1 используется преобразователь частоты UF1. Параметры можно наблюдать на индикаторе преобразователя частоты. Для этого необходимо войти в меню SUP.

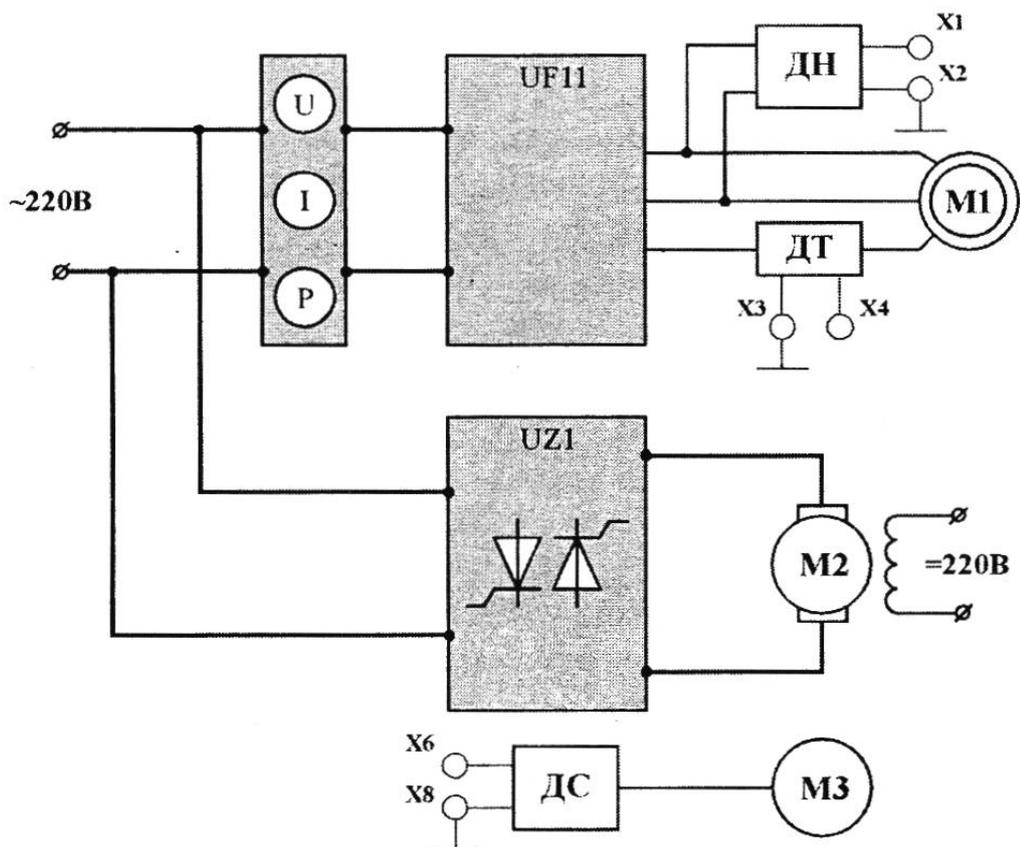


Рис. 6.25 Схема для исследования разомкнутой системы ТПЧ-АД

Измерение тока и напряжения нагрузочной машины M2 осуществляется с помощью индикаторов. Там же можно наблюдать и текущее значение частоты вращения n (об/мин) агрегата.

Для снятия переходных процессов тока, напряжения и частоты вращения системы используются датчики тока ДТ, напряжения ДН и скорости ДС и осциллограф.

3.1 Снятие семейства статических характеристик системы в режиме скалярного управления

Снятие статических характеристик в системе ТПЧ-АД в режиме скалярного управления сводится к управлению по закону $U/f = \text{const}$, по котором критический (максимальный) момент асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения остается постоянным.

Для приведения преобразователя в данный режим следует выполнить следующие действия:

- включить автоматический выключатель QF;
- настроить преобразователь частоты UF1, ввести в преобразователь частоты паспортные данные асинхронного двигателя M1 и двигателя постоянного тока M2 (см. табл. 6.1 и 6.2).
- для приближения статических характеристик к естественным, необходимо в меню Set отключить режимы компенсаций.

Таблица 6.1

Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя

Наименование параметра	Значение
Тип	АИР63В4У3
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение обмотки статора, В	3×380
Номинальная частота вращения, об/мин	1320
Номинальный ток фазы статора, А	1,18
Номинальный ток ротора, А	1,0
cos φ	0,7
Число пар полюсов	2
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление обмотки статора $r_{1,27}$, Ом	19
Активное сопротивление обмотки ротора $r_{2,27}$, Ом	25
Механические потери, $P_{\text{мех.АД}}$, Вт	11

Таблица 6.2

Паспортные и расчетные данные двигателя постоянного тока

Наименование параметра	Значение
Тип	ПЛ-072
Мощность, Вт	180
Номинальное напряжение обмотки якоря, В	220
Номинальное напряжение обмотки возбуждения, В	200
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Номинальный ток якоря, А	1,3
КПД	0,63
Активное сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я},20}$, Ом	17,5
Активное сопротивление обмотки возбуждения $R_{\text{ов},20}$, Ом	820
Механические потери, $P_{\text{мех.ДПТ}}$, Вт	15

Статические характеристики электропривода системы ТПЧ-АД представляют собой зависимости $n = f(M_{\text{в}})$ и $n = f(I_{\text{с}})$ при различных значениях задания частоты тока f .

Опыт производится в следующей последовательности:

- переключателем SA1 выбрать направление вращения;
- потенциометром RP1 задать номинальную частоту 50 Гц, занести первое измерение в табл. 6.3;
- переключатель SA2 перевести в положение «Пуск»;
- переключателем SA3 выбрать направление задания момента нагрузки;
- изменением потенциометра RP2 задавать момент нагрузки. Затем, поменять направление задания нагрузки (переключатель SA3). Данные опыта занести в табл. 6.3;

- повторить опыт для других значений частоты на выходе преобразователя (в соответствии с индивидуальным заданием, приведенным в табл. 6.5).

Таблица 6.3

Данные опыта для частоты $f=50$ Гц

	Момент нагрузки (положение потенциометра RP2)					
	0	1	2	3	4	5
U, В						
I, А						
P, Вт						
U _с , В						
I _с , А						
U _я , В						
I _я , А						
n, об/мин						
S _с , ВА						
ω , 1/с						
$\Delta P_{эл}$, Вт						
$\Delta P_{я}$, Вт						
P _я , Вт						
P _в , Вт						
P _с , Вт						
$\eta_{АД}$,						
cos $\varphi_{АД}$						
M _в , Н·м						

Произвести необходимые расчеты и занести их в таб. 6.3.

1. Полная выходная мощность преобразователя частоты, ВА

$$S = 3 \cdot U_{сф} \cdot I_c,$$

где $U_{сф}$ - фазное напряжение на выходе ТПЧ, В

I_c - ток статорной цепи асинхронного двигателя, А

2. Скорость вращения электродвигателя, 1/с

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

где n - частота вращения электродвигателя, об/мин.

3. Электрические потери в статорной обмотке электродвигателя, Вт

$$\Delta P_{эл} = 3 \cdot I_c^2 \cdot r_c,$$

где r_c - активное сопротивление фазы статора, Ом (таб. 6.1).

4. Электрические потери в цепи якоря двигателя постоянного тока (ДПТ), Вт

$$\Delta P_{яц} = 3 \cdot I_{я}^2 \cdot r_{я}$$

где r_c - активное сопротивление якорной обмотки ДПТ, Ом (таб. 6.2).

I_y - ток якорной цепи ДПТ, А

5. Выходная мощность нагрузочной машины, Вт

$$P_y = U_y \cdot I_y$$

6. Мощность на валу асинхронного двигателя, Вт

$$P_B = P_y + \Delta P_{яц} + \Delta P_{мех ДПТ},$$

где - $\Delta P_{мех ДПТ}$ - механические потери ДПТ (таб. 6.2), Вт

7. Активная выходная мощность ТПЧ, Вт

$$P_c = P_B + \Delta P_{мех АД} + \Delta P_{эл},$$

где - $\Delta P_{мех АД}$ - механические потери АД (таб. 6.1), Вт

8. Коэффициент полезного действия электродвигателя

$$\eta_{АД} = P_B/P_c$$

9. Коэффициент мощности асинхронного двигателя

$$\cos \varphi_{АД} = P_c/S$$

10. Момент на валу асинхронного двигателя, Н·м

$$M_B = P_B/\omega$$

По данным таблицы 6.3 построить характеристики $n = f(M_B)$ и $n = f(I_c)$ при различных значениях задания частоты тока f (по индивидуальному заданию).

3.2 Энергетическая диаграмма разомкнутой системы ТПЧ-АД

По расчетным данным табл. 6.3 для конкретной точки рассчитать и построить энергетическую диаграмму. Результаты расчета для конкретной точки свести в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Результаты расчета для конкретной точки

ω , 1/с	M_B , Н·м	P , Вт	$\Delta P_{пч}$, Вт	P_c , Вт	$\Delta P_{эл}$, Вт	$\Delta P_{мех}$, Вт	P_B , Вт

Примерный вид энергетической диаграммы для двигательного режима представлен на рис. 6.26.

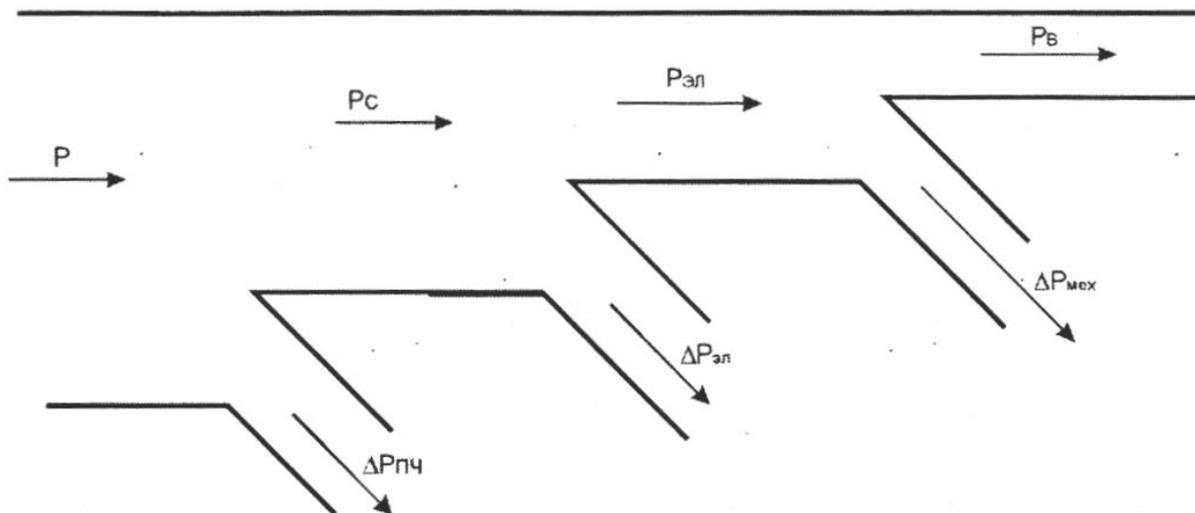


Рис. 6.26 Энергетическая диаграмма разомкнутой системы ТПЧ-АД для двигательного режима

3.3 Исследование способов торможения двигателя в системе ТПЧ-АД

ТПЧ имеет возможность осуществлять различные виды электрического торможения двигателя в зависимости от требований технологического процесса. Так, установленный на стенде программируемый ТПЧ типа Altivar 31, позволяет выполнить следующие способы торможения:

- остановка с заданным темпом;
- быстрая остановка (противовключением);
- остановка на выбеге;
- динамическое торможение.

В этом опыте требуется зафиксировать переходные процессы торможения.

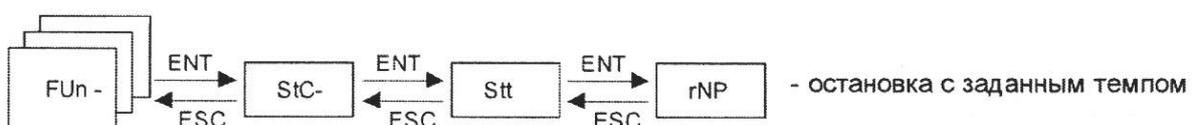
Подключить осциллограф к выходам датчика скорости и тока.

3.3.1 Остановка с заданным темпом

Данный вид остановки осуществляется с **заданным** темпом (временем) торможения.

Опыт проводится в следующей последовательности:

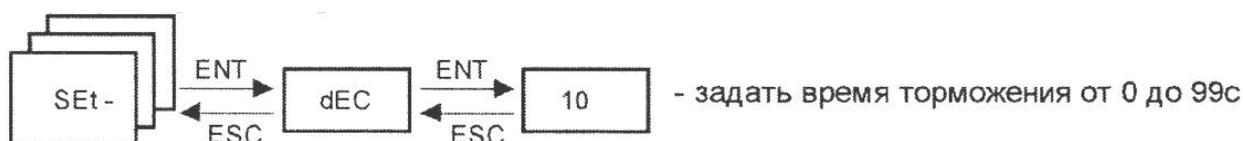
- сбросить параметры ПЧ на заводские;
- ввести паспортные данные асинхронного двигателя;
- отключить режимы компенсации;
- установить в параметре Stt значение rNP;



- переключателем SA1 задать направление вращения;

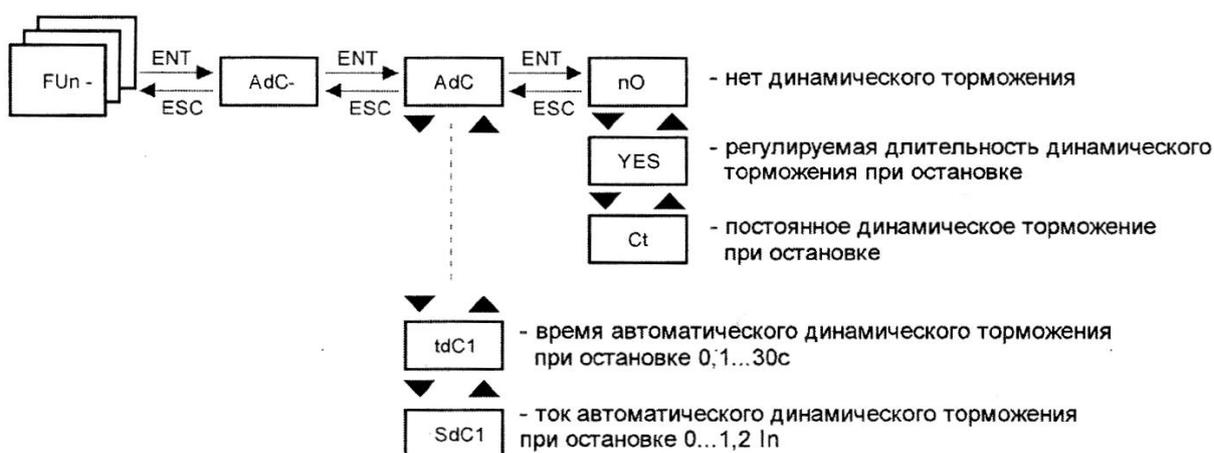
- потенциометром RP1 **здать** максимальную выходную частоту;
- перевести переключатель SA1 в среднее значение и зафиксировать переходный процесс торможения.

Изменить время торможения.



Данный вид торможения может осуществляться с автоматическим динамическим торможением при остановке (в конце замедления) в функции тока статора.

Время и величину тока автоматического динамического торможения при остановке можно изменять. Для этого необходимо зайти в меню Fun.

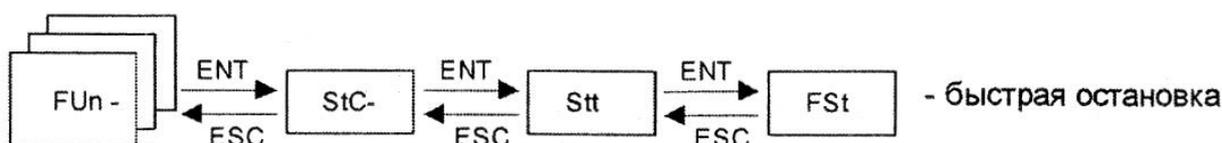


3.3.2 Быстрая остановка

Быстрая остановка - это остановка противовключением с помощью параметра dCF временем торможения.

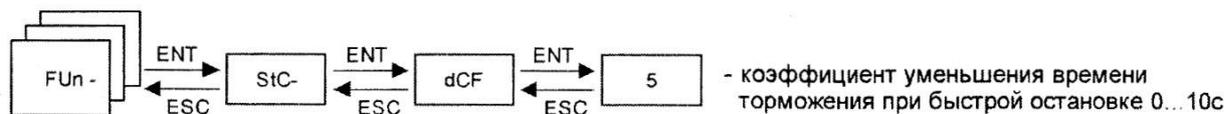
Опыт проводится в следующей последовательности:

- сбросить параметры ПЧ на заводские;
- ввести паспортные данные асинхронного двигателя;
- отключить режимы компенсации;
- установить в параметре Stt значение FSt;



- переключателем SA1 **здать** направление вращения;
- потенциометром RP1 **здать** максимальную выходную частоту;
- перевести переключатель SA1 в среднее значение и зафиксировать переходный процесс торможения.

Изменить коэффициент уменьшения времени торможения при быстрой остановке торможения.

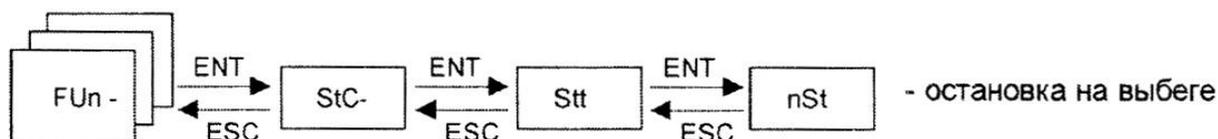


3.3.3 Торможение на выбеге

Данный вид торможения осуществляется за счет механических потерь двигателя.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- сбросить параметры ПЧ на заводские;
- ввести паспортные данные асинхронного двигателя;
- отключить режимы компенсации;
- установить в параметре Stt значение nSt;



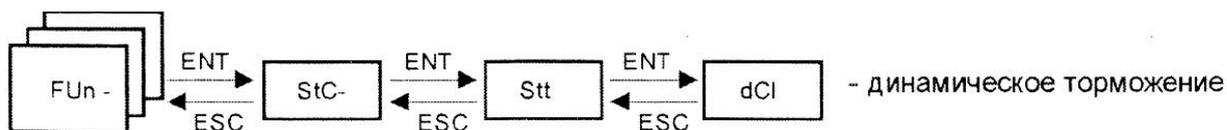
- переключателем SA1 **здать** направление вращения;
- потенциометром RP1 **здать** максимальную выходную частоту;
- перевести переключатель SA1 в среднее значение и зафиксировать переходный процесс торможения.

3.3.4 Динамическое торможение

Данный вид торможения осуществляется путем подачи в статорную цепь постоянного тока.

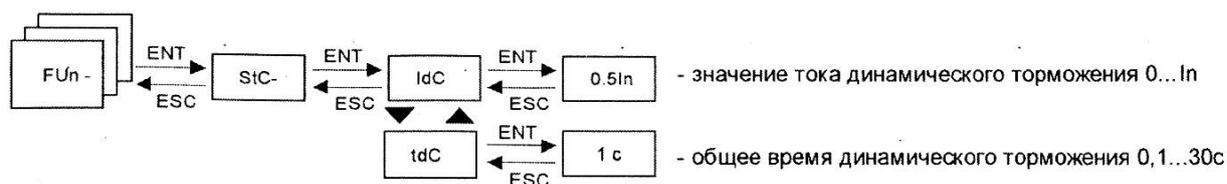
Опыт проводится в следующей последовательности:

- сбросить параметры ПЧ на заводские;
- ввести паспортные данные асинхронного двигателя;
- отключить режимы компенсации;
- установить в параметре Stt значение dCl;



- переключателем SA1 **здать** направление вращения;
- потенциометром RP1 **здать** максимальную выходную частоту;
- перевести переключатель SA1 в среднее значение и зафиксировать переходный процесс торможения.

Величину значения тока и общее время динамического торможения можно изменить в меню Fun.



Контрольные задания

Задание 6.1

1. Вычертить структурную схему для снятия характеристик системы ТПЧ-АД.

2. Снять статические характеристики разомкнутой системы ТПЧ-АД для различных значений частоты f (Гц) на выходе преоб-разователя по индивидуальному заданию, в соответствии с таб. 6.5.

Таблица 6.5

Вариант №	Частота f , Гц	Вариант №	Частота f , Гц
1	45	16	18
2	40	17	13
3	35	18	8
4	30	19	3
5	25	20	49
6	20	21	44
7	15	22	39
8	10	23	34
9	5	24	29
10	48	25	24
11	43	26	19
12	38	27	14
13	33	28	9
14	28	29	4
15	23	30	47

3. Вычертить диаграммы установок параметров при программировании преобразователя на тормозные режимы. Настройку выполнить в соответствии с индивидуальным заданием, приведенным в табл. 6.6 и выполнить все опыты торможения.

Таблица 6.6

Вариант №	Виды торможения			
	Остановка с заданным темпом	Быстрая остановка	Остановка на выбеге	Динамическое торможение
	Время торможения, с	Коэффициент уменьшения времени торможения	-	Время динамического торможения, с; ток динамического торможения 0,1-1 Π_n ,
1	60	10		30; 1,0
2	55	9		28; 0,9
3	50	8		26; 0,8
4	45	7		24; 0,7
5	40	6		22; 0,6
6	35	4		20; 0,5
7	30	3		18; 0,4
8	25	2		16; 0,3
9	20	1		14; 0,2
10	15	10		11; 0,1
11	10	9		12; 1,0
12	5	8		10; 0,9
13	58	7		8; 0,8
14	53	4		6; 0,7
15	48	3		4; 0,5
16	42	2		2; 0,4
17	37	1		29; 0,3
18	32	10		27; 0,2
19	28	9		25; 0,1
20	23	8		23; 1,0
21	18	7		21; 0,9
22	13	6		19; 0,8
23	63	4		17; 0,7
24	65	3		15; 0,6
25	70	2		13; 0,4

4. Построить энергетические диаграммы разомкнутой системы ТПЧ-АД для конкретной точки, указанной в соответствии с индивидуальным заданием в таб. 6.7.

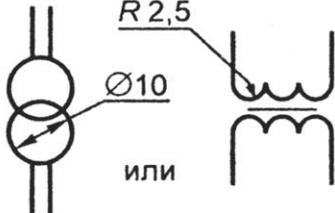
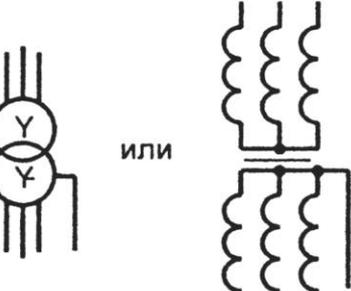
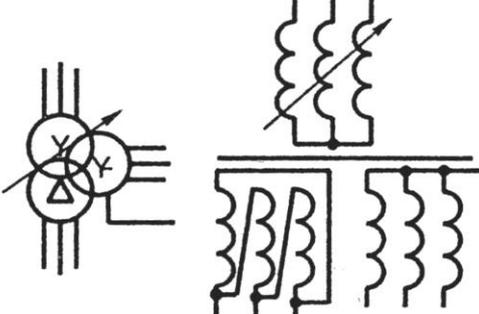
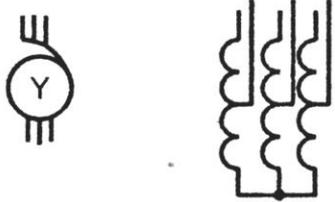
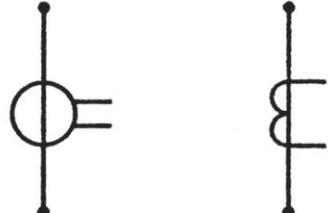
Таблица 6.7

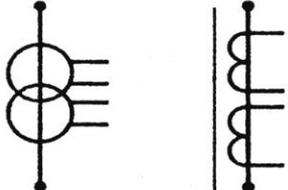
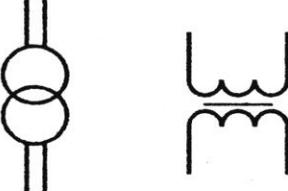
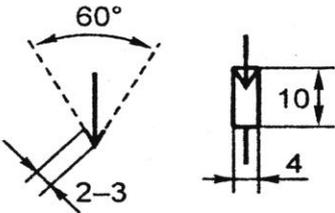
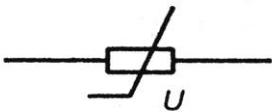
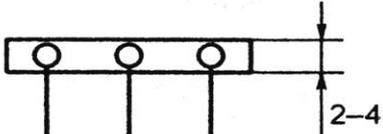
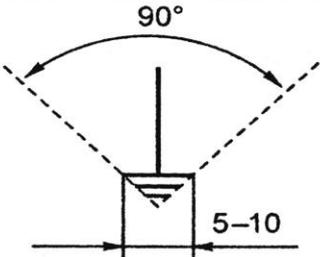
Вариант №	Номер точки (положение реостата RP2)	Вариант №	Номер точки (положение реостата RP2)
1	1	16	1
2	2	17	2
3	3	18	3
4	4	19	4
5	5	20	5
6	1	21	1
7	2	22	2
8	3	23	3
9	4	24	4
10	5	25	5
11	1	26	1
12	2	27	2
13	3	28	3
14	4	29	4
15	5	30	5

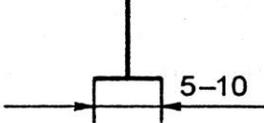
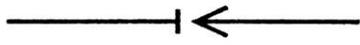
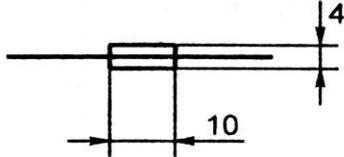
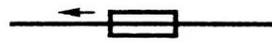
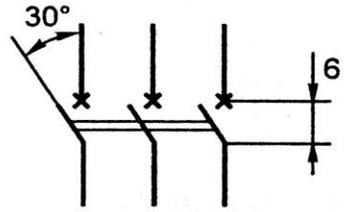
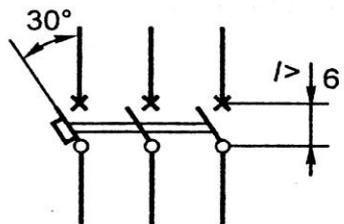
ПРИЛОЖЕНИЕ

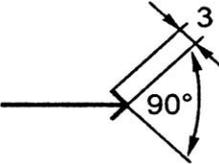
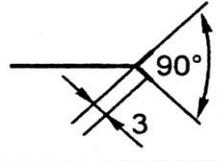
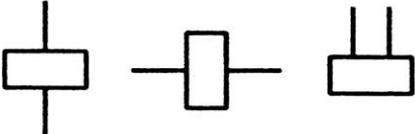
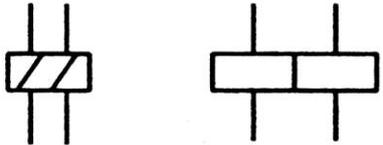
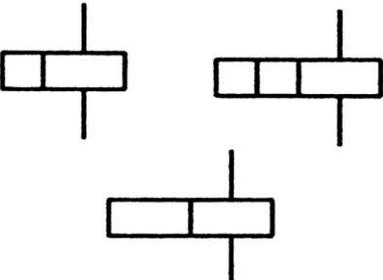
Таблица П1.1

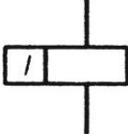
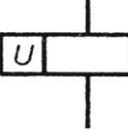
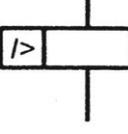
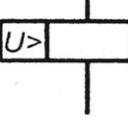
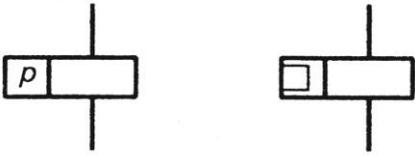
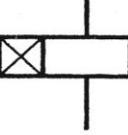
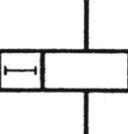
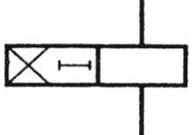
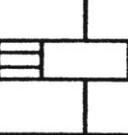
Условные графические и позиционные обозначения основных элементов и устройств на электрических схемах

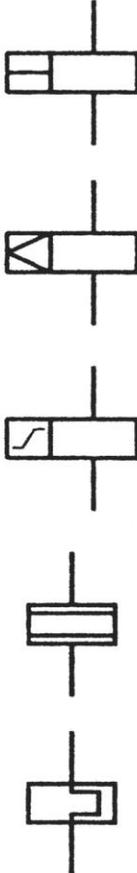
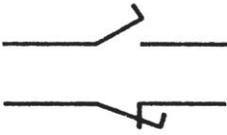
Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
Трансформатор однофазный с магнитопроводом ГОСТ 2.723-68		Т
Трансформатор трехфазный с магнитопроводом, соединение обмоток по схеме «звезда — звезда» с выведенной нейтральной точкой ГОСТ 2.723-68		Т
Трансформатор трехфазный трехобмоточный с магнитопроводом; соединение обмоток «звезда» с регулированием под нагрузкой «треугольник — звезда» с выведенной нейтральной ГОСТ 2.723-68		Т
Автотрансформатор трехфазный с магнитопроводом; соединение обмоток в «звезду» ГОСТ 2.723-68		АТ
Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой ГОСТ 2.723-68		ТА

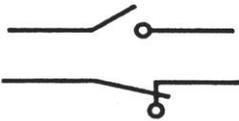
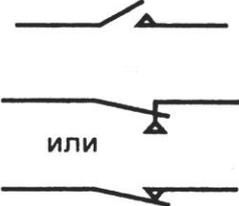
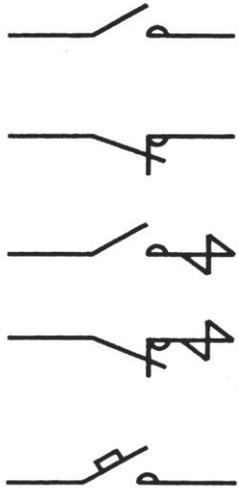
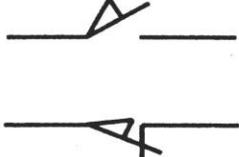
Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
Трансформатор тока с одним магнитопроводом и двумя вторичными обмотками ГОСТ 2.723-68		ТА
Трансформатор напряжения измерительный ГОСТ 2.723-68		TV
Реактор ГОСТ 2.723-68		L
Разрядник. Общее обозначение ГОСТ 2.727-68		FV
Разрядник трубчатый ГОСТ 2.727-68		FV
Разрядник вентильный и магнитовентильный ГОСТ 2.727-68		FV
Разрядник роговой ГОСТ 2.727-68		FV
Варисторный ограничитель перенапряжений ГОСТ 2.721-74		RU
Отводы (отпайки) от шины ГОСТ 2.721-74		
Заземление ГОСТ 2.721-74		

Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
Корпус ГОСТ 2.721-74		
Предохранитель пробивной ГОСТ 2.727-68		FU
Предохранитель плавкий ГОСТ 2.727-68		FU
Предохранитель быстродействующий ГОСТ 2.727-68		FU
Выключатель-предохранитель ГОСТ 2.727-68		QF
Выключатель трехполюсный ГОСТ 2.755-87		QW
Контакт разъединителя ГОСТ 2.755-87		QS
Контакт выключателя-разъединителя ГОСТ 2.755-87		QW
Контакт отделителя ГОСТ 2.755-87		QR
Контакт короткозамыкателя ГОСТ 2.755-87		QN
Контакт выключателя ГОСТ 2.755-87		QW
Выключатель автоматический трехполюсный максимального тока ГОСТ 2.755-87		SF (QF)

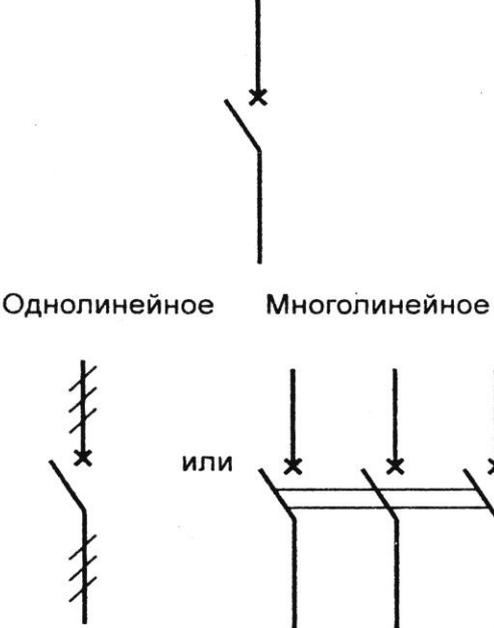
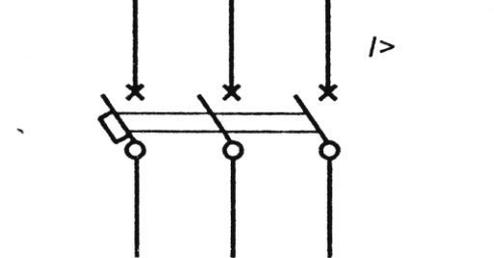
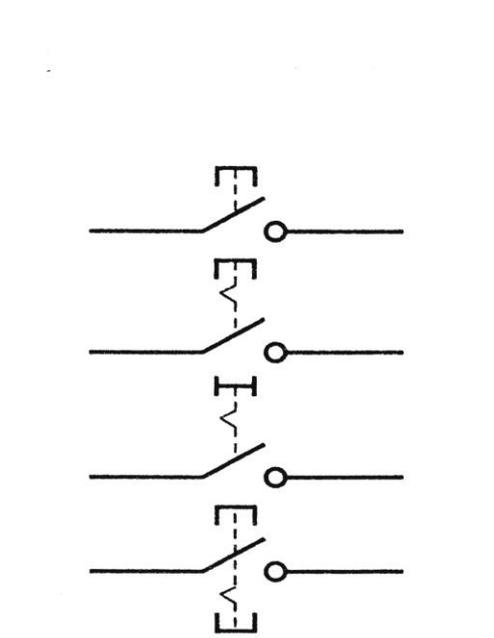
Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
Контакт выключателя неавтоматического ГОСТ 2.755-87		S
Контакт разъёмного соединения (ГОСТ 2.755-87): штырь		XP
гнездо		XS
Обмотка реле, контактора, магнитного пускателя, электромагнита		K
Двухобмоточное реле		K
При разнесенном способе изображения каждой обмотки многообмоточного реле информация дается в виде следующих обозначений		
При отсутствии дополнительной информации в основном поле допускается указывать в этом поле уточняющие данные		
Для указания уточняющих данных об обмотке реле рядом с основным полем условного обозначения образуются дополнительные графические поля (одно, два или двойное):		

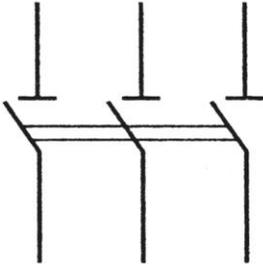
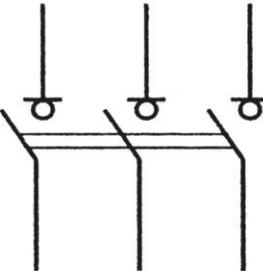
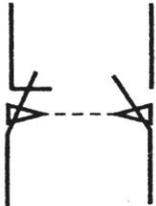
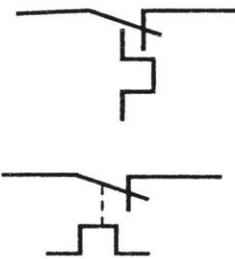
Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
1. Обмотка тока сложных реле, в том числе реле тока		
2. Обмотка напряжения, в том числе реле напряжения		
3. Обмотка реле максимального тока		
4. Реле минимального напряжения		
5. Обмотка поляризованного реле		
6. Обмотка реле с указанием выдержки времени:		
6.1. Замедление при действии реле		
6.2. Замедление при отпуске реле		
6.3. Замедление при действии и отпуске реле		
6.4. Обмотка реле, работающего с ускорением при действии реле		

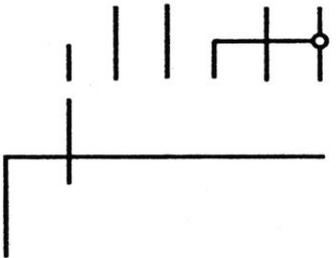
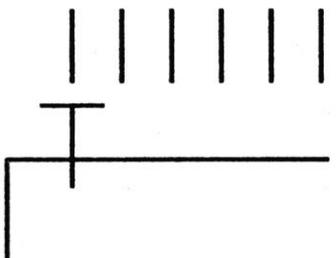
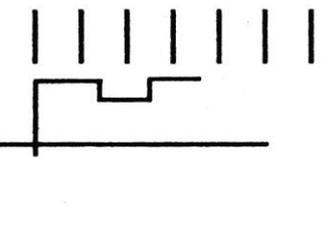
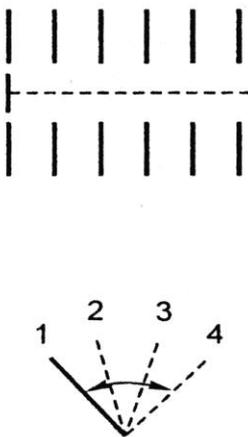
Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
<p>6.5. Обмотка реле, работающего с ускорением при действии и отпуске реле</p> <p>6.6. Обмотка электромеханического устройства, имеющего механическую блокировку</p> <p>6.7. Обмотка катушки электромеханического устройства, обладающая остаточным намагничиванием</p> <p>7. Катушка электромеханического устройства, не чувствительного к переменному току</p> <p>8. Воспринимающая часть электротеплового реле</p>		
<p>Контакт в контактной группе, срабатывающий раньше по отношению к другим контактам группы (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) замыкающий</p> <p>2) размыкающий</p>		
<p>Контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим контактам группы (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) замыкающий</p> <p>2) размыкающий</p>		

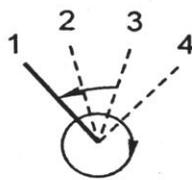
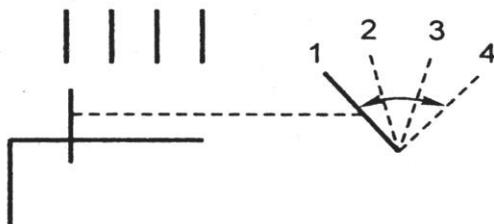
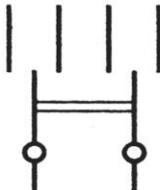
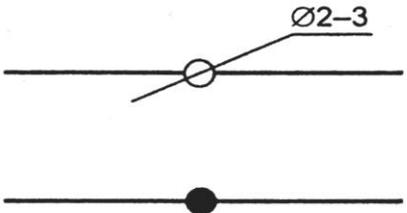
Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
<p>Контакт без самовозврата (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) замыкающий</p> <p>2) размыкающий</p>		
<p>Контакт с самовозвратом (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) замыкающий</p> <p>2) размыкающий</p>		
<p>Контакт переключающий с нейтральным положением и самовозвратом из левого положения и без возврата из правого положения (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Контакт контактора (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) замыкающий</p> <p>2) размыкающий</p> <p>3) замыкающий дугогасительный</p> <p>4) размыкающий дугогасительный</p> <p>5) замыкающий с автоматическим срабатыванием</p>		
<p>Контакт концевого выключателя (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) замыкающий</p> <p>2) размыкающий</p>		

Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
<p>Контакт, замыкающий с замедлением, действующий:</p> <p>1) при срабатывании</p> <p>2) при возврате</p> <p>3) при срабатывании и возврате. Замедление происходит при движении в направлении от дуги к ее центру (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Контакт, размыкающий с замедлением, действующий:</p> <p>1) при срабатывании</p> <p>2) при возврате</p> <p>3) при срабатывании и возврате. Замедление происходит при движении в направлении от дуги к ее центру (ГОСТ 2.755-87)</p>		

Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
<p>Контакт замыкающий выключателя (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) однополюсный</p> <p>2) трехполюсный</p>	 <p>Однолинейное Многолинейное</p> <p>или</p>	
<p>Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Контакт замыкающий нажимного кнопочного выключателя без самовозврата с размыканием и возвратом элемента управления (ГОСТ 2.755-87):</p> <p>1) автоматически</p> <p>2) посредством вторичного нажатия кнопки</p> <p>3) посредством вытягивания кнопки</p> <p>4) посредством отдельного привода (например нажатия кнопки «сброс»)</p>		

Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
Разъединитель трехполюсный (ГОСТ 2.755-87)		
Выключатель-разъединитель трехполюсный (ГОСТ 2.755-87)		
Выключатель ручной (ГОСТ 2.755-87)		
Выключатель концевой с двумя отдельными цепями (ГОСТ 2.755-87)		
<p>Выключатель термический саморегулирующий</p> <p><i>Примечание.</i> Следует делать различие в изображении контакта и контакта термореле, изображенного следующим образом (ГОСТ 2.755-87)</p>		
Переключатель однополюсный многопозиционный (пример шестипозиционного)		

Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
<p><i>Примечание.</i> Позиции переключателя, в которых отсутствуют коммутируемые цепи, или позиции, соединенные между собой, обозначают короткими штрихами (пример шестипозиционного переключателя, не коммутирующего электрическую цепь в первой позиции и коммутирующего одну и ту же цепь в четвертой и шестой позициях), ГОСТ 2.755-87</p>		
<p>Переключатель однополюсный, шестипозиционный с безобрывным переключателем (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Переключатель однополюсный, многопозиционный с подвижным контактом, замыкающим три цепи, исключая одну промежуточную (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Переключатель многопозиционный независимых цепей (пример шести цепей)</p> <p><i>Примечания.</i> При необходимости указания ограничения движения привода переключателя применяют диаграмму положения, например:</p> <p>1) привод обеспечивает переход подвижного контакта переключателя от позиции 1 к позиции 4 и обратно;</p>		

Наименование	Обозначение	Позиционное обозначение
<p>2) привод обеспечивает переход подвижного контакта переключателя от позиции 1 к позиции 4 и далее в позицию 1; обратное движение возможно только от позиции 3 к позиции 1</p>		
<p>Диаграмму положения связывают с подвижным контактом переключателя линией механической связи (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Переключатель двухполюсный, трехпозиционный с нейтральным положением (ГОСТ 2.755-87)</p>		
<p>Контакт разъемного соединения (ГОСТ 2.755-87):</p>		
<p>1) разборный</p> <p>2) неразборный</p>		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Практическое занятие №1. Определение махового момента и момента инерции системы электропривода	4
Лабораторное занятие №2. Расчет и построение механических характеристик асинхронных электродвигателей с фазным ротором. Выбор регулировочных резисторов	15
Лабораторное занятие №3. Расчет и построение механических характеристик электродвигателей постоянного тока в различных режимах. Выбор пусковых резисторов	24
Лабораторное занятие №4. Расчет мощности и выбор электродвигателей	54
Лабораторное занятие №5. Изучение автоматических схем управления пуска, торможения и реверсирования электродвигателями	89
Лабораторное занятие №6. Изучение автоматических схем регулирования скорости электродвигателями	115
Приложение	153