

**Қостанай облысы әкімдігі білім басқармасының
«Қостанай жоғары политехникалық колледжі» КМҚК
КГКП «Костанайский политехнический высший колледж»
Управления образования акимата Костанайской области**

Рассмотрено на заседании ЦМК

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по НМР

Протокол № ____ “__” _____ 20__ г.

“__” _____ 20__ г.

(подпись) (расшифровка подписи)

(подпись) (расшифровка подписи)

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ**

«МОО 01 «Микропроцессорная техника в электроприводе»

Специальности 0911000 «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт
электрического и электромеханического оборудования» (по видам)



Костанай, 2019 г

Содержание.

Теоретическая часть

Раздел 1. Разомкнутые системы управления электроприводом.....	3
Тема 1. Введение. Элементы и устройства разомкнутых систем управления электроприводами.....	3
Тема 2. Разомкнутые системы управления электроприводами постоянного тока.....	4
Тема 3. Разомкнутые системы управления электроприводами переменного тока.....	5
Тема 4. Типовые узлы защиты электроприводов.....	6
Раздел 2. Замкнутые системы автоматического управления электроприводами.....	11
Тема 5. Элементы и устройства замкнутых систем управления электроприводами.....	11
Тема 6. Замкнутые системы управления электроприводами постоянного тока.....	14
Тема 7. Замкнутые системы управления электроприводами переменного тока.....	16
Тема 8. Аналоговые элементы управления и датчики.....	21
Тема 9. Дискретные элементы управления и датчики.....	25
Раздел 3. Система автоматического регулирования скорости электропривода постоянного тока.....	27
Тема 10. Контур регулирования тока якоря.....	27
Тема 11. Контур регулирования скорости.....	31
Тема 12. Ограничение переменных в динамических режимах.....	32
Раздел 4. Замкнутые системы автоматического регулирования скорости электроприводов переменного тока.....	34
Тема 13. Асинхронный электропривод с регулированием напряжения на статоре.....	34
Тема 14. Системы скалярного управления частотно-регулируемого асинхронного двигателя.....	38
Тема 15. Системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного двигателя.....	43
Тема 16. Типовые системы управления электроприводом тиристорный преобразователь ..	47
Тема 17. Управление синхронным двигателем.....	55
Раздел 5. Микропроцессорные средства управления электроприводами.....	58
Тема 18. Применение средств микропроцессорной техники в системах управления электроприводами.....	58
Тема 19. Программно-регулирующие контроллеры в электроприводах.....	62
Тема 20. Классификация программно-регулирующие контроллеры в электроприводах....	68
Диагностико-контролирующий блок.....	71
Описание проверочных испытаний в соответствии с результатами обучения (по разделам).....	71
Контрольный лист.....	76
Тестовые задания.....	77
Тематика рефератов и докладов.....	90
Вопросы для итогового контроля.....	91
Литература.....	92

Раздел 1. Разомкнутые системы управления электроприводом.

Тема 1. Введение. Элементы и устройства разомкнутых систем управления электроприводами

К разомкнутым относятся схемы управления электропривода, в которых не используются обратные связи по его координатам или технологическим параметрам. Тем самым управление в таких схемах осуществляется без контроля за фактическим изменением регулируемых координат, т.е. без учета результатов управления. Эти схемы, отличаясь простотой реализации, используются в тех случаях, когда не требуется высокое качество управления движением электроприводов, в частности для пуска, реверса и торможения двигателей и при невысоких требованиях к точности и диапазону регулирования переменных (координат) двигателей.

В таких схемах управления в основном используются релейноконтакторная аппаратура и полупроводниковые коммутационные аппараты (бесконтактные пускатели).

Автоматизация работы этих схем осуществляется за счет использования информации о времени, токе, скорости или ЭДС двигателей и положении их вала, которая получается от соответствующих датчиков или самого двигателя. Тот или иной вид используемой при автоматизации работы схемы информации определяет принципы управления, к которым относятся принципы времени, тока, скорости, ЭДС и положения (пути). Часто в разомкнутых схемах используется сочетание принципов управления: например, пуск двигателя осуществляется по принципу времени, а его торможение — по принципу ЭДС или скорости.

Разомкнутые схемы применяются и для регулирования скорости при невысоких требованиях к качеству регулирования. Силовая часть таких электроприводов строится по структуре «управляемый преобразователь — двигатель», а задача регулирования (ограничения) тока и момента двигателей в переходных процессах решается за счет включения в схему управления дополнительного устройства, называемого задатчиком интенсивности. Это устройство, обеспечивая плавное изменение в переходных процессах управляющего воздействия на двигатель (напряжения, его частоты или того и другого) по линейному или экспоненциальному законам, обеспечивает формирование требуемых графиков координат (переменных) электропривода.

Разомкнутые схемы, кроме функций управления, обеспечивают защиту электроприводов, питающей сети и технологического оборудования при возникновении различных аномальных режимов — коротких замыканиях, перегрузке двигателей, исчезновении питающего напряжения или обрыве фазы питающей сети, а также соответствующую сигнализацию. Для этого они содержат аппараты и устройства, находящиеся во взаимодействии с устройствами управления двигателями. Такие схемы управления, защиты и сигнализации серийно выпускаются электротехнической промышленностью в виде панелей, шкафов и блоков управления и других подобных комплектных устройств.

Контрольные вопросы:

1. К разомкнутым относятся схемы управления электропривода
2. Разомкнутые схемы, кроме функций управления, обеспечивают
3. Разомкнутые схемы применяются

Тема 2. Разомкнутые системы управления электроприводами постоянного тока.

Разомкнутая система регулируемого ЭП (рис. 1.13) характеризуется тем, что на ее вход не подается информация о текущем состоянии выходной величины, например угловой скорости. Поэтому все внешние возмущения в виде, например, изменения момента нагрузки, напряжения питания влияют на выходную координату ЭП, снижая тем самым стабильность ее поддержания. По этой причине разомкнутые системы регулируемого ЭП, отличаясь простотой реализации, нашли в основном применение для обеспечения автоматического пуска, торможения или реверса ЭП, а также

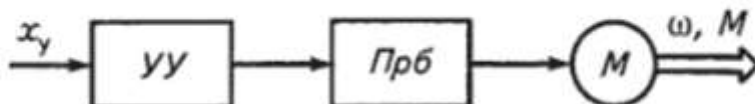


Рис.1.13. Функциональная схема разомкнутой системы регулируемого ЭП:

x_y — сигнал управления; УУ— устройство управления; Прб — преобразователь

в тех случаях, когда не предъявляют повышенные технологические требования к стабильности выходной координаты ЭП.

В разомкнутых системах регулируемого ЭП механическая характеристика и приводные свойства ЭП полностью определяются типом используемого электродвигателя и принятыми для него параметрами регулирования.

Так, для асинхронного ЭП такие параметры (способы) воздействия на угловую скорость двигателя согласно (1.20)...(1.23) — это частота напряжения (тока) питания, число полюсов обмотки статора, скольжение.

Рассмотрим пример данных систем на примере системы управления машиной постоянного

При использовании разомкнутой системой управления напряжение U_y регулируется с помощью потенциометра или другого устройства. При разомкнутом управлении выходное напряжение U_x не отслеживается и считается что оно пропорционально заданному U_y .

При использовании замкнутых систем управления U_y будет представлять из себя разность между сигналом задания и сигналом, пропорциональным регулируемой координате. При регулировании тока:

Здесь формирование сигнала управления U_y будет представлять собой разницу между реальным током якоря и заданием по току, приходящему из вне.

Ниже показана аналоговая схема управления, которая может быть применена как в разомкнутой, так и в замкнутой системе управления:

Положение перекидного переключателя ПП определит тип – разомкнутая или замкнутая. В первом случае напряжение U_y будет зависеть от напряжения задания, которое снимается с потенциометра П1 и преобразуется операционными усилителями ОУ1 и ОУ2. В замкнутой же напряжение с потенциометра П1 будет представлять сигнал задания по току $I_{з.т}$. Сигнал

I_a – это напряжение, которое пропорционально якорному току, как вы поняли электродвигателя постоянного тока.

На ОУЗ(операционном усилителе) фильтр нужен для сглаживания пульсации тока. Регулятор пропорционально-интегральный (ПИ регулятор) обеспечит необходимое быстродействия системы, а также нужные коэффициенты усиления. Что бы ограничить сигнал, который поступает на ОУ2, заданным максимальным значением используют стабилитрон VD1. Параметры номинальные схемы, указанной выше, являются частным случаем и не являются обязательными для применения в других электроприводах. Свойства электропривода в значительной степени будут зависеть от выбранных проектировщиком постоянных времени узлов и, соответственно, коэффициентов усиления.

Контрольные вопросы:

1. Разомкнутая система регулируемого ЭП
2. Функциональная схема разомкнутой системы регулируемого ЭП
3. При использовании замкнутых систем управления U_y будет

Тема 3. Разомкнутые системы управления электроприводами переменного тока

Как правило, двухкомплектные тиристорные преобразователи управляются замкнутыми системами управления. Принцип использования замкнутых систем управления применим и к частотным электроприводам. Более детально рассмотрим принцип работы замкнутой системы управления на примере двухкомплектного тиристорного преобразователя, предназначенного для питания электродвигателя постоянного напряжения.

Ограничение тока

Якорная цепь машин постоянного напряжения, как правило, имеют очень малое сопротивление, что делает необходимой установку в цепь управления якоря различных токоограничивающих звеньев. На рисунке ниже показаны два основных способа ограничения тока:

Внутренний контур регулирования тока

В системах автоматического регулирования, имеющих внутренний контур регулирования тока (I_a), задающим сигналом для контура I_a будет сигнал рассогласования по скорости. Ограничения тока якоря машины будет обуславливаться максимально допустимым значением I_a для конкретной машины и не будет зависеть от величины сигнала рассогласования по скорости. Проще говоря, максимальное значение I_a никогда не будет превышено в не зависимости от величины сигнала от регулятора скорости. В такой системе контур регулирования тока будет подчинен контуру регулирования скорости, поэтому такие системы часто называют системами подчиненного регулирования (СПР). При этом контур регулирования I_a будет функционировать постоянно и обеспечивать целый ряд преимуществ, таких как: линейность характеристики вход/выход преобразователя, его быстродействие, а также ограничивать помехи питающей сети.

Внешний контур регулирования тока

В системах автоматического регулирования, имеющих внешний контур регулирования тока (I_a), сигнал обратной связи по I_a проходит через токоограничивающий усилитель, где его

значение сравнивается с максимально допустимым для электрической машины, после чего сигнал поступает на вход регулятора скорости. В случае, если значение I_a не превышает заданного, уровень выходного сигнала токоограничивающего усилителя будет равным нулю и работать будет только контур регулирования скорости. Если же значение I_a электродвигателя превысит максимально допустимое значение, на выходе токоограничивающего усилителя появится сигнал, который будет подавлять сигнал управления по скорости и обеспечивать режим управления с постоянным током машины. В такой системе присутствует лишь один постоянно работающий контур регулирования – контур скорости, что делает такую систему проще с точки зрения расчетов и проектирования, но лишает преимуществ, присущих рассмотренной выше двухконтурной системе.

Количество блоков управления

Двухкомплектный тиристорный преобразователь может потребовать два отдельных блока управления – отдельный блок на каждый комплект вентиляей. Однако, в случае использования раздельного управления в работе будет только один комплект вентиляей. Поэтому для данного случая может использоваться один блок управления.

Выбор принципа построения системы управления

Чтобы обеспечить плавный реверс тока в двухкомплектном тиристорном преобразователе в момент переключения комплектов выходное напряжение на зажимах электрической машины и выходное напряжение тиристорного преобразователя должны быть равны. Для того чтобы добиться этого используют следующие методы:

- Обратная связь по напряжению электрической машины;
- Сдвиг фазы управляющих импульсов;

Для реализации рекуперативного торможения, а также для непрерывного регулирования скорости в прямом и обратном направлениях необходимы замкнутые системы автоматического регулирования. Выбор принципов управления замкнутыми системами двухкомплектных тиристорных электроприводов напрямую зависит от требований, предъявляемых к электроприводу. Например, проектировщик может выбрать два блока управления, обратную связь по напряжению и применить внешний контур регулирования тока, или же, один блок управления комплектами, сдвиг фазы управляющих импульсов, внутренний контур регулирования тока.

Контрольные вопросы:

1. Ограничение тока
2. Внутренний контур регулирования тока
3. Внешний контур регулирования тока
4. Выбор принципа построения системы управления

Тема 4. Типовые узлы защиты электроприводов.

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

Типовая схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени. Эта схема (рис. 10.25, а) включает в себя кнопки управления SB1 (пуск) и SB2 (останов, стоп ДПТ), линейный контактор KM1, обеспечивающий подключение

двигателя к сети, и контактор ускорения КМ2 для выключения (закорачивания) пускового резистора R_d . В качестве датчика времени в схеме используется электромагнитное реле времени КТ. При подключении схемы к источнику питания происходит возбуждение ДПТ и срабатывает реле КТ, размыкая свой контакт в цепи катушки контактора КМ2 и подготавливая двигатель к пуску.

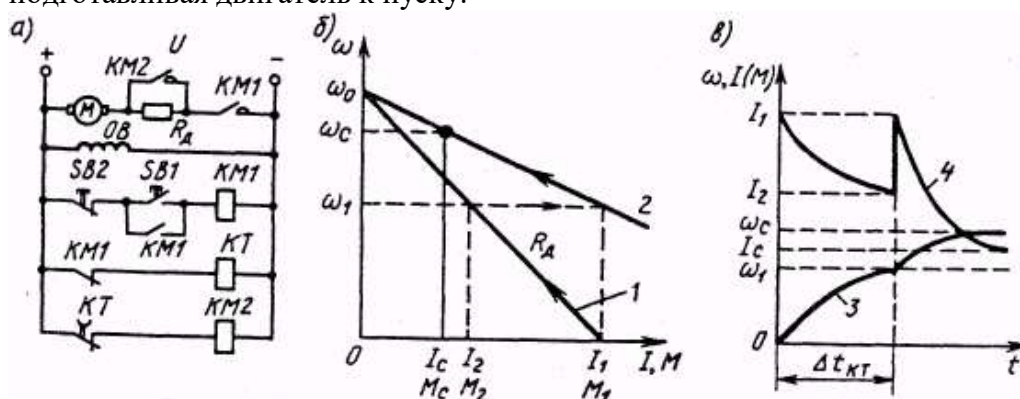


Рис. 10.25

При нажатии кнопки SB1 получает питание контактор КМ1, который своим главным контактом подключает двигатель к источнику питания. Двигатель начинает разбег с включенным резистором R_d в цепи якоря. Одновременно замыкающий блок-контакт контактора КМ1 шунтирует кнопку SB1 и она может быть отпущена, а размыкающий блок-контакт КМ1 разрывает цепь питания катушки реле времени КТ. После прекращения питания катушки реле времени через интервал времени Δt_{KT} , называемый выдержкой времени, размыкающий контакт КТ замкнется в цепи катушки контактора КМ2, последний включится и главным контактом закоротит пусковой резистор R_d в цепи якоря. Таким образом, при пуске двигателя в течение времени Δt_{KT} разгоняется по искусственной характеристике 1 (см. рис. 10.25, б), а после шунтирования резистора R_d – по естественной характеристике 2. Сопротивление резистора R_d выбирается таким образом, чтобы в момент включения двигателя ток I_1 в цепи и соответственно момент M_1 не превосходили допустимого уровня.

За время Δt_{KT} после начала пуска скорость вращения двигателя (кривая 3) достигает значения ω_1 , а ток в цепи якоря (кривая 4) снижается до уровня I_2 (см. рис. 10.25, в). После шунтирования резистора R_d ток в цепи якоря скачком возрастает до значения I_1 не превышающего допустимого уровня. Изменение скорости, тока и момента во времени происходит по экспоненте.

Типовая схема пуска двигателя постоянного тока в две ступени в функции ЭДС и динамического торможении в функции времени. В этой схеме (рис. 10.26, а) в качестве датчика ЭДС используется якорь двигателя М, к которому подключены катушки контакторов ускорения КМ1 и КМ2. С помощью регулировочных резисторов R_{y2} и R_{y1} эти контакторы настраиваются на срабатывание при определенных скоростях двигателя.

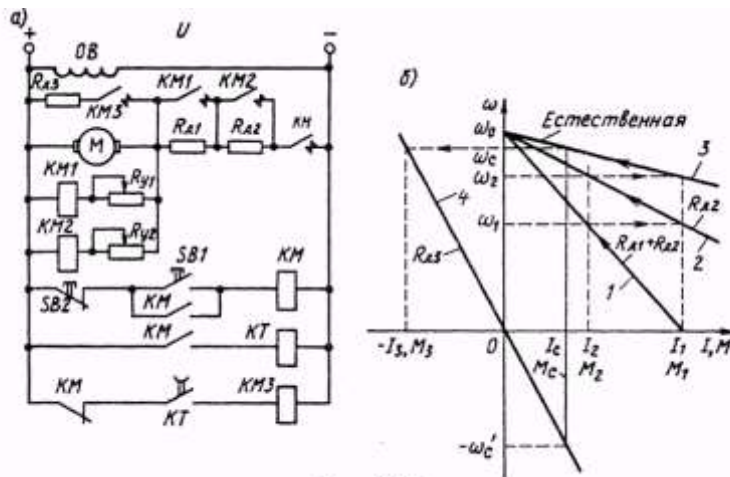


Рис. 10.26

Для осуществления торможения в схеме предусмотрен резистор $R_{д3}$, подключение и отключение которого осуществляется контактором торможения $KM3$. Для обеспечения необходимой при торможении выдержки времени используется электромагнитное реле времени KT , замыкающий контакт которого включен в цепь катушки контактора торможения $KM2$.

После подключения схемы к источнику питания происходит возбуждение ДПТ, при этом все управляющие аппараты схемы остаются в исходном положении. Пуск ДПТ осуществляется нажатием кнопки $SB1$, что приводит к срабатыванию линейного контактора KM , подключению двигателя к источнику питания и началу его разбега с включенными резисторами в цепи якоря $R_{д1}+R_{д2}$ по характеристике 1 (см. рис. 10.26, б). По мере увеличения скорости растет ЭДС двигателя и соответственно напряжение на катушках контакторов $KM1$ и $KM2$. При скорости ω_1 срабатывает контактор $KM1$, закорачивая своим контактом первую ступень пускового резистора $R_{д1}$, и двигатель начинает работать по характеристике 2. При скорости ω_2 , срабатывает контактор $KM2$, закорачивая вторую ступень пускового резистора $R_{д2}$. При этом двигатель выходит на работу по естественной характеристике 3 и заканчивает свой разбег в точке установившегося режима, определяемой пересечением естественной характеристики 3 двигателя и характеристики нагрузки $\omega = f(M_c)$.

Для перехода к режиму торможения необходимо нажать кнопку $SB2$. При этом произойдет следующее. Катушка контактора KM потеряет питание, разомкнется замыкающий силовой контакт KM в цепи якоря ДПТ и последний отключится от источника питания. Размыкающий же блок-контакт KM в цепи катушки контактора торможения $KM3$ замкнется, последний сработает и своим главным контактом подключит резистор $R_{д3}$ к якорю M , переводя ДПТ в режим динамического торможения по характеристике 4 (см. рис. 10.26, б). Одновременно разомкнется замыкающий контакт контактора KM в цепи реле времени KT , оно потеряет питание и начнет отсчет выдержки времени. Через интервал времени, соответствующий снижению скорости ДПТ до нуля, реле времени отключится и своим контактом разорвет цепь питания контактора $KM3$. При этом резистор $R_{д3}$ отключается от якоря M двигателя, торможение заканчивается и схема возвращается в свое исходное положение.

Типовая схема пуска двигателя постоянного тока в одну ступень в функции времени и динамического торможения в функции ЭДС (рис. 10.27). Управление ДПТ при пуске в этом случае происходит по аналогии со схемой, приведенной на рис. 10.25. Отметим только, что при включении двигателя и работе его от источника питания размыкающий контакт линейного контактора KM в цепи контактора торможения $KM2$ разомкнут, что предотвращает перевод двигателя в режим торможения.

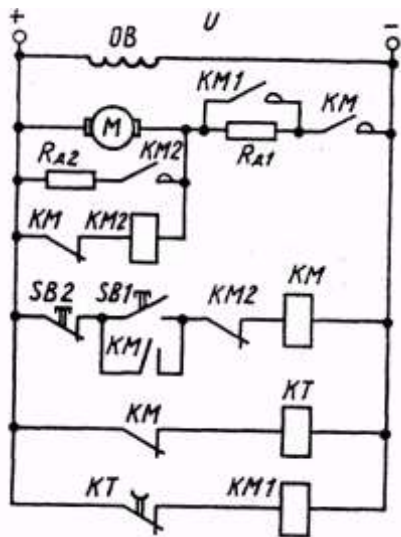


Рис 10.27

Торможение осуществляется нажатием кнопки SB2. При этом контактор KM, потеряв питание, отключает двигатель от источника питания и замыкает своим контактом цепь питания катушки контактора KM2. Последний под действием наведенной в якоре ЭДС срабатывает и замыкает якорь M двигателя на резистор торможения $R_{д2}$. Процесс динамического торможения происходит до тех пор, пока при небольшой скорости ДПТ его ЭДС не станет меньше напряжения отпущения контактора KM2, который отключится, и схема вернется в исходное положение.

Схема управления пуском ДПТ в функции времени, реверсом и торможением противовключением в функции ЭДС. В этой схеме (рис. 10.28, а) предусмотрено два линейных контактора KM1 и KM2, обеспечивающих вращение двигателя соответственно вперед и назад. Главные контакты этих аппаратов образуют реверсивный мостик, с помощью которого можно изменять полярность напряжения на якоре M. В якорной цепи помимо пускового резистора $R_{д1}$ включен резистор противовключения $R_{д2}$, который управляется контактором противовключения KM3.

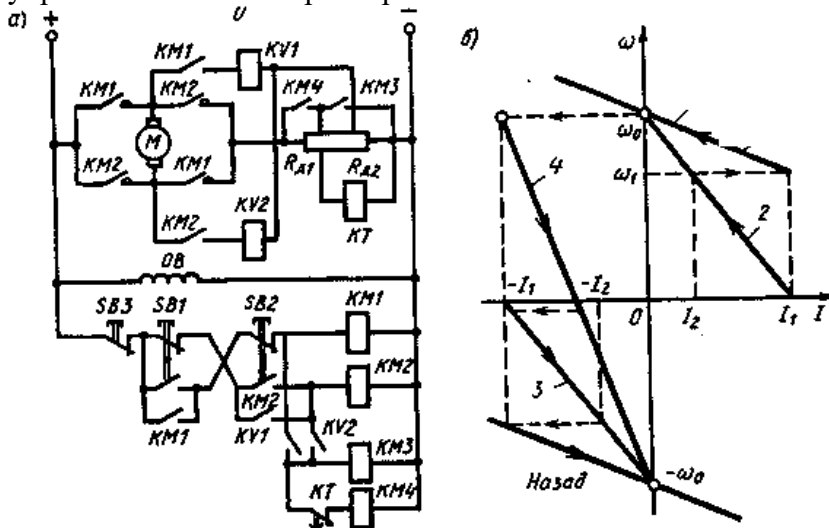


Рис. 10.28

Управление двигателем при торможении противовключением и реверсе осуществляется с помощью двух реле противовключения KV1 и KV2. Их назначение заключается в том, чтобы в режиме противовключения обеспечить ввод в цепь якоря в дополнение к пусковому резистору $R_{д1}$ резистора противовключения $R_{д2}$, что достигается выбором точки присоединения к нему катушек реле KV1 и KV2.

Пуск ДПТ в любом направлении осуществляется в одну ступень в функции времени. При нажатии, например, кнопки SB1 срабатывает контактор KM1 и подключает якорь M к

источнику питания, За счет падения напряжения на резисторе $R_{д1}$ от пускового тока срабатывает реле времени КТ, размыкающее свой контакт в цепи контактора КМ4.

Срабатывание КМ1 приведет также к срабатыванию реле КV1, которое, замкнув свой замыкающий контакт в цепи контактора противовключения КМ3, вызовет его включение, что приведет к закорачиванию ненужного при пуске резистора противовключения $R_{д2}$ и одновременно катушки реле времени КТ. При этом двигатель начнет разбег по характеристике 2 (см. рис. 10.28, б), а реле времени КТ - отсчет выдержки времени.

По истечении требуемой выдержки времени реле КТ замкнет свой контакт в цепи катушки контактора КМ4, он включится, закоротит пусковой резистор $R_{д1}$ и двигатель начнет работать по естественной характеристике 1.

Для осуществления торможения необходимо нажать кнопку SB2, в результате чего отключаются контактор КМ1, реле КV1, контакторы КМ3 и КМ4 и включается контактор КМ2. Напряжение на двигателе при этом изменяет свою полярность и он переходит в режим торможения противовключением с двумя резисторами в цепи якоря $R_{д1}$ и $R_{д2}$. Несмотря на замыкание контакта КМ2 в цепи реле КV2, оно (за счет оговоренного выше подключения) не включается и тем самым не дает включиться аппаратам КМ3 и КМ4 и зашунтировать резисторы $R_{д1}$ и $R_{д2}$.

Перевод ДПТ в режим противовключения соответствует его переходу с естественной характеристики 1 на искусственную характеристику 4 (см. рис. 10.28, б). Во всем диапазоне скоростей $0 < \omega < \omega_0$ на этой характеристике двигатель работает в режиме противовключения.

По мере снижения скорости двигателя растет напряжение на катушке реле КV2 и при скорости близкой к нулю оно достигнет значения напряжения срабатывания. Если к этому моменту времени кнопка SB2 будет отпущена, то отключается контактор КМ2, схема возвращается в исходное положение и на этом процесс торможения заканчивается. Если же при малой скорости кнопка SB2 остается нажатой, то включается реле КV2 и повторяется процесс пуска двигателя, но уже в противоположную сторону. Таким образом, реверсирование ДПТ включает в себя два этапа - торможение противовключением и пуск в противоположном направлении. Второй этап реверса соответствует на рис. 10.28, б переходу двигателя с характеристики 4 на характеристику 3, соответствующую обратной полярности напряжения на якоре двигателя и наличию в якоре добавочного резистора $R_{д1}$.

Типовая схема пуска ДПТ с последовательным возбуждением в функции тока. В этой схеме (рис. 10.29) катушка реле тока КА включена в цепь якоря М, а размыкающий контакт в цепь питания контактора ускорения КМ2. Реле тока настраивается таким образом, чтобы его ток отпускания соответствовал току I_2 (см. рис. 10.25, б). В схеме используется также дополнительное блокировочное реле КV с временем срабатывания больше, чем у реле КА. При нажатии на кнопку SB1 срабатывает контактор КМ1, двигатель подключается к источнику питания и начинает свой разбег. Бросок тока в якорной цепи после замыкания главного контакта контактора КМ1 вызывает срабатывание реле тока КА, которое размыкает свой размыкающий контакт в цепи контактора КМ2. Через некоторое время после этого срабатывает реле КV и замыкает свой замыкающий контакт в цепи контактора КМ2, подготавливая его к включению.

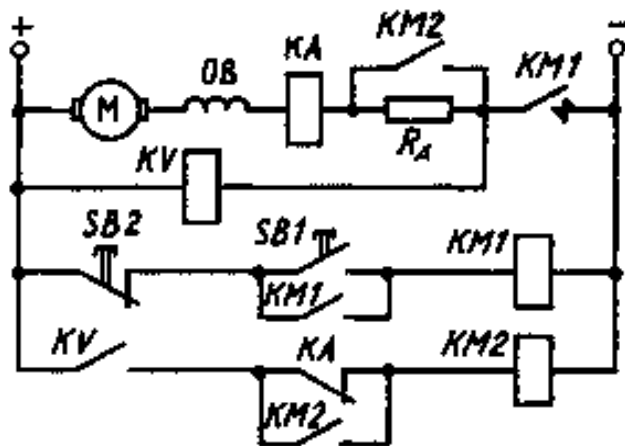


Рис.10.29

По мере разбега двигателя ток якоря снижается до значения тока переключения I_2 , при котором отключается реле тока, замыкая свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора $KM2$. Последний срабатывает, его главный контакт закорачивает пусковой резистор R_d в цепи якоря, а вспомогательный контакт шунтирует контакт реле тока KA . Поэтому вторичное включение реле тока KA после закорачивания резистора R_d и броска тока не вызывает отключения контактора $KM2$ и двигатель продолжает разбег по своей естественной характеристике.

Типовые релейно-контакторные схемы управления электроприводом (ЭП) включают в себя элементы блокировок, защит, сигнализации, а также элементы связи с технологическим оборудованием. Для унификации схемных решений электротехническая промышленность выпускает стандартные станции, блоки и панели управления, специализированные по видам ЭП рабочих машин и механизмов, их функциональным возможностям, условиям эксплуатации, роду тока и др. Так, для управления крановыми механизмами выпускаются различные крановые панели, для лифтов разработаны типовые шкафы управления, для ЭП конвейеров выпускаются типовые станции управления и т.д. В качестве примера рассмотрим схему одного из таких типовых устройств.

Контрольные вопросы:

1. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени
2. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока в две ступени в функции ЭДС и динамического торможения в функции времени
3. Типовая схема пуска ДПТ с последовательным возбуждением в функции тока
4. Типовая схема пуска двигателя постоянного тока в одну ступень в функции времени и динамического торможения в функции ЭДС

Тема 5. Элементы и устройства замкнутых систем управления электроприводами

Замкнутые системы автоматического управления (САУ) отличаются от разомкнутых применяемой аппаратурой и полной автоматизацией. В разомкнутой САУ задающее устройство (включающая, регулирующая аппаратура) не получает информацию о фактическом режиме работы электроустановки (приводного электродвигателя, рабочей машины).

В замкнутой САУ информация передается на элементы управления, что сопровождается подачей соответствующих командных сигналов. Цепочка, передающая такую информацию, замыкает контур управления, образуя замкнутую САУ, или САУ с обратными связями.

Различие между замкнутой и разомкнутой САУ можно пояснить на примере регулирования скорости электродвигателя в системе генератор — двигатель (Г—Д). В разомкнутой САУ (рис. 1,а) заданная скорость электродвигателя устанавливается вручную потенциометром П. Контроль скорости осуществляется визуально по тахометру, получающему питание от тахогенератора ТГ. Всякое отклонение скорости от заданной оператор устраняет воздействием на движок потенциометра.

В замкнутой САУ (рис. 1,б) якорь тахогенератора ТГ включен в цепь обмотки возбуждения генератора ОВГ, создавая замкнутую систему, или систему с обратной связью (в данном случае с обратной связью по скорости).

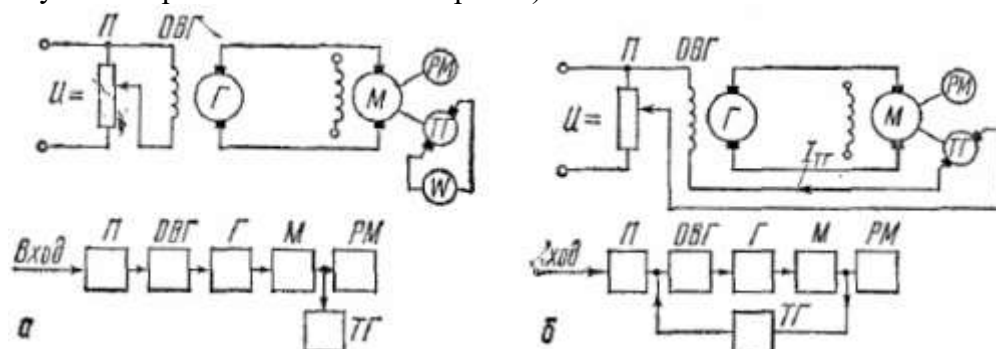


Рис. 1. Схема регулирования электродвигателя в системе Г-М: а - разомкнутая САУ, б - замкнутая САУ

Ток, создаваемый тахогенератором ($I_{ТГ}$) в замкнутой цепи, направлен навстречу току потенциометра ($I_{П}$), и в цепи действует результирующий ток, равный геометрической разности этих токов. Движком потенциометра оператор устанавливает такое значение результирующего тока в обмотке возбуждения ОВГ, при котором обеспечивается соответствующая скорость электродвигателя. На этом роль оператора заканчивается. В дальнейшем система автоматически с определенной точностью поддерживает заданный режим работы электропривода.

Допустим, что в результате наброса нагрузки скорость электродвигателя уменьшилась по сравнению с заданной. Уменьшение скорости сопровождается соответствующим уменьшением скорости тахогенератора и напряжения на его зажимах. Это в свою очередь вызовет уменьшение тока $I_{ТГ}$ в цепи обратной связи и в определенном положении движка потенциометра — увеличение результирующего тока в обмотке возбуждения генератора. Соответственно возрастут напряжение на генераторе и скорость электродвигателя.

Процесс увеличения скорости и напряжения будет продолжаться до тех пор, пока ток в цепи обратной связи не достигнет установленного значения, а скорость электродвигателя — заданной величины.

При анализе систем автоматического управления широко используют функциональные схемы. На рис. 2 показана **функциональная схема САУ**, которая включает следующие элементы:

1 — задающее устройство, которое задает режим работы, подает командный, начальный импульс или сигнал,

2 — элемент сравнения. В него входит сигнал X_1 от задающего устройства, сигнал X_0 , определяющий норму или уровень контролируемой величины. С учетом сигнала от элемента 9-й главной обратной связи элемент 2 сравнивает поступившие сигналы и посылает дальше скорректированный сигнал X_2 ,

3 — преобразующий элемент, поступающий в него сигнал он преобразует в другую форму, более удобную для дальнейшей передачи. Например, сигнал X_2 был дан в форме гидравлического (пневматического, механического) давления. Элемент 3 преобразовал его в электрический ток. Так как подобного рода преобразование может требовать дополнительной энергии, то элемент 3 связан с источником энергии ПЭ,

4 — суммирующий элемент, в него поступают два сигнала: X_3 и X_8 от корректирующего элемента (элемента памяти) 8. Эти сигналы суммируются элементом 4 и направляются в следующий элемент,

5 — элемент усиления, входящий сигнал X_1 может быть слабым и для последующей передачи должен быть усилен. Это делается элементом 5, который связан с источником энергии ПЭ,

6 — исполнительный элемент, выполняет полученный сигнал (электродвигатель, электромагнитное реле, серводвигатель),

7 — регулируемый объект, или рабочая машина.

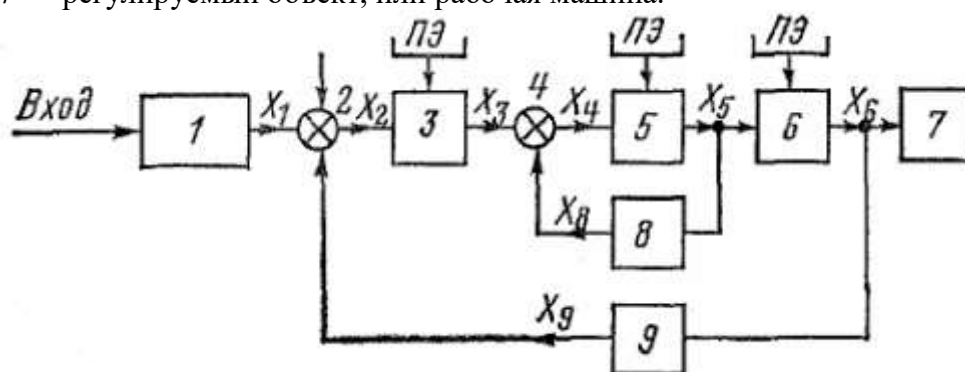


Рис. 2. Функциональная схема САУ

Каждый элемент автоматики — это преобразователь энергии, на вход которого подается величина X' , а с выхода снимается величина X'' . Для каждого элемента в установившемся режиме существует определенная зависимость X'' (X') называемая **статической характеристикой**.

Замкнутая система автоматического управления характеризуется наличием обратных связей, она имеет по крайней мере одну обратную связь, соединяющую выход системы с ее входом. Кроме того, могут быть так называемые **внутренние обратные связи**, соединяющие выход и вход отдельных элементов САУ.

Обратные связи делятся на жесткие и гибкие. Жесткие связи действуют как в переходном, так и в установившемся режимах работы системы, гибкие — только в переходном. Различают положительные обратные связи и отрицательные. При увеличении регулируемой величины положительная связь еще больше ее увеличивает, а отрицательная, наоборот, уменьшает. Обратные связи могут передавать сигналы, пропорциональные углу поворота, скорости, напряжению, току и т. п. и соответственно называются обратными связями по углу, скорости, напряжению, току. Подробнее смотрите здесь: [Элементы систем автоматики](#)

По принципу действия САУ можно разделить на три группы:

- непрерывного действия, в которых не нарушается связь между контролируемой и заданной величинами,
- импульсного действия, в которых связь между контролируемой и заданной величинами осуществляется через определенные промежутки времени,

- релейного действия, в которых связь осуществляется только тогда, когда заданная величина достигает определенного значения.
В зависимости от закона, по которому изменяется заданная величина во времени, САУ можно разделить также на три группы:
- системы с постоянным или малоизменяющимся значением заданной величины, в которых автоматически регулируемая величина поддерживается постоянной. Это системы стабилизации, которые по существу являются системами автоматического регулирования (САР),
- системы, в которых заданная величина изменяется по определенной, заранее установленной программе. Это система программного управления,
- системы, в которых заданная величина может изменяться в широких пределах и по произвольному закону, т. е. следающие системы.

Контрольные вопросы:

1. Замкнутые системы автоматического управления (САУ)
2. функциональная схема САУ
3. принцип действия САУ

Тема 6. Замкнутые системы управления электроприводами постоянного тока.

Характеристики разомкнутых электроприводов, построенных по системе «преобразователь — двигатель» (П-Д), могут иметь относительно невысокую жесткость из-за наличия внутреннего сопротивления преобразователя и самого двигателя. Для получения значительных диапазонов и высокой точности регулирования скорости требуется иметь более жесткие характеристики, которые можно получить лишь в замкнутой системе П-Д. Кроме того, характеристики разомкнутой системы не обеспечивают точного регулирования (или ограничения) тока и момента, что также требует перехода к замкнутой системе П-Д. Рассмотрим принципы построения и действия замкнутых схем регулирования скорости, тока, момента и положения с использованием различных обратных связей.

Замкнутая система П-Д с отрицательной обратной связью по скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Основу системы составляет разомкнутая схема П-Д. На валу двигателя находится датчик скорости — тахогенератор $ТГ$ (рис. 4.1, а), выходное напряжение которого $U_{Tr} = u_{и}$, пропорциональное скорости двигателя, является сигналом обратной связи. Коэффициент пропорциональности u носит название коэффициента обратной связи по скорости и может регулироваться за счет изменения тока возбуждения тахогенератора $I_{влт}$.

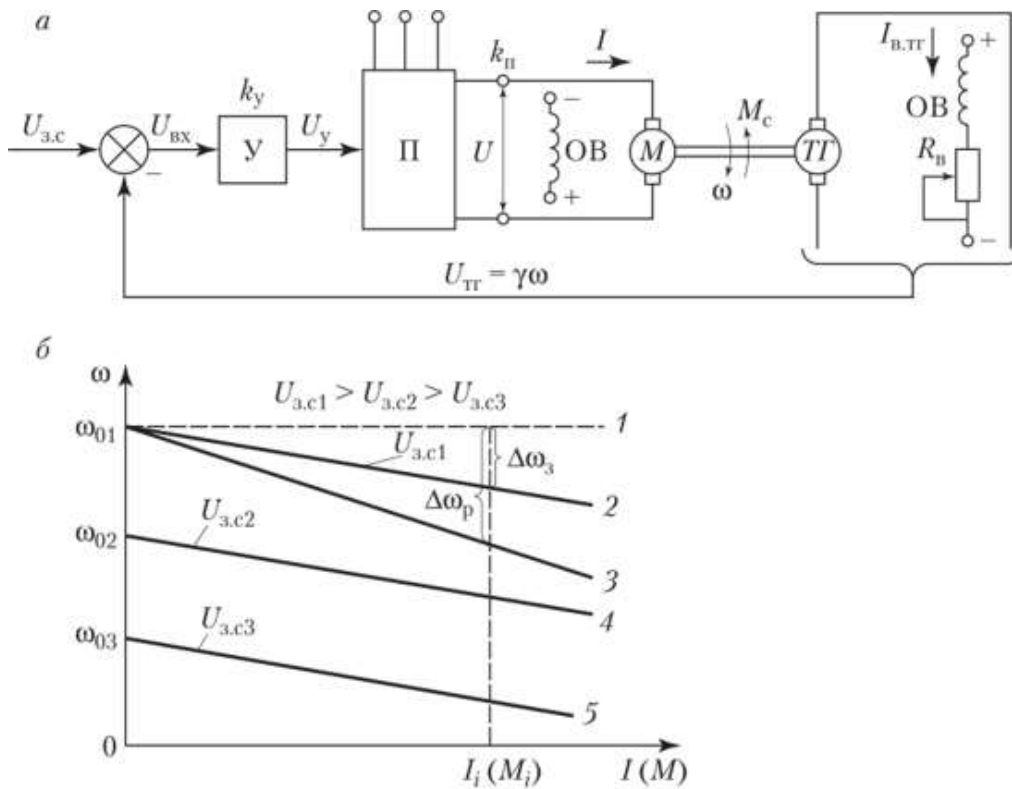


Рис. 4.1. Схема (а) и характеристики (б) замкнутой системы с обратной связью по скорости

Сигнал обратной связи $U_{Тт}$ сравнивается с задающим сигналом скорости $U_{Зс}$, и их разность в виде сигнала рассогласования (ошибки) $U_{Вх}$ подается на вход усилителя $У$, который с коэффициентом

k_y усиливает сигнал рассогласования $U_{Вх}$ и подает его в виде сигнала управления U_y на вход преобразователя $Я$, в качестве которого используется управляемый выпрямитель. Усилитель в этой схеме является пропорциональным регулятором скорости.

Для получения формул характеристик двигателя в замкнутой системе воспользуемся выражениями для электромеханической $\omega(I)$ и механической $\omega(M)$ характеристик двигателя в разомкнутой схеме и соотношениями, следующими из рассмотрения рис. 4.1, я:

$$\omega(I) = \frac{E_{\Pi}}{k\Phi} - \frac{I(R_{я} + R_{\Pi})}{k\Phi}; \quad (4.1)$$

$$\omega(M) = \frac{E_{\Pi}}{k\Phi} - \frac{M(R_{я} + R_{\Pi})}{(k\Phi)^2}; \quad (4.2)$$

$$U_{Вх} = U_{Зс} - \gamma\omega; \quad (4.3)$$

$$U_y = k_y U_{Вх}; \quad (4.4)$$

$$E_{\Pi} = k_{\Pi} U_y, \quad (4.5)$$

где E_{Π} — ЭДС преобразователя; k — конструктивный коэффициент двигателя; Φ — магнитный поток двигателя; I — ток якоря двигателя; $R_{я}, R_{\Pi}$ — соответственно сопротивление якоря двигателя и преобразователя; M — момент двигателя.

Заменяя в (4.1) и (4.2) последовательно E , на ее выражение из (4.5), u_y на его выражение из (4.4) и далее t'_{BX} — на его выражение из (4.3), после несложных преобразований получаем следующие формулы для характеристик двигателя в замкнутой системе:

$$\omega = \frac{k_y k_n U_{3.c}}{c(1+k_c)} - \frac{I(R_{я} + R_{п})}{c(1+k_c)}; \quad (4.6)$$

$$\omega = \frac{k_y k_n U_{3.c}}{c(1+k_c)} - \frac{M(R_{я} + R_{п})}{c^2(1+k_c)}, \quad (4.7)$$

где $c = \kappa \Phi_{НОМ}$; $\kappa_c = u_k u_j c$ — общий коэффициент усиления замкнутой системы П-Д.

Для анализа жесткости получаемых характеристик сопоставим перепады скорости в разомкнутой $D_{соp}$ и замкнутой $D_{соз}$ системах при одном и том же токе или моменте.

Согласно (4.1), (4.2), (4.6) и (4.7)

$$\Delta\omega_p = \frac{I_y(R_{я} + R_{п})}{c}; \quad (4.8)$$

имеем

$$\Delta\omega_3 = \frac{I_y(R_{я} + R_{п})}{c(1+k_c)} = \Delta\omega_p(1+k_c). \quad (4.9)$$

Так как всегда $\kappa_c > 0$, то $D_{соз} < D_{соp}$, т.е. жесткость получаемых характеристик в замкнутой системе больше жесткости характеристик в разомкнутой системе. Сами характеристики, показанные на рис. 4.1, б, представляют собой прямые параллельные линии 2, 4 и 5, расположение которых определяется уровнем задающего сигнала по скорости U_{3c} и соответственно скоростью холостого хода ω_0 . Здесь же для сравнения приведена характеристика двигателя в разомкнутой (прямая 3) системе.

Для нахождения предельной по жесткости характеристики устремим коэффициент усиления системы κ_c в бесконечность. Из (4.9) видно, что при $\kappa_c \rightarrow \infty$ — $D_{соз} \rightarrow 0$, т.е. в пределе в данной замкнутой системе может быть получена абсолютно жесткая характеристика, которая изображена на рис. 4.1, б в виде штриховой линии /.

Рассмотрим физическую сторону процесса регулирования скорости в данной системе. Предположим, что двигатель работает под нагрузкой в установившемся режиме и по каким-то причинам увеличился момент нагрузки M_c . Так как развиваемый двигателем момент стал меньше момента нагрузки, его скорость начнет снижаться, и соответственно будет снижаться сигнал обратной связи по скорости $U_{TT} = u_{со}$. Это, в свою очередь, согласно (4.3)—(4.5) вызовет увеличение сигналов рассогласования U_{nx} и управления U_y и приведет к повышению ЭДС преобразователя, а следовательно, напряжения и скорости двигателя.

При уменьшении момента нагрузки обратная связь действует в другом направлении, приводя к снижению ЭДС преобразователя. Таким образом, благодаря наличию обратной связи осуществляется автоматическое регулирование ЭДС преобразователя и тем самым подводимого к двигателю напряжения, за счет чего получают более жесткие характеристики электропривода. В разомкнутой системе, напротив, при изменении момента нагрузки ЭДС преобразователя не изменяется, в результате чего жесткость характеристик электропривода оказывается меньше.

Для получения жестких характеристик в системе П-Д кроме обратной связи по скорости используются также отрицательная обратная связь по напряжению и положительная обратная связь по току двигателя и их сочетания. Схемы ЭП и получаемые характеристики при использовании этих связей рассмотрены в [20].

Схема управления, обеспечивающая ограничение тока и момента двигателя постоянного тока с помощью нелинейной отрицательной обратной связи по току. В качестве датчика тока в этой схеме (рис. 4.2, а) используется шунт с сопротивлением $R_{ш}$, падение напряжения на котором пропорционально току якоря I . В результате сигнал обратной связи по току

Контрольные вопросы:

1. Характеристики разомкнутых электроприводов
2. Схема (а) и характеристики (б) замкнутой системы с обратной связью по скорости
3. Принципы построения и действия замкнутых схем регулирования скорости

Тема 7. Замкнутые системы управления электроприводами переменного тока

Среди многочисленных способов регулирования скорости асинхронных трехфазных ЭД исключительная роль принадлежит частотному регулированию. В настоящее время только частотный способ позволяет регулировать скорость в широких пределах в приводе подачи или главного движения станков и ПР. Вопрос о создании и применении частотного регулируемого привода переменного тока с асинхронным короткозамкнутым двигателем вместо привода постоянного тока имеет давнюю историю. Заманчивость этой идеи связана с исключительной простотой асинхронного двигателя, являющегося традиционным для привода станков.

Высказывается мнение, что отсутствие щеточно–коллекторного узла повышает надежность двигателя и всего привода. По сравнению с современным высокомоментным ЭД асинхронный ЭД имеет меньшие размеры. Меньший момент инерции ротора позволяет получить в асинхронном ЭД высокие ускорения при относительно небольшом движущем моменте.

Асинхронный короткозамкнутый ЭД не имеет коммутационных ограничений по скорости и нагрузке, которые так усложняют эксплуатацию электродвигателя постоянного тока.

Вместе с тем использование асинхронных ЭД единой серии 4А, предназначенной для нерегулируемого привода, в системах с широким изменением скорости встречает известные трудности. Они связаны с несинусоидальностью питающего напряжения, ухудшением условий охлаждения самовентилируемых ЭД при малых скоростях и пульсацией электромагнитного момента, которая проявляется в увеличении неравномерности вращения в нижней части диапазона регулирования.

При питании асинхронных двигателей серии 4А от автономного инвертора тока или напряжения мощность на валу снижается на 8 ... 15%. При этом происходит снижение КПД на 2 ... 4% и коэффициента мощности на 0,015. При частоте 5 Гц момент ЭД снижается на 30 ... 40%.

Принцип частотного регулирования асинхронного ЭД базируется на линейной зависимости угловой скорости магнитного поля от частоты питающего напряжения

$$\Omega_0 = 2\pi f_1 / Z_{п.}$$

По этому принципу возможно осуществление широкорегулируемых электроприводов с жесткими механическими характеристиками. Важным преимуществом частотного привода являются благоприятные энергетические показатели. Это объясняется тем, что ЭД работает

при малых скольжениях, что обуславливает малые потери и высокий КПД на всем диапазоне регулирования скорости. Это обстоятельство выгодно отличает частотное регулирование от всех других способов изменения скорости асинхронного ЭД.

При частотном регулировании одновременно с изменением частоты необходимо изменять напряжение, подведенное к статору ЭД. Это объясняется необходимостью регулирования магнитного потока во избежание насыщения, увеличения потерь в стали или уменьшения электромагнитного момента.

Силовые преобразователи

В регулируемом электроприводе переменного тока применяют полупроводниковые тиристорные и транзисторные преобразователи частоты. Электромеханические преобразователи (генераторы переменного тока) имеют ограниченное применение.

Полупроводниковые преобразователи частоты делят на: преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного– тока и автономным инвертором напряжения (АИН) или тока (АИТ) и преобразователи с непосредственной связью с сетью – непосредственные преобразователи частоты (НПЧ). Автономные инверторы позволяют регулировать частоту выходного напряжения как вверх, так и вниз от номинального значения частоты сети. В НПЧ частота регулируется только вниз от номинала.

Преобразователи частоты с АИН. В таких преобразователях напряжение сети сначала выпрямляется, а затем инвертируется в переменное напряжение необходимой частоты, т. е. происходит двухступенчатое преобразование энергии по схеме переменный ток – постоянный ток – переменный ток. Преобразователь частоты представляет собой комбинацию выпрямителя (промежуточное звено постоянного тока) и автономного инвертора.

Применяют три структурных варианта преобразователей частоты с АИН, отличающихся методом регулирования напряжения: 1) амплитудное регулирование напряжения с помощью управляемого выпрямителя (рис. 15.1, а); 2) амплитудно–импульсное регулирование напряжения с помощью неуправляемого выпрямителя и широтно–импульсного преобразователя (рис. 15.1, б); 3) широтно–импульсная модуляция, осуществляемая в АИН, который в этом случае выполняет функции регулятора напряжения и частоты (рис. 15.1, в).

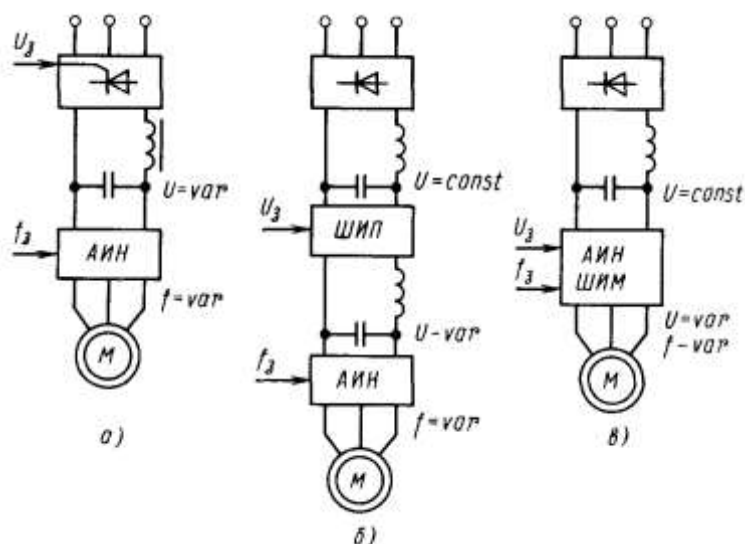


Рис. 6.1. Схемы преобразователей частоты с АИН

При амплитудном регулировании напряжения преобразователь частоты состоит из управляемого тиристорного выпрямителя, фильтра и автономного инвертора (регулирование напряжения и частоты осуществляется раздельно). Управляемый тири–

сторный выпрямитель был рассмотрен в л. 14. В приводе с частотным управлением он работает точно так же, как и в приводе постоянного тока.

Автономный инвертор представляет собой реверсивный переключатель, который подключает нагрузку на постоянное напряжение, поочередно меняя полярность подключения. Схема однофазного автономного инвертора содержит четыре полупроводниковых ключа и полностью совпадает со схемой реверсивного ШИП (см. рис. 4.8, а). Принципиальным отличием является только режим коммутации ключей. Для преобразователя частоты необходимо, чтобы время работы ключей было одинаковым. Только в этом случае напряжение на нагрузке будет представлять собой симметричные разнополярные импульсы. Выходное напряжение АИН является несинусоидальным и необходимо принимать меры для уменьшения высших гармонических составляющих.

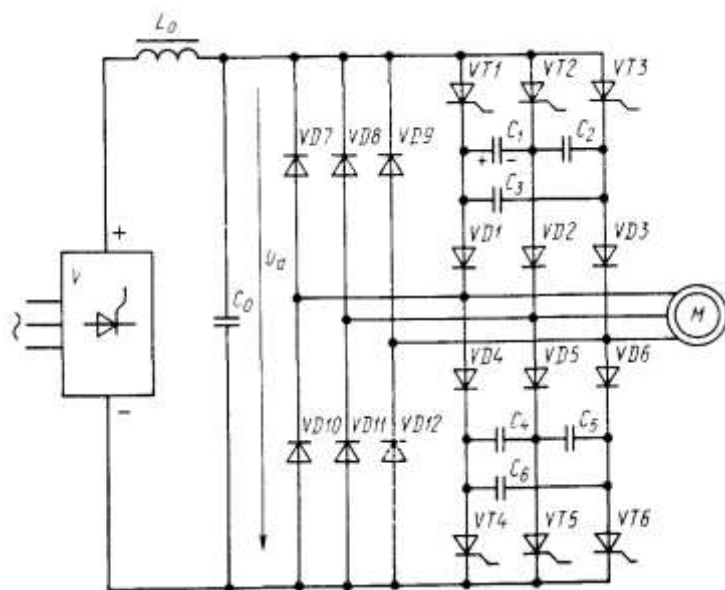


Рис. 6.2. Схема преобразователя частоты с амплитудным регулированием напряжения и трехфазным тиристорным АИН

В АИН применяют транзисторные и тиристорные ключи. Схема преобразователя частоты с трехфазным тиристорным автономным инвертором представлена на рис. 15.2. Трехфазное сетевое напряжение выпрямляется двухполупериодным регулируемым выпрямителем V и через фильтр L_0C_0 поступает на инвертор напряжения. Конденсатор C_0 большой емкости шунтирует выпрямитель по переменному току и уменьшает его внутреннее сопротивление, что характерно для источника напряжения.

Автономный инвертор представляет собой трехфазный коммутатор, преобразующий выпрямленное напряжение в периодические прямоугольные разнополярные импульсы, аппроксимирующие синусоиду напряжения. Инвертор содержит шесть силовых тиристоров $VT_1 \dots VT_6$ и шесть коммутирующих конденсаторов $C_1 \dots C_6$. При запираии силовых тиристоров конденсаторы подключаются в противофазе к соответствующему тиристор, что приводит к резкому снижению анодного напряжения.

Коммутирующие конденсаторы отделены от обмоток статора разделяющими (отсекающими) диодами $VD_1 \dots VD_6$. Они предотвращают разряд конденсаторов на индуктивность двигателя и образование колебательного контура. Инвертор также содержит возвратный диодный мост (диоды $VD_1 \dots VD_6$), необходимый для протекания реактивного тока, направление которого встречно включению силовых тиристор. Цепь тока замыкается через диоды $VD_7 \dots VD_{12}$ и конденсатор C_0 .

Формирование выходного напряжения инвертора зависит от способа коммутации силовых тиристоров. В тиристорном инверторе на рис. 15.2 осуществляется межвентильная $(2/3) \pi$ -коммутация.

Запирание каждого тиристора происходит при открывании очередного тиристора той же группы в порядке чередования фаз. Для запираения тиристора VT1 используется заряд конденсатора C_1 . В тот момент, когда тиристор VT1 должен быть закрыт, открывается тиристор VT2, при этом напряжение конденсатора C_1 отрицательной полярностью подключается к аноду тиристора VT1 и запирает его. Таким образом, вынужденно устанавливается угол проводимости каждого тиристора, равный $1/3$ периода выходной частоты или $2\pi/3$.

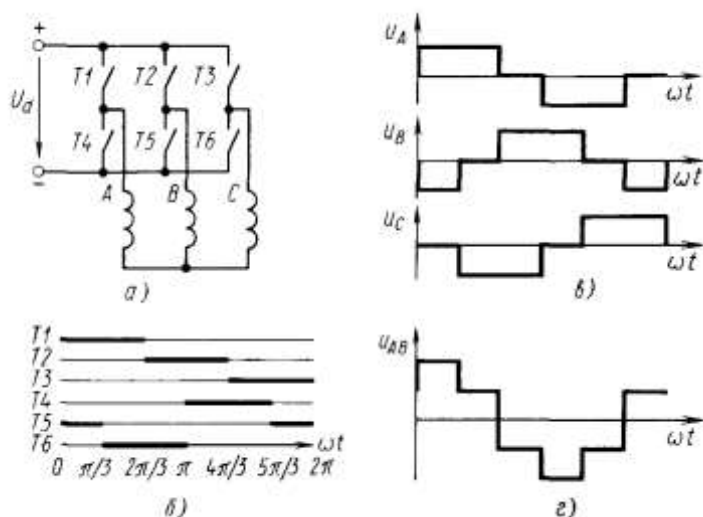


Рис. 6.3. Работа АИН при $(2/3) \pi$ -коммутации силовых тиристоров: а – упрощенная схема АИН, б – диаграмма работы тиристорных ключей, в – фазное напряжение, г – линейное напряжение

Чтобы определить форму фазных напряжений на выходе АИН, рассмотрим рис. 15.3, а, где все тиристоры заменены идеализированными ключами, а порядок работы ключей поясняется на рис. 15.3, б. Нагрузка инвертора включена в звезду.

Период выходного напряжения разделен на такты длительностью $\pi/3$. В первый такт, как следует из рис. 15.3, б, работают ключи T1 и T5. Следовательно, обмотка фазы А подключена к положительному полюсу источника постоянного напряжения, а обмотка фазы В – к отрицательному. Напряжение U_n делится на этих обмотках поровну. Обмотка фазы С отключена и напряжение на ней равно нулю. Проследив работу тиристорных ключей по диаграмме шаг за шагом, приходим к выводу, что форма фазных напряжений соответствует графикам, изображенным на рис. 15.3, в. Фазные напряжения представляют собой прямоугольные импульсы длительностью $(2/3) \pi$, сдвинутые по фазе на $1/3$ периода (амплитуда импульсов $U_d/2$).

Чтобы определить линейное напряжение, необходимо найти разность двух фазных напряжений, например: $U_{AB} = U_A - U_B$.

При амплитудно-импульсном регулировании напряжения управляемый выпрямитель заменен комбинацией неуправляемого выпрямителя и широтно-импульсного преобразователя (см. рис. 15.1, б). Напряжение сети выпрямляется, фильтруется и регулируется с помощью ШИП. На выходе ШИП формируются прямоугольные импульсы, поэтому необходим еще один фильтр для сглаживания высокочастотных пульсации напряжения. Звено постоянного тока структурно более сложно, однако по сравнению с

управляемым выпрямителем число силовых тиристоров уменьшается. Регулирование частота осуществляется АИН. Таким образом, в преобразователях частота этого типа частота и напряжение также регулируются отдельно.

В третьем структурном варианте преобразователя частоты с АИН осуществляется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) напряжения в самом инверторе (см. рис. 15.1, б). При этом инвертор не только изменяет частоту выходного напряжения, но и регулирует его амплитуду, что позволяет отказаться от регулируемого тиристорного выпрямителя в звене постоянного тока и использовать более простой нерегулируемый диодный выпрямитель. Принцип действия инвертора с ШИМ иллюстрирует рис. 15.4.

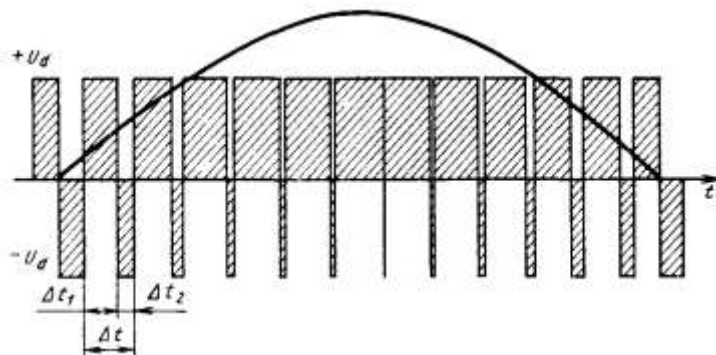


Рис. 6.4. График выходного напряжения инвертора с ШИМ

Период синусоидального сигнала разбивается на большое число малых интервалов длительностью Δt . На каждом интервале создаются два равнополярных импульса длительностью Δt_1 и Δt_2 . Если длительность положительного и отрицательного импульса одинакова, то среднее значение напряжения на интервале равно нулю. В противном случае получают положительное или отрицательное среднее напряжение, пропорциональное модулю разности длительности этих импульсов $\pm|\Delta t_1 - \Delta t_2|$.

Когда один из импульсов имеет нулевую длительность, получают максимальное среднее напряжение, равное U_d — ШИМ позволяет уменьшить высшие гармонические составляющие в выходном напряжении инвертора и приблизить его к точной синусоиде. Точность аппроксимации синусоиды повышается по мере увеличения частоты коммутации, которая определяется, в первую очередь, динамическими возможностями силовых ключей. Поэтому в преобразователях частоты с ШИМ применяют ключи на силовых транзисторах.

Контрольные вопросы:

1. Регулирования скорости асинхронных трехфазных ЭД
2. Силовые преобразователи
3. Схемы преобразователей частоты с АИН
4. График выходного напряжения инвертора с ШИМ

Тема 8. Аналоговые элементы управления и датчики.

Развитие электроники и микроэлектроники идет по пути создания интегрированных элементов и устройств, что привело к созданию интегральных схем (ИС) и устройств управления на их основе. Интегральными называются микросхемы, элементы которых: транзисторы, диоды, резисторы и др. — неразрывно соединены электрически, конструктивно и технологически. Количество элементов в современных ИС может достигать нескольких тысяч и более на одном полупроводниковом кристалле, а сами ИС могут содержать один или более таких кристаллов.

Интегральные схемы классифицируются по нескольким признакам: виду электрических сигналов (аналоговые и цифровые), функциональному назначению, степени интеграции, быстродействию, потребляемой мощности и др. Отдельную группу полупроводниковых устройств образуют оптоэлектронные приборы.

Оптоэлектронные приборы являются приборами, чувствительными к электромагнитному излучению в спектральном диапазоне от инфракрасного до ультрафиолетового, или излучают электромагнитную энергию в том же диапазоне. Оптоэлектронные приборы широко используются для передачи, обработки и отображения информации, а также в различных устройствах при необходимости гальванической развязки между электрическими цепями, например между схемой управления и силовой частью силового преобразователя электроэнергии. Применение находят следующие виды оптоэлектронных приборов.

1. *Светоизлучающий диод (СИД)* — это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования электрической энергии в энергию светового излучения. Они в основном применяются для индикации готовности электротехнических устройств к работе, сигнализации о наличии на нем напряжения, аварийных ситуаций и других состояний различных объектов.

2. *Инфракрасный излучающий диод (ИК-диод)* — это полупроводниковый диод, который при протекании по нему прямого тока излучает электромагнитную энергию в инфракрасном диапазоне. Это излучение не воспринимается человеческим глазом и может регистрироваться лишь фотоприемником, чувствительным к соответствующей полосе спектра.

Принцип работы, исполнение и основные области применения у ИК-диодов аналогичны СИД. Кроме того, они применяются в устройствах и линиях, требующих оптической связи или гальванической развязки, а также в различных датчиках контроля и автоматики технологических процессов.

3. *Фоторезистор* — полупроводниковый прибор, сопротивление которого меняется в зависимости от его освещенности.

4. *Фотодиод* — диод, проводимость которого возникает при воздействии на него излучения в оптическом диапазоне.

5. *Фототиристор* — прибор, который переходит из одного устойчивого состояния в другое в результате воздействия на него светового потока.

6. *Фототранзистор* — полупроводниковый прибор, действие которого основано на использовании явления внутреннего эффекта.

7. *Оптопара* — это оптоэлектронный полупроводниковый прибор, состоящий из излучающего и фотоприемного элементов, между которыми есть оптическая связь и обеспечена электрическая изоляция (гальваническая развязка). Излучателем в оптопаре может служить СИД, ИК-диод или сверхминиатюрная лампочка накаливания. В зависимости от вида фотоприемного элемента различают резисторные, диодные, транзисторные и тиристорные оптопары.

Аналоговые элементы и устройства оперируют с непрерывными (аналоговыми) электрическими сигналами. Основным элементом аналоговых устройств управления является операционный усилитель ОУ, на базе которого создаются различные регуляторы и функциональные преобразователи электрических сигналов.

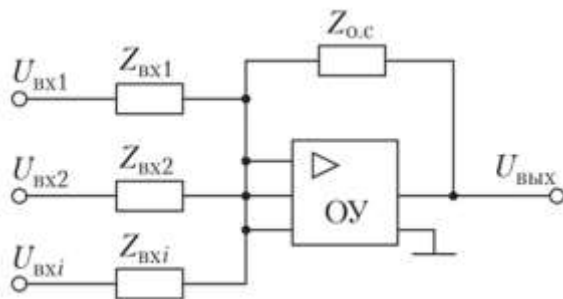


Рис. 2.10. Схема операционного усилителя

Операционный усилитель представляет собой усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления (до тысячи и более), охваченный отрицательной обратной связью. Схема ОУ приведена на рис. 2.10, где через $Z_{вх1}, \dots, Z_{вхи}$ обозначены комплексные в общем случае активно-емкостные входные сопротивления ОУ, а $Z_{о.с}$ — комплексное сопротивление цепи обратной связи. Операционный усилитель в этом случае осуществляет преобразование входных сигналов $U_{вхи}$ в соответствии с выражением

$$U_{\text{вых}} = -Z_{\text{о.с}} \sum_1^m \frac{U_{\text{вхи}}}{Z_{\text{вхи}}},$$

где m — количество входных сигналов.

В простейшем случае, когда на вход ОУ поступает один входной сигнал $U_{вх}$, а $Z_{о.с} = R_{о.с}$ и $Z_{вх} = R_1$, имеет место следующее преобразование сигнала:

$$U_{\text{вых}} = -R_{\text{о.с}} \frac{U_{\text{вх}}}{R_1} = k U_{\text{вх}},$$

$$k = \frac{R_{\text{о.с}}}{R_1}$$

т.е. осуществляется его умножение на коэффициент

изменение знака на противоположный. При $R_{\text{о.с}} = R_1$ ($k = 1$) имеет место так называемое инвертирование входного сигнала по знаку.

Если $Z_{\text{о.с}} = R_{\text{о.с}}$ и $Z_{\text{вхи}} = R_{\text{вхи}}$, то ОУ суммирует подаваемые на него электрические входные сигналы с одновременным умножением их

$$k_i = \frac{R_{\text{о.с}}}{R_{\text{вхи}}}$$

на соответствующий коэффициент

$$U_{\text{вых}} = -\sum_1^m U_{\text{вхи}} k_i.$$

При включении во входные цепи и цепи обратных связей наряду с резисторами также и конденсаторов ОУ позволяют осуществлять и другие преобразования входных сигналов, необходимые для получения нужных управляющих воздействий в схемах управления и автоматики. Такие схемы получили название регуляторов. В табл. 2.2 приведены некоторые распространенные схемы и характеристики регуляторов с использованием ОУ.

Пропорциональный П-регулятор (см. первую строку табл. 2.2) осуществляет пропорциональное преобразование входного сигнала

$$k = \frac{R_{\text{о.с}}}{R_1}$$

с коэффициентом и инвертированием знака входного

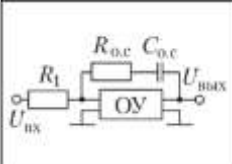
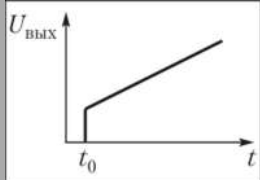
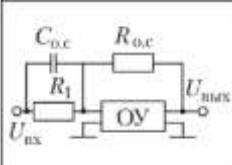
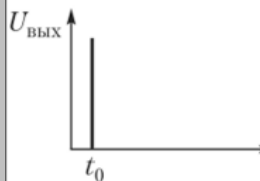
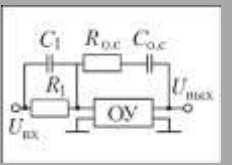
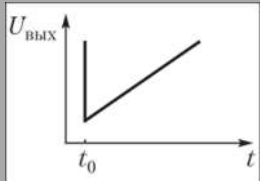
сигнала. В столбце 5 табл. 2.2 показана зависимость изменения во времени выходного сигнала П-регулятора при подаче на него ступенчатого входного сигнала в момент времени t_0 , называемая переходной функцией.

Схемы и характеристики интегрального И-регулятора, дифференциального Д-регулятора, аperiodического А-регулятора, пропорционально-интегрального (ПИ), пропорционально-дифференциального (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регуляторов также приведены в табл. 2.2.

Операционные усилители широко используются также в схемах компараторов, формирователей импульсов, генераторов электрических сигналов, ограничителей, усилителей и во многих других устройствах.

Примером реализации серийных аналоговых средств управления и их функций явилась разработка унифицированной блочной системы регулирования (УБСР) в виде серии УБСР-А (на обычных элементах электроники) и затем серии УБСР-АИ (на интегральных микросхемах), которая предназначалась главным образом для применения в схемах автоматики. Функциональные преобразователи, входящие в состав УБСР-АИ, позволяют возводить в квадрат и извлекать квадратный корень из входного сигнала, умножать и делить входные аналоговые сигналы, выделять модуль сигнала, формировать различные нелинейные зависимости межСхемы регуляторов

Тип регулятора	Схема	Вид преобразования	Параметры регулятора	Переходная функция
П		$U_{\text{ВЫХ}} = kU_{\text{ВХ}}$	$k = \frac{R_{\text{o.c.}}}{R_1}$	
И		$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{T} \int U_{\text{ВХ}} dt$	$T = R_1 C_{\text{o.c.}}$	
Д		$U_{\text{ВЫХ}} = T \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}$	$T = R_{\text{o.c.}} C_1$	
А		$U_{\text{ВЫХ}} = kU_{\text{ВХ}} + \frac{1}{T} \int U_{\text{ВХ}} dt$	$k = \frac{R_{\text{o.c.}}}{R_1}$ $T = R_{\text{o.c.}} C_{\text{o.c.}}$	

ПИ		$U_{\text{ВЫХ}} = k(U_{\text{ВХ}} + \frac{1}{T} \int U_{\text{ВХ}} dt)$	$k = \frac{R_{0.c}}{R_1}$ $T = R_{0.c} C_{0.c}$	
ПД		$U_{\text{ВЫХ}} = k(U_{\text{ВХ}} + \frac{TdU_{\text{ВХ}}}{dt})$	$k = \frac{R_{0.c}}{R_1}$ $T = R_1 C_1$	
ПИД		$U_{\text{ВЫХ}} = k(U_{\text{ВХ}}(1 + \frac{T_2}{T_1}) + \frac{TdU_{\text{ВХ}}}{dt} + \frac{1}{T} \int U_{\text{ВХ}} dt)$	$k = \frac{R_{0.c}}{R_1}$ $T_1 = R_{0.c} C_{0.c}$ $T_2 = R_1 C_1$	

Контрольные вопросы:

1. Светоизлучающий диод (СИД)
2. Инфракрасный излучающий диод (ИК-диод)
3. Фоторезистор
4. Оптопара

Тема 9. Дискретные элементы управления и датчики

Тенденцией развития систем управления и автоматизации является широкое применение в них дискретных элементов и устройств. Такие схемы, получившие название цифровых, характеризуются высокими точностью, быстродействием и надежностью в работе, малым энергопотреблением и хорошей помехоустойчивостью. Цифровые схемы управления естественным образом сочетаются с ЭВМ, составляя с ними единую автоматизированную систему управления технологическим процессом, предприятием или отраслью.

В некоторых случаях целесообразно создание смешанных, цифроаналоговых схем, сочетающих в себе наилучшие свойства аналоговых и дискретных элементов и устройств. Триггер является одним из наиболее распространенных элементов цифровых устройств управления, обладающих двумя устойчивыми состояниями и способными скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала. Триггер может рассматриваться как элементарная ячейка памяти, которая может хранить 1 бит информации, т.е. он может запомнить предварительно установленный в нем уровень логического сигнала 0 или 1 и сохранять этот уровень до момента новой записи. С использованием триггеров строятся различные логические и вычислительные узлы, а также генерирующие устройства и устройства памяти. По способу записи информации различают следующие типы триггеров: А-S-триггер, У-АТ-триггер, /)-триггер, /-триггер, характеристики которых подробно рассмотрены в [26].

Вычислительные устройства. Эти устройства предназначены для выполнения различных арифметических операций. Вычислительные операции выполняются в цифровых узлах на основе двоичной (цифры 0 и 1), восьмеричной (цифры от 0 до 7) или шестнадцатиричной

(цифры от 0 до 9 и шесть латинских букв — *A* (десять), *B* (одиннадцать), *C* (двенадцать), *D* (тринадцать), *E* (четырнадцать), *F* (пятнадцать)) систем счисления. Шестнадцатиричная и восьмиричная системы позволяют осуществлять более краткую и удобную запись информации в двоичной форме.

К вычислительным устройствам относятся счетчики, сумматоры и компараторы (устройства сравнения).

Счетчик. Это цифровой узел, предназначенный для подсчета числа входных сигналов. Они подразделяются на суммирующие, вычитающие и реверсивные. Реверсивные счетчики обеспечивают как суммирование, так и вычитание чисел, а вычитающие — только вычитание.

Сумматор. Этот цифровой узел выполняет операцию сложения двух чисел. Обычно сумматор представляет собой совокупность одноразрядных суммирующих схем, работающих в соответствии с таблицей двоичного сложения. Сумматоры позволяют осуществлять и операцию вычитания, для чего ее заменяют операцией сложения уменьшаемого с поразрядным дополнением вычитаемого.

Компаратор. Этот цифровой узел выполняет функцию сравнения двух чисел A_n и B_n . В результате сравнения определяется истинность одного из соотношений: $A_n = B_n$, $A_n > B_n$; $A_n < B_n$, каждое из которых фиксируется единичным сигналом на соответствующем выходе.

Логические цифровые узлы осуществляют различные логические операции над дискретными электрическими сигналами. К ним относятся распределители импульсов, шифраторы, дешифраторы и мультиплексоры.

Распределитель импульсов представляет собой цифровой узел, который обеспечивает распределение одноканальной последовательности импульсов по нескольким выходам.

Дешифратор (декодер) осуществляет такое преобразование сигнала на n входах, при котором на одном его выходе вырабатывается сигнал 1, а на всех остальных сохраняются сигналы 0. Шифратор преобразует единичный сигнал на одном из входов в двоичное число на нескольких выходах.

Мультиплексор — цифровой узел, обеспечивающий передачу сигналов с нескольких входных линий в одну выходную. Выбор входной линии производится с помощью управляющего импульсного сигнала (кода), подаваемого на управляющие входы мультиплексора. Мультиплексор может быть выполнен на основе схемы дешифратора путем ее некоторого преобразования.

Устройства памяти. Эти устройства предназначены для запоминания, хранения и выдачи информации. К ним относятся регистры, матрицы-накопители и запоминающие устройства (ЗУ): оперативные (ОЗУ) и постоянные (ПЗУ).

Регистр предназначен для записи, запоминания и выдачи многоразрядного двоичного числа и выполнения над ним некоторых несложных логических операций. С помощью введения дополнительных связей и логических элементов в регистрах возможно выполнение таких логических операций, как инвертирование кода, сдвиг числа вправо или влево на требуемое число разрядов, передача чисел в другой разряд и т.д.

Матрица-накопитель представляет собой узел памяти с более высоким объемом запоминаемой информации по сравнению с регистром. Основу матрицы составляют триггеры, способные запомнить 1 бит информации (одноразрядное двоичное число). Многоразрядная матрица состоит из одноразрядных матриц, соединенных параллельно. Разновидностью матрицы-накопителя более высокого функционального уровня является программируемая логическая матрица (ПЛИС).

Запоминающее устройство (ЗУ) обеспечивает хранение больших объемов информации. Запоминающие устройства, обеспечивающие многократную запись и считывание информации, получили название оперативных запоминающих устройств. Особенность

ОЗУ состоит в том, что оно хранит информацию только при наличии питания, а при его потере информация теряется.

Запоминающие устройства, предназначенные для постоянного хранения единовременно записанной информации, получили название постоянных запоминающих устройств. Эти устройства способны сохранять записанную в них информацию и при потере питания; они характеризуются большим объемом хранимой информации, более простыми по сравнению с ОЗУ схемами и меньшим энергопотреблением.

Цифроаналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи применяются для взаимного преобразования аналоговых и цифровых сигналов. Они могут выполняться в виде преобразователя код — напряжение (ПКН), преобразующего двоичный или двоично-десятичный код в напряжение постоянного тока, а также преобразователей частота — напряжение (ПЧН) и напряжение — частота (ПНЧ), осуществляющих преобразование частоты следования импульсов в напряжение постоянного тока и обратное преобразование. Примером серийной реализации цифровых устройств управления может служить унифицированная блочная система регулирования дискретной информации УБСР-ДИ.

В состав УБСР-ДИ входят блоки для обработки цифровой информации (формирователь чисел, дискриминатор чисел, арифметическое устройство) и частотных сигналов (генератор частотных сигналов, цифровой интегратор, управляемый делитель частоты), преобразования кода числа в частоту и частоты в код числа, ввода и вывода информации (регистры памяти входной и выходной, формирователь сигналов импульсных и кодовых датчиков положения, усилители выходные) и связи с аналоговыми элементами схем управления.

На базе этих цифровых узлов в рамках УБСР-ДИ разработаны типовые блоки управления, позволяющие выполнять сложные арифметические и логические операции.

Контрольные вопросы:

1. Дискретные элементы управления и датчики
2. Счетчик
3. Распределитель импульсов
4. Дешифратор (декодер)

Раздел 3. Система автоматического регулирования скорости электропривода постоянного тока.

Тема 10. Контур регулирования тока якоря.

5.1. Настройка контура регулирования тока якоря

Наиболее общей функцией электропривода является регулирование его *тока* или пропорционального ему *момента* у двигателя независимого возбуждения. Контур регулирования тока (момента), как внутренний контур СПРК, определяет настройку и динамические показатели остальных внешних контуров регулирования электропривода.

При реализации регулятора тока (РТ) принимаются следующие допущения:

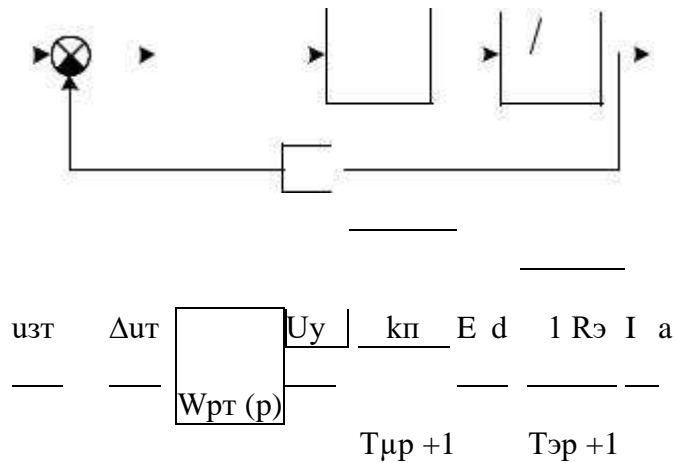
•внутренняя обратная связь по ЭДС двигателя не оказывает влияния на работу токового контура;

•режим прерывистого тока отсутствует;

•параметры якорной цепи во время работы остаются неизменными;

•не учитывается ввиду своей малости инерционность датчика тока.

В соответствии с принятыми допущениями структурная схема контура регулирования якорного тока (момента) примет вид, представленный на рис. 5.3.



u_{от}
k_{от}

Рис.5.3. Структурная схема контура регулирования якорного тока

В контур регулирования якорного тока (момента) входят: регулятор тока (РТ), передаточную функцию которого следует определить, ТП с минимальной постоянной времени T_{μ} , якорная цепь электропривода, цепь обратной связи, состоящая из шунта и датчика тока. Коэффициент пропорциональности между величиной якорного тока и напряжением обратной связи по току (или напряжением задания якорного тока) называется *коэффициентом обратной связи по току*

и рассчитывается по формуле:

$$k_{от} = \frac{u_{ztmax}}{I_{amax}} = \frac{u_{отmax}}{I_{amax}} = \frac{(8-10)B}{\lambda I_{ндв}} \quad (5.1)$$

где λ – перегрузочная способность двигателя по току, $I_{ндв}$ – номинальный ток двигателя, А.

Настройка контура регулирования якорного тока на модульный оптимум для получения оптимальных переходных процессов заключается в определении передаточной функции РТ и реализации регулятора в системе управления электроприводом.

Передаточная функция разомкнутого контура регулирования якорного тока (рис.5.3), когда выходной координатой является напряжение обратной связи по току якоря, имеет вид:

$$W_{разт\ u}(p) = \frac{u_{от}(p)}{I_a(p)} = W_{рт}(p) \frac{k_{п} / R_{\epsilon}}{T_{\mu p} + 1} \cdot k_{от} \quad (5.2)$$

118

Для настройки контура регулирования якорного тока на МО необходимо, чтобы передаточная функция разомкнутого контура регулирования тока равнялась передаточной функции разомкнутой системы, настроенной на МО. Поэтому аналогично (4.10) легко получить следующее равенство, где в передаточной функции системы, настроенной на МО, отсутствует единичная обратная связь (т.е. система разомкнута):

$$W_{рт}(p) \frac{k_{п} / R_{\epsilon}}{T_{\mu p} + 1} k_{от} = \frac{1}{2T_p(T_p + 1)} \quad (5.3)$$

Из (5.3) можно определить передаточную функцию РТ, обеспечивающую настройку контура регулирования якорного тока на МО:

$$W_{\text{рт}}(p) = \frac{T_{\text{эр}} + 1}{\frac{k_{\text{пккот}}}{2T_{\mu} R_{\text{э}}}} = \frac{T_{\text{эр}} + 1}{p} = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{Т}} p} + \frac{1}{p} = k_{\text{рт}} + \frac{1}{T_{\text{рт}} p} \quad (5.4)$$

Из (5.4) видно, что РТ является **пропорционально – интегральным** (ПИ) регулятором, коэффициентом усиления $k_{\text{рт}} = T_{\text{э}} T_{\text{рт}}$ и постоянной времени интегрирования регулятора тока $T_{\text{рт}} = 2T_{\mu} k_{\text{пккот}} / R_{\text{э}}$.

Определим передаточную функцию замкнутого токового контура $W_{\text{замт}}(p)$, настроенного на модульный оптимум, когда выходной координатой является якорный ток I_a , а входной – напряжение задания величины якорного тока $u_{\text{зт}}$:

$$W_{\text{замт}}(p) = \frac{I_a(p)}{u_{\text{зт}}(p)} = \frac{1}{\frac{k_{\text{п}}}{1} \frac{1/R_{\text{э}}}{T_{\mu} p + 1} \frac{+k_{\text{кот}}}{T_{\text{эр}} + 1}} = \frac{1}{\frac{k_{\text{о}}}{T} 2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1) + 1} = \frac{T_{\text{эр}} + 1}{k_{\text{пккот}} \frac{k_{\text{п}}}{p + 1} \frac{1/R_{\text{э}}}{T p + 1}} = \frac{2T_{\mu} R_{\text{э}}}{p \mu \varepsilon} \quad (5.5)$$

Как видно из последнего выражения (5.5), динамические свойства замкнутого контура регулирования якорного тока определяются только минимальной постоянной времени системы регулирования T_{μ} , и не зависят от величины постоянной времени $T_{\text{э}}$, говорят, что произошла «компенсация» большой постоянной времени. «Компенсация» постоянной времени $T_{\text{э}}$ осуществляется **форсировкой** выходного

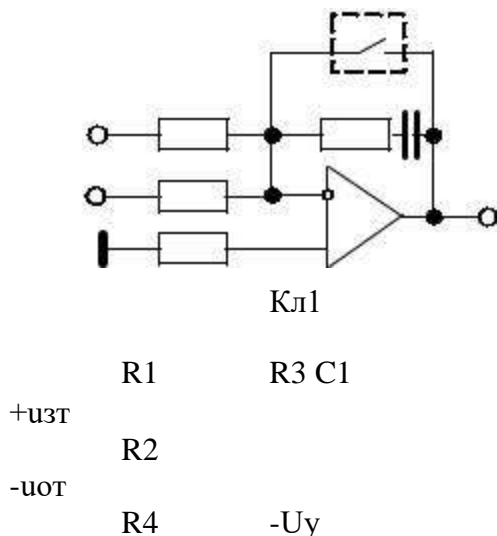
напряжения ТП, когда к якорной цепи прикладывается повышенное напряжение для обеспечения переходной функции с перерегулированием 4,3% и временем нарастания, равным 4,7 Т_μ (таблица 1 для i=1).

Рассмотрим реализацию регулятора тока якоря на аналоговом операционном усилителе (приложение В). Принципиальная электрическая схема регулятора тока приведена на рис. 5.4. Регулятор имеет два входа, на первый подается напряжение задания величины

якорного тока $i_{зт}$, например, положительной полярности, тогда на второй вход для обеспечения отрицательной обратной связи по регулируемой координате должно подаваться напряжение обратной связи

по величине якорного тока $i_{от}$ отрицательной полярности. При данной полярности входных напряжений на выходе РТ будет сформировано напряжение управления ТП отрицательной полярности - U_y (для условного направления вращения «назад»).

120



DA1

Рис.5.4. Принципиальная электрическая схема регулятора тока
 Передаточная функция операционного усилителя DA1 по входам задания $i_{зт}$ и цепи обратной связи $i_{от}$ определяется выражением:

$$W_{DA1}(p) = \frac{R_3 C_1 p + 1}{R_1 C_1 p + 1} = \frac{R_3 C_1 p + 1}{R_1 C_1 p + 1}. \quad (5.6)$$

Из выражения (5.6) видно, что для обеспечения одинакового коэффициента передачи по цепи задания и обратной связи (т.е. для обеспечения одинакового масштаба напряжений $i_{зт}$ и $i_{от}$) необходимо, чтобы выполнялось равенство величин сопротивлений входных резисторов $R_1 = R_2$. Для настройки контура регулирования якорного тока на модульный оптимум, необходимо выполнение равенства передаточных функций регулятора РТ (5.4) и регулятора DA1 (5.6):

$$\frac{T_{эп} + 1}{k_{пкот} \cdot 2T_{\mu} R_{э}} = \frac{T_{эп} + 1}{T_p} = \frac{R_3 C_1 p + 1}{R_1 C_1 p + 1}. \quad (5.7)$$

Из равенства (5.7) можно получить следующие зависимости: $R_3C_1 = T_\varepsilon$; $R_1C_1 = T_{рт}$, на основании которых, задавшись величиной

емкости конденсатора C_1 , можно рассчитать величины сопротивлений резисторов $R_1 = R_2 = T_{рт} / C_1$, $R_3 = T_\varepsilon / C_1$. В схеме РТ (рис.5.4) в цепи обратной связи операционного усилителя DA1 включен контакт реле Кл1, шунтирующий цепь обратной связи DA1 для предотвращения возможного дрейфа нуля регулятора и заряда конденсатора C_1 при стоянке электропривода.

Пример 5. Реализовать регулятор тока на операционном усилителе (рис.5.4) для электропривода с параметрами: $I_{ндв} = 192 \text{ А}$; $\lambda I = 2,5$; $k_p = 25$; $T_\mu = 0,01 \text{ с}$; $R_\varepsilon = 0,115 \text{ Ом}$; $T_\varepsilon = 0,05 \text{ с}$. Рассчитаем величину коэффициента обратной связи по току, задавшись максимальной

величиной изтма $x = \text{иотта } x = 10 \text{ В}$, $\text{кот} = \text{иотта } x / (\lambda I * I_{ндв}) = 10 / (2,5 * 192) = 0,0208$

В/А. Тогда постоянная времени РТ будет равна $T_{рт} = 2 T_\mu * k_p * \text{кот} / R_\varepsilon =$

$2 * 0,01 * 25 * 0,0208 / 0,115 = 0,09 \text{ с}$, коэффициент усиления РТ равен $k_{рт} = T_\varepsilon$

$/ T_{рт} = 0,05 / 0,09 = 0,556$. Зададимся величиной емкости конденсатора $C_1 = 1,0 \text{ мкФ}$ и рассчитаем величину сопротивления резистора $R_3 = T_\varepsilon / C_1 = 0,05 / 1,0 = 50 \text{ кОм}$, с учетом ряда Е24 принимаем стандартное значение $R_3 = 51 \text{ кОм}$, тогда величина сопротивления резисторов R_1 и R_2 будет равна $R_1 = R_2 = R_3 / k_{рт} = 51 / 0,556 = 91,7 \text{ кОм}$, с учетом ряда Е24 величина сопротивления берется равной $R_1 = R_2 = 91 \text{ кОм}$.

Контрольные вопросы:

1. Как выполняется построение систем подчиненного регулирования? Что входит в состав контуров регулирования?

2. Почему на практике не применяют более трех контуров регулирования?

3. Что должен обеспечивать регулятор в системе подчиненного регулирования координат?

Тема 11. Контур регулирования скорости.

Контур регулирования скорости как бы размыкается. При скорости, близкой к заданной, регулятор РС выходит из зоны насыщения и с этого момента вступает в действие обратная связь по скорости.

Контур регулирования скорости настроен на симметричный оптимум (см. § 4 - 5), при котором регулятор скорости РС обладает передаточной функцией ИП-звена, а установившаяся динамическая ошибка при линейном изменении задания скорости и ошибка по нагрузке равны нулю.

Настройка **контура регулирования скорости** осуществляется ПИ-регулятором скорости РС. Задатчик интенсивности ЗИ позволяет сформировать процессы разгона и торможения электропривода с заданным ускорением.

Настройка **контура регулирования скорости двигателя** на модульный оптимум характеризуется отсутствием статического сигнала рассогласования по управляющему воздействию и наличием сигнала рассогласования при возмущающем со стороны нагрузки воздействии.

Основным регулирующим контуром турбины является **контур регулирования скорости вращения**. В связи с увеличением мощности изготавливаемых сейчас турбин возрастают требования, предъявляемые к системам регулирования. Постоянная времени турбины, являющаяся регулируемой величиной, непрерывно изменяется в результате уменьшения массы ротора по отношению к получаемому моменту вращения. В последнее время

применяется также водородное охлаждение генератора, что позволяет уменьшить его габариты, а тем самым и его массу.

Следовательно, точность регулирования и динамические качества **контура регулирования скорости** в данном случае практически те же, что и в двух-контурной астатической схеме регулирования скорости в системе ТП-Д, подробно проанализированные выше. Особенности системы Г - Д при этом проявляются в усложнении схемы регулятора тока (ИПД-регулятор вместо ПП-регулятора) и в необходимости учета возможного ограничения быстродействия системы в связи с ограниченной мощностью возбудителя.

Электромеханические (механические) характеристики ЭП при настройке **контура регулирования скорости** на модульный оптимум для различных Гм показаны на рис. 58.35. При Ты 4ГЦ жесткость механической характеристики ЭП в замкнутой системе регулирования скорости выше, чем в разомкнутой, при Тм 4Т жесткости обеих систем равны.

Формирование горизонтального участка механической характеристики электропривода осуществляется в **контуре регулирования скорости** путем изменения величины сигнала L / РС в функции ошибки (то есть разницы напряжений задатчи-ка ЗИ и датчика скорости ДС) по скорости. Этот режим возможен, когда регулятор скорости работает на линейном участке своей статической характеристики, то есть напряжение на его выходе меньше напряжения, задаваемого блоком ограничения БО.

Аналогично могут быть рассчитаны установившиеся значения ошибки в **контуре регулирования скорости**.

Крутизна нарастания тока якоря в начале разгона определяется быстродействием **контура регулирования скорости**.

На практике интегральный задатчик интенсивности изменяет сигнал на входе **контура регулирования скорости** с темпом, который требует от двигателя динамического тока, существенно меньшего предельно допустимого значения. При этом регулятор РС работает на линейном (наклонном) участке своей статической характеристики, внешняя обратная связь по скорости замкнута, а показатели качества процесса разгона определяются качеством настройки КРС. Роль блока ограничения в регуляторе РС сводится при этом к ограничению тока якоря при чрезмерных технологических перегрузках привода.

Контрольные вопросы:

1. Контур регулирования скорости
2. контура регулирования скорости двигателя
3. Электромеханические (механические) характеристики ЭП

Тема 12. Ограничение переменных в динамических режимах.

Обычно на управляемый процесс действуют различные возмущения, отклоняющие управляемый параметр от заданной величины. Установившийся режим является не более

чем частным случаем состояния системы на определенных временных интервалах ее работы. Процесс установления требуемого значения управляемой величины называется регулированием, и, ввиду инерционности звеньев регулирования, развивается во времени.

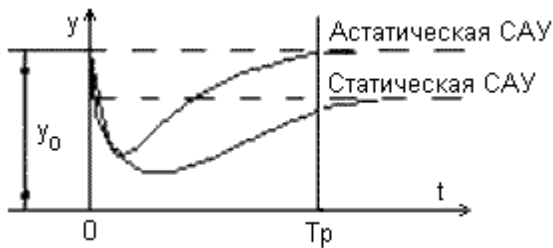


Рис. 2.3.1.

Динамическим называется режим работы системы, при котором входная и выходная величины системы изменяются во времени. Как правило, динамический режим возникает в результате перехода системы от одного установившегося состояния к другому, и поэтому его часто называют переходным режимом, а процесс перехода от одного установившегося состояния к другому — переходным процессом. Типичный пример переходных процессов для статических и астатических систем приведен на рис. 2.3.1.

Динамический режим, характеризующийся протеканием в ней определенных переходных процессов, является основным режимом работы систем. Зависимость выходной величины от изменяющейся во времени входной величины называют динамической характеристикой системы.

Все динамические характеристики можно разделить на две группы.

К первой группе относятся зависимости выходной величины системы от времени, если входная величина изменяется по типовому закону (импульсный, линейный и т.п.). Это так называемые временные характеристики.

Вторую группу динамических характеристик составляют частотные характеристики. К ним относятся зависимости выходной величины или ее параметров от частоты входной величины, изменяющейся по гармоническому закону.

Переходные процессы в системе. Зависимость выходной величины системы от времени, если входная величина изменилась на единый скачок, называют переходной характеристикой.

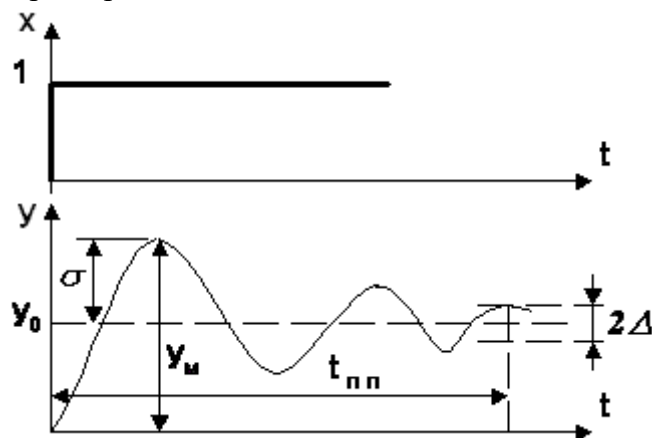


Рис. 2.3.2.

Допустим, система находится в установившемся режиме, и имеет значение выходной величины $y = y_0$. Пусть в момент $t = 0$ на объект воздействовал какой-либо управляющий или возмущающий фактор $x(t)$, отклонив значение регулируемой величины от номинальной. Через некоторое время регулятор вернет систему к первоначальному состоянию (с учетом статистической ошибки). Если этот переходный процесс происходит по аperiodическому временному закону (как на рис. 2.3.1), то процесс регулирования называется аperiodическим. При резких возмущениях в системах возможен колебательный

затухающий процесс (рис. 2.3.2), а в неустойчивых системах - возникновение незатухающих колебаний и расходящийся колебательный процесс.

Таким образом, переходная характеристика - это реакция элемента системы на ступенчатое изменение входной величины, как правило, единичное $x(t) = 1(t)$. Под входной величиной понимается любая из управляющих или возмущающих воздействий, в многомерных или многоканальных системах – одно из воздействий. Переходная характеристика может быть задана таблично, графически или аналитически в виде системы уравнений $\{x = 1(t), y = F(t)\}$.

Оценки переходных характеристик производятся с помощью следующих показателей:

■ **Характер временной зависимости.** По характеру зависимости переходные характеристики делятся на монотонные и колебательные. Переходная характеристика считается монотонной, если она имеет не более одного экстремума. В противном случае переходную характеристику относят к колебательной (немонотонной).

■ **Время переходного процесса** – это время, в течение которого выходная величина после начала изменения входной достигает нового установившегося значения. Теоретически это время стремится к бесконечности, поэтому за время переходного процесса принимают время, за которое выходная величина достигает нового установившегося значения с заданной степенью точности $t_{пп}$, обычно порядка 3-5% от нового установившегося значения. Нетрудно заметить (рис. 2.3.2), что степень точности Δ соответствует статической ошибке регулирования.

■ **Динамическая ошибка** - это разность между действительным значением выходной величины y_i в данный момент (t_i) и её новым установившемся значением y_0 , т.е

$$\Delta y(t) = y(t) - y_0. (2.2.1)$$

Динамическая ошибка представляет собой функцию времени. Максимальную положительную относительную ошибку за время переходного процесса называют выбросом. Выброс определяется формулой (см. рис. 2.3.2):

$$\sigma = (y_m - y_0) / y_0 (2.2.2)$$

■ **Колебательность** - количество полных колебаний за время переходного процесса. Колебательность может характеризоваться частотой или периодом колебаний выходной величины.

Импульсная характеристика является другой не менее распространенной временной характеристикой системы. Её называют импульсной переходной характеристикой или функцией веса и обозначают $h(t)$. Это зависимость выходной величины системы от времени, если входная величина изменилась на единичный идеальный импульс.

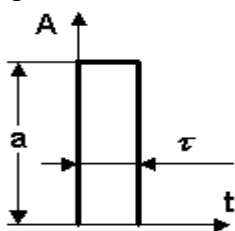


Рис. 2.3.3.

Для получения импульсной характеристики используют импульсы прямоугольной формы (рис. 2.3.3). Такой импульс аналитически определяется выражениями:

$$A(t) = 0, 0 > t > \tau;$$

$$A(t) = a, 0 \leq t \leq \tau;$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} A(t)dt = a\tau.$$

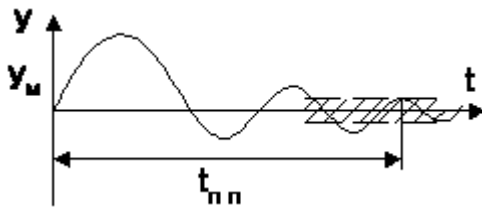


Рис. 2.3.4.

Произведение at часто называют величиной импульса. Если величина импульса равна единице, то импульс называют единичным. Если $\tau \rightarrow 0$, то импульс называют идеальным. Он является теоретической дельта-функцией $\delta(t)$ с бесконечной амплитудой в точке $t=0$ и площадью, равной 1.

Импульсная характеристика - это реакция системы на идеальное единичное импульсное изменение входной величины. Она может быть задана аналитически в виде системы уравнений $\{x = d(t), y = F(t)\}$. Так как идеальный импульс представляет собой производную скачка, $\delta(\tau) = d 1(t) / dt$, то импульсная характеристика есть производная переходной характеристики системы. Оценка импульсной характеристики производится теми же показателями, что и переходной. Пример характеристики приведен на рис. 2.3.4.

Контрольные вопросы:

1. Переходные процессы в системе
2. Оценки переходных характеристик
3. Ограничение переменных в динамических режимах

Раздел 4. Замкнутые системы автоматического регулирования скорости электроприводов переменного тока.

Тема 13. Асинхронный электропривод с регулированием напряжения на статоре.

Наиболее распространены следующие **способы регулирования скорости асинхронного двигателя**: изменение дополнительного сопротивления цепи ротора, изменение напряжения, подводимого к обмотке статора, двигателя изменение частоты питающего напряжения, а также переключение числа пар полюсов.

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя путем введения резисторов в цепь ротора

Введение резисторов в цепь ротора приводит к увеличению потерь мощности и снижению частоты вращения ротора двигателя за счет увеличения скольжения, поскольку $n = n_0 (1 - s)$.

Из рис. 1 следует, что при увеличении сопротивления в цепи ротора при том же моменте частота вращения вала двигателя уменьшается.

Жесткость механических характеристик значительно снижается с уменьшением частоты вращения, что ограничивает диапазон регулирования до $(2 - 3) : 1$. Недостатком этого способа являются значительные потери энергии, которые пропорциональны скольжению. Такое регулирование возможно только для двигателя с фазным ротором.

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением напряжения на статоре

Изменение напряжения, подводимого к обмотке статора асинхронного двигателя, позволяет регулировать скорость с помощью относительно простых технических средств и схем управления. Для этого между сетью переменного тока со стандартным напряжением $U_{ном}$ и статором электродвигателя включается **регулятор напряжения**. При регулировании частоты вращения [асинхронного двигателя](#) изменением напряжения, подводимого к обмотке статора, критический момент $M_{кр}$ асинхронного двигателя изменяется пропорционально квадрату подводимого к двигателю напряжения $U_{рег}$ (рис. 3), а скольжение от $U_{рег}$ не зависит.

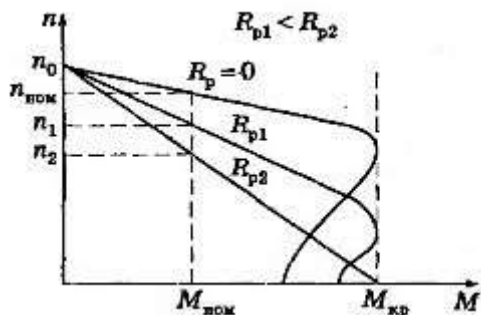


Рис. 1. Механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором при различных сопротивлениях резисторов, включенных в цепь ротора

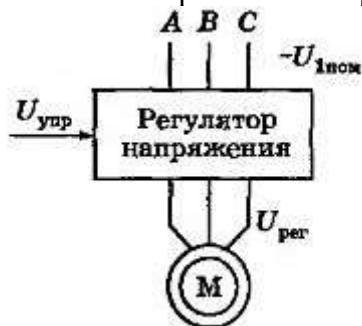


Рис. 2. Схема регулирования скорости асинхронного двигателя путем изменения напряжения на статоре

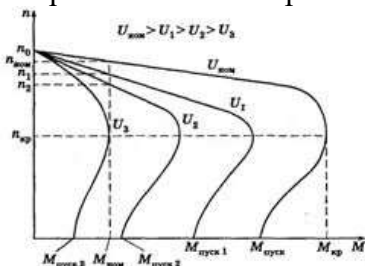


Рис. 3. Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения подводимого к обмоткам статора

Если момент сопротивления рабочей машины больше [пускового момента электродвигателя](#) ($M_c > M_{пуск}$), то двигатель не будет вращаться, поэтому необходимо запустить его при номинальном напряжении $U_{ном}$ или на холостом ходу.

Регулировать частоту вращения короткозамкнутых асинхронных двигателей таким способом можно только при вентиляторном характере нагрузки. Кроме того, должны использоваться специальные электродвигатели с повышенным скольжением. Диапазон регулирования небольшой, до $p_{кр}$.

Для изменения напряжения применяют [трехфазные автотрансформаторы](#) и тиристорные регуляторы напряжения.

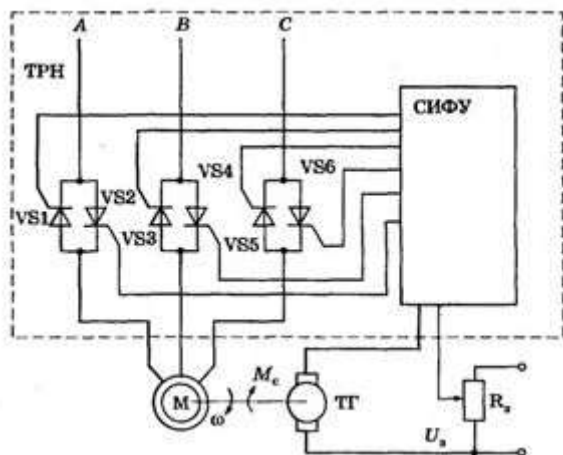


Рис. 4. Схема замкнутой системы регулирования скорости тиристорный регулятор напряжения - асинхронный двигатель (ТРН - АД)

Замкнутая схема управления асинхронным двигателем, выполненным по схеме тиристорный регулятор напряжения - электродвигатель позволяет регулировать скорость асинхронного двигателя с повышенным скольжением (такие двигатели применяются в вентиляционных установках).

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением частоты питающего напряжения

Так как частота вращения магнитного поля статора $n_0 = 60f/p$, то регулирование частоты вращения асинхронного двигателя можно производить изменением частоты питающего напряжения.

Принцип частотного метода регулирования скорости асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту питающего напряжения, можно в соответствии с выражением при неизменном числе пар полюсов p изменять угловую скорость по магнитного поля статора.

Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью.

Для получения высоких энергетических показателей асинхронных двигателей (коэффициентов мощности, полезного действия, перегрузочной способности) необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение. Закон изменения напряжения зависит от характера момента нагрузки M_c . При постоянном моменте нагрузки напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально частоте.

Схема частотного электропривода приведена на рис. 5, а механические характеристики АД при частотном регулировании — на рис. 6.

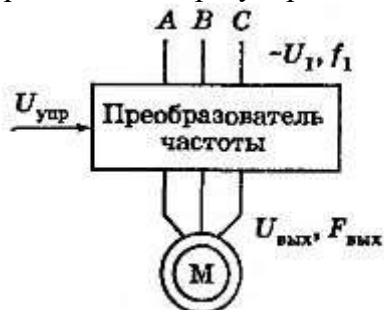


Рис. 5. Схема частотного электропривода

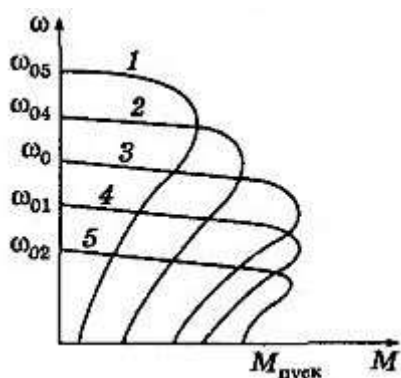


Рис. 6. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании

С уменьшением частоты f критический момент несколько уменьшается в области малых частот вращения. Это объясняется возрастанием влияния активного сопротивления обмотки статора при одновременном снижении частоты и напряжения.

Частотное регулирование скорости асинхронного двигателя позволяет изменять частоту вращения в диапазоне $(20 - 30) : 1$. Частотный способ является наиболее перспективным для регулирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Потери мощности при таком регулировании невелики, поскольку минимальны потери скольжения.

Большинство современных **преобразователей частоты** построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей: звена постоянного тока (неуправляемого выпрямителя), силового импульсного инвертора и системы управления.

Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока.

Силовой трехфазный импульсный инвертор содержит шесть транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора электродвигателя.

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые **IGBT-транзисторы**. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями. Регулирование выходной частоты $f_{вых}$ и выходного напряжения осуществляется за счет высокочастотной **широтно-импульсной модуляции**.

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя переключением числа пар полюсов

Ступенчатое регулирование скорости можно осуществить, используя специальные **многоскоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором**.

Из выражения $n = 60f/p$ следует, что при изменении числа пар полюсов p получаются механические характеристики с разной частотой вращения по магнитного поля статора. Так как значение p определяется целыми числами, то переход от одной характеристики к другой в процессе регулирования носит ступенчатый характер.

Существует два способа изменения числа пар полюсов. В первом случае в пазы статора укладывают две обмотки с разным числом полюсов. При изменении скорости к сети подключается одна из обмоток. Во втором случае обмотку каждой фазы составляют из двух частей, которые соединяют параллельно или последовательно. При этом число пар полюсов изменяется в два раза.

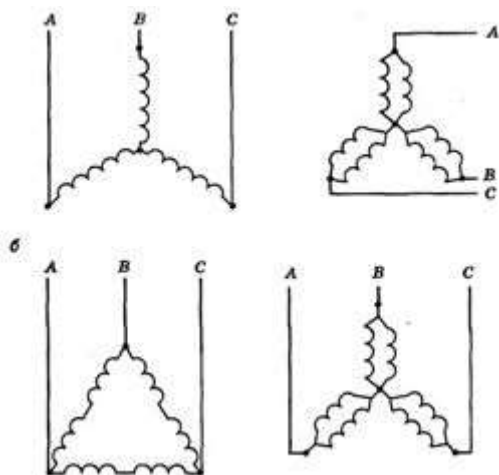


Рис. 7. Схемы переключения обмоток асинхронного двигателя: а - с одинарной звезды на двойную; б - с треугольника на двойную звезду

Регулирование скорости путем изменения числа пар полюсов экономично, а механические характеристики сохраняют жесткость. Недостатком этого способа является ступенчатый характер изменения частоты вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Выпускаются двухскоростные двигатели с числом полюсов 4/2, 8/4, 12/6. Четырехскоростной электродвигатель с полюсами 12/8/6/4 имеет две переключаемые обмотки.

Контрольные вопросы

1. способы регулирования скорости асинхронного двигателя:
2. Уравнение механической характеристики АД;
3. Регулирование изменением сопротивления ротора:
4. Регулирование изменением сопротивления Статора

Тема 14. Системы скалярного управления частотно-регулируемого асинхронного двигателя

В настоящее время регулируемые электроприводы массового применения строят на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором с частотным управлением. Способ управления частотно-регулируемым электроприводом зависит от технических требований к электроприводу.

В электроприводах с ограниченным диапазоном регулирования до 10:1 и невысокими требованиями к динамическим характеристикам регулирования применяют *частотно-параметрический способ регулирования*, при котором управляющими воздействиями являются частота и действующее значение напряжения питания асинхронного двигателя.

В электроприводах с диапазоном регулирования до 100:1 и достаточно высокими требованиями к динамическим показателям регулирования находят применение *частотно-токовые системы регулирования*, где управляющими воздействиями являются частота и эффективное значение первой гармоники тока в статорных обмотках двигателя.

В связи с развитием систем микропроцессорного управления стало возможным построение систем регулирования двигателей переменного тока на основе *принципов векторного управления*. Такие системы, несмотря на их сложность, находят эффективное применение в тех случаях, когда требуется большой диапазон регулирования скорости и высокое быстродействие.

Первые две группы систем частотного управления основаны на контроле эффективных значений (модулей) переменных: напряжения, тока, частоты, вследствие чего их относят к скалярным системам регулирования [11, 12].

Частотно-параметрическая система — это наиболее простая система частотного управления. Функциональная схема такой системы без обратной связи по скорости показана на рис. 6.25.

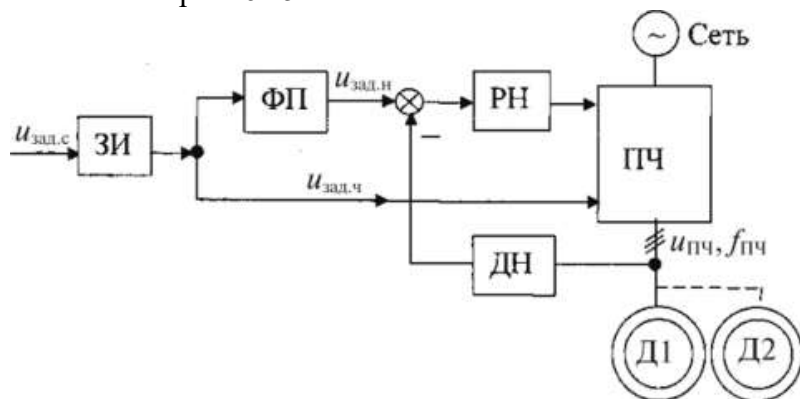


Рис. 6.25. Функциональная схема системы асинхронного электропривода с частотно-параметрическим регулированием: $u_{зад.с}$ — сигнал задания скорости; $u_{зад.н}$ — сигнал задания напряжения; $u_{зад.ч}$ — сигнал задания частоты; ДН — датчик напряжения; $u_{пч}, f_{пч}$ — напряжение и частота на выходе преобразователя

Частота на выходе преобразователя / ч определяется значением задания скорости (напряжения на выходе задатчика интенсивности ЗИ u_m). В канал регулирования напряжения включен функциональный преобразователь ФП, который обеспечивает требуемое соотношение между частотой и напряжением (6.50), (6.52). Для компенсации падения напряжения в преобразователе частоты ПЧ предусмотрены замкнутый контур регулирования напряжения с обратной связью по напряжению и регулятор напряжения РН, который обычно принимается пропорциональным. При двухзонном регулировании скорости, когда частота статора / достигает 50 Гц, регулятор РН выходит на ограничение и при дальнейшем увеличении скорости напряжение остается номинальным.

Как уже указывалось в 6.4.2, для того, чтобы при работе при низких частотах поток двигателя Φ оставался постоянным, нужно компенсировать падение напряжения на активном сопротивлении статора и использовать соотношение (6.51). Такому построению системы регулирования соответствует функциональная схема системы регулирования, приведенная на рис. 6.26.

В этой схеме для поддержания потока статора в канал задания напряжения вводится положительная обратная связь по току статора, компенсирующая падение напряжения на сопротивлении R_x . Для увеличения диапазона регулирования и повышения статической точности предусмотрена обратная связь по скорости, повышающая жесткость механических характеристик.

Если рассматривать поток двигателя постоянным, то при работе на рабочей части механических характеристик при скольжении $s_{абс} = 0 \dots s_{Кабс}$ зависимость момента от скольжения можно считать линейной и для оценки динамических свойств системы регулирования момента использовать выражение (6.11) и структурную схему на рис. 6.2.

Структурная схема параметрического регулирования с обратной связью по скорости показана на рис. 6.27.

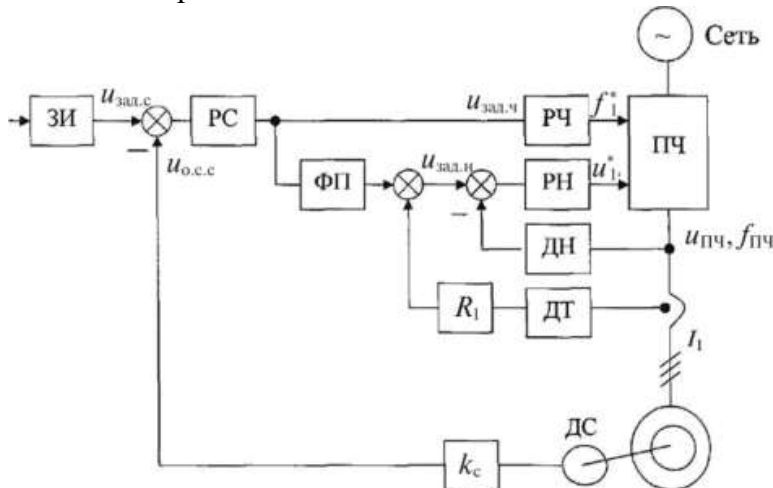


Рис. Б.2В. Функциональная схема системы частотно-параметрического регулирования с поддержанием потока статора и обратной связью по скорости: РН, РЧ, РС — регуляторы напряжения, частоты, скорости; ДН, ДТ, ДС — датчики напряжения, тока, скорости

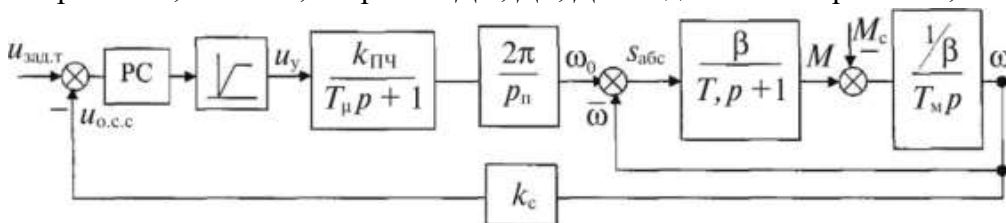


Рис. Б.27. Структурная схема системы частотно-параметрического регулирования при $\Phi = \text{const}$ с обратной связью по скорости

Если не учитывать обратную связь по скорости, то передаточная функция асинхронного двигателя как объекта управления при частотно-параметрическом управлении будет:

$$W(p) = \frac{1}{T_M T p^2 + T_M p + 1}.$$

Регулятор скорости настраивают обычно на модульный оптимум (П-регулятор).

С учетом ряда допущений (постоянство потока статора не только в статике, но и в динамике, синусоидальность напряжения при низких частотах и др.) регулировочные характеристики асинхронного двигателя при частотно-параметрическом регулировании подобны характеристикам двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Однако этот вывод не является вполне корректным, так как не учитывает нелинейность динамической модели асинхронного двигателя. Для получения регулировочных характеристик асинхронного двигателя, не уступающих, а то и превосходящих характеристики двигателя постоянного тока применяют системы векторного регулирования, которые будут рассмотрены далее.

Система частотно-токового регулирования. Если преобразователь частоты по своим регулировочным характеристикам является источником тока, это возможно в двух случаях:

- если в двухзвенном преобразователе частоты применен автономный инвертор тока;
- если применен автономный инвертор напряжения, охваченный отрицательной обратной связью по выходному току.

Система регулирования осуществляет задание частоты и эффективного значения тока статора в соответствии с заданной скоростью и нагрузкой на валу двигателя.

Функциональная схема асинхронного электропривода с частотно-токовым управлением приведена на рис. 6.28. Система имеет два канала регулирования: частоты и тока статора. Выходную частоту преобразователя ПЧ задают пропорционально заданной скорости. Задание на ток статора пропорционально разности заданной и действительной скорости, т.е. пропорционально абсолютному скольжению $s_{абс}$: $\omega_0 - \omega = s_{абс}$.

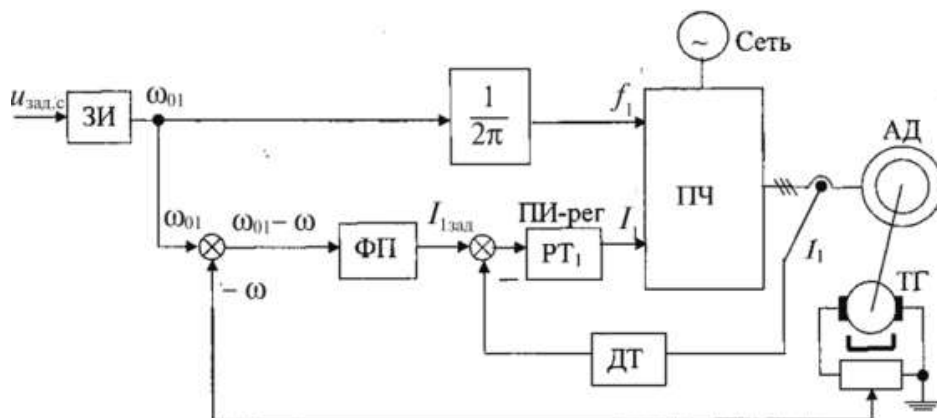


Рис. Б.28. Функциональная схема системы асинхронного электропривода с частотно-токовым управлением: ω_0 , ω — скорость холостого хода и текущее значение скорости соответственно; f — частота напряжения статора; $I_{зад}$, I — задание на ток и ток статора; PT_1 — регулятор тока статора; АД — асинхронный двигатель; ДТ — датчик тока; ТГ — тахогенератор

При работе в области скольжений $s_{абс} = -s_{абсК}$ абсолютное скольжение примерно пропорционально току ротора I_2 , который определяет активную составляющую тока статора I_a . Реактивная составляющая тока статора примерно равна току намагничивания и должна поддерживаться постоянной, чтобы поток двигателя оставался постоянным. Исходя из этого, задание на ток статора:

$$I_{зад} = \sqrt{I_0'^2 + I^2} = \sqrt{k(\omega - \omega_0) + I^2}$$
, которое формирует функциональный преобразователь ФП (рис. 6.29).

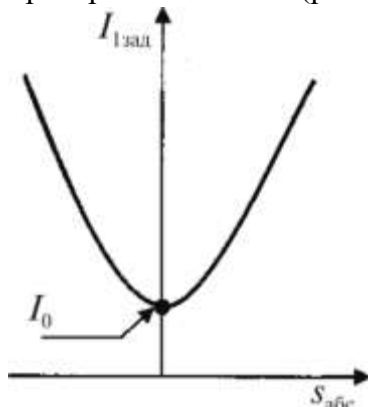


Рис. В.29. Регулировочная характеристика функционального преобразователя:

I_0 — ток холостого хода; $I_{1,зад}$ — заданный ток статора

Для повышения быстродействия контур тока настраивают на модульный оптимум, для чего предусмотрен ПИ-регулятор тока и обратная связь по току статора с датчиком тока. Тахогенератор или импульсный датчик скорости может служить датчиком скорости. Достижимый диапазон регулирования скорости по схеме на рис. 6.28 составляет порядка 20:1.

При необходимости получения большего диапазона регулирования следует внести в систему замкнутый контур регулирования скорости (рис. 6.30). Такая система

регулирования содержит контуры скорости и тока статора, настроенные на модульный оптимум. На выходе П-регулятора скорости формируется сигнал, пропорциональный абсолютному скольжению, который подается на вход функционального преобразователя ФП. В соответствии с зависимостью рис. 6.29 ФП вырабатывает сигнал задания тока статора, который подается на вход контура тока с ПИ-регулятором.

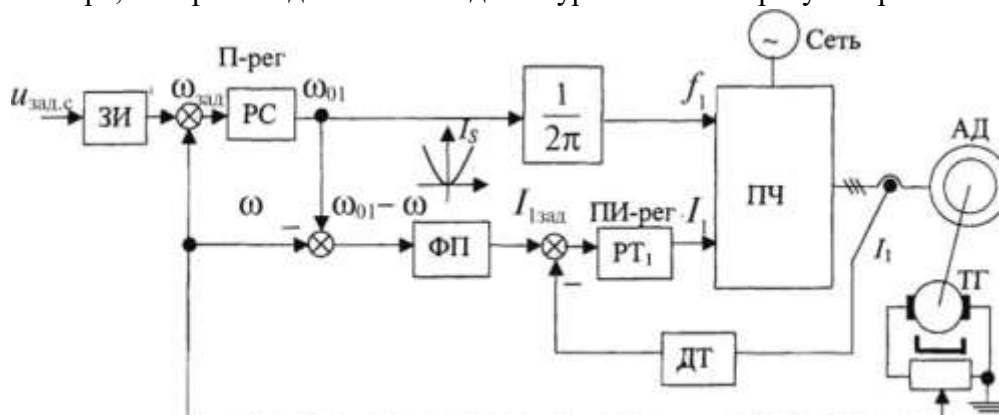


Рис. 6.30. Функциональная схема системы асинхронного электропривода с частотно-токовым управлением с обратной связью по скорости

Частотно-токовое управление может применяться только для однодвигательных электроприводов, в то время как в системах параметрического частотного управления от одного преобразователя частоты одновременно могут питаться и регулироваться несколько электродвигателей.

Контрольные вопросы:

1. Частотно-параметрическая система
2. Система частотно-токового регулирования
3. Функциональная схема системы асинхронного электропривода с частотно-параметрическим регулированием зачертить

Тема 15. Системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного двигателя.

Векторное управление для асинхронного электродвигателя «на пальцах»

В предыдущей статье [«Векторное управление электродвигателем «на пальцах»](#) рассматривалась векторная система управления для синхронных электродвигателей. Статья получилась большой, поэтому вопрос про асинхронные электродвигатели (induction motors) был вынесен в отдельную публикацию. Данная статья является продолжением предыдущей и опирается на приведенные там объяснения принципов работы электродвигателей. Она расскажет об особенностях работы асинхронного двигателя применительно к векторному управлению, а также покажет отличия в структуре векторной системы управления между синхронной и асинхронной машиной.

Как работает асинхронный электродвигатель? Наиболее популярное объяснение говорит что-то типа «статор создает вращающееся магнитное поле, которое наводит ЭДС в роторе, из-за чего там начинают течь токи, в результате ротор увлекается полем статора и начинает вращаться». Лично я от такого объяснения всю физику процесса понимать не начинаю, поэтому давайте объясню по-другому, «на пальцах».

Все же видели видео, как магнит взаимодействует с медным цилиндром? Особенно обратите внимание на диапазон времени с 0:49 до 1:03 – это уже самый настоящий асинхронный двигатель: Эффект происходит из-за появления в цилиндре вихревых токов. Согласно

закону электромагнитной индукции, открытого Майклом Фарадеем, при изменении магнитного потока замкнутого контура в нем возникает ЭДС (по-простому считайте, что напряжение). Эта ЭДС, применительно к медному цилиндру, тут же вызывает появление в цилиндре тока. При этом этот ток тоже создает свой, ответный магнитный поток, направленный ровно в противоположную сторону от изменения потока магнита, который мы

подносим:
Индукционный ток, возникающий в замкнутом проводящем контуре, имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле противодействует тому изменению магнитного потока, которым был вызван данный ток.

Это можно понимать так, что замкнутый контур сопротивляется изменению магнитного потока внутри себя. Если вы резко поднесёте магнит к медному цилиндру, т.е. сделаете резкое изменение магнитного потока, то в цилиндре потекут такие ответные токи, что магнитное поле внутри цилиндра в первый момент времени будет равно нулю: магнитное поле поднесенного магнита будет полностью скомпенсировано магнитным полем токов цилиндра (с допущениями, конечно). Если магнит поднести и держать, то токи в цилиндре из-за наличия активного сопротивления меди постепенно спадают, а поле цилиндра, создаваемое его токами, пропадет: магнитный поток постоянного магнита «прорвется» внутрь цилиндра, как будто никакого цилиндра и нет. Но стоит попытаться убрать магнит, как цилиндр отреагирует снова – теперь он будет пытаться сам «воссоздать» внутри себя пропадающий магнитный поток, т.е. будет опять сопротивляться изменению магнитного потока, в данном случае его исчезновению. Но что значит «воссоздать магнитный поток»? Это значит, что на какое-то время медный цилиндр можно считать условно «постоянным магнитом» – в нем циркулирует вихревой ток, создающий магнитное поле (на этом же принципе «висят» сверхпроводники в магнитном поле, но это совсем другая история).

Давайте теперь обратимся к конструкции асинхронного двигателя. Ротор асинхронного двигателя условно можно представлять себе также в виде медного цилиндра. Но в реальных конструкциях это некая решётка в виде «беличьей клетки» (рисунок 1) из меди или алюминия, совмещенная с магнитопроводом (шихтованное железо).

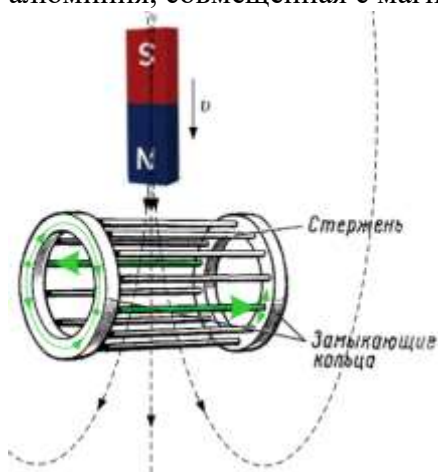


Рисунок 1. Ротор асинхронного двигателя типа «беличья клетка» с током в одной из «рамок» беличьей клетки, реагирующей на нарастание внешнего магнитного поля.

На рисунке схематично показано протекание тока в одной из «рамок», т.е. в некоторых прутьях беличьей клетки, если сверху поднести магнит (создать ток в статоре). На самом деле ток в этом случае протекает во всех прутьях, кроме, условно, верхнего и нижнего, для которых изменения потока нет (но они бы среагировали на горизонтально поднесенный магнит).

Помните ещё из начала прошлой статьи картинку со схематическим изображением двухфазной синхронной машины, где ротором был магнит? Давайте теперь сделаем из неё асинхронный двигатель: вместо магнита поставим две перпендикулярные короткозамкнутые катушки, символизирующие медный цилиндр ротора (рисунок 2).

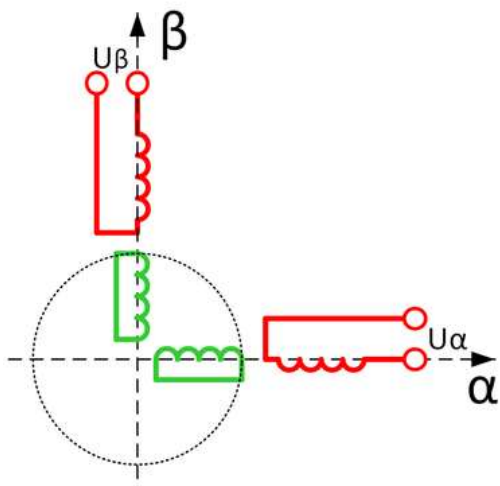


Рисунок 2. Схематическое изображение двухфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Замена цилиндра на две катушки для пояснения принципа работы (или моделирования) корректна, точно также как корректна замена трехфазной обмотки на двухфазную. Только в этом случае мы заменяем... «бесконечнофазную обмотку» цилиндра (бесконечное число рамок) на две катушки с эквивалентной индуктивностью и сопротивлением. Ведь двумя катушками можно создать точно такой же вектор тока и магнитного потока, как и цилиндром.

А теперь давайте сделаем на короткое время из асинхронной машины синхронную. Подадим в катушку оси β постоянный ток и подождем секунды две-три, пока в роторе перестанут течь ответные токи: «поднесем внешний магнит». То есть дождемся спадаания токов в роторе, чтобы магнитное поле статора «пронзило ротор» и никто ему не мешал. Что теперь будет, если выключить ток в статоре? Правильно, на те же две-три секунды, пока ток ротора этому противится, мы из ротора получим «обычный магнит» (рисунок 3).

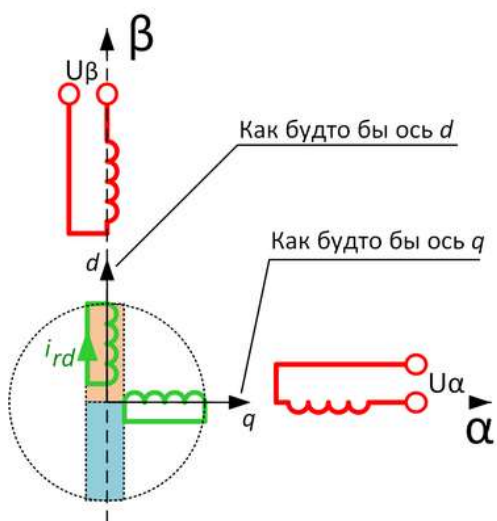


Рисунок 3. Асинхронный двигатель, когда только что выключили постоянный ток по

фазе β – течет ток в роторе i_{rd} .

Что же мы ждем? Быстрее, пока магнит не пропал, рисуем вдоль него привычную ось d (как в синхронной машине) и перпендикулярную ей ось q , привязанные к ротору. Включаем структуру векторного управления синхронной машиной, подаем ток по оси q , создавая момент, поехали!

Так можно даже действительно сделать несколько оборотов, пока наш сахарный магнит не растаял, а ось d не ушла в небытие. Что же делать? Давайте не будем выключать ток по оси d , подпитывая наш магнит! И опять же сохраним структуру векторного управления синхронной машиной, просто подав задание по оси d (раньше там был ноль). Итак, смотрим на рисунок 4: оси d, q по датчику положения «приделаны» к ротору, двигатель стоит, подан ток по оси d в статоре, что в данном случае для стоячей машины совпадает с осью β . Тока по оси q пока нет: ждем, пока ротор «намагнитится». И вот подаем ток i_{sq} (s – статор)! Поехали!

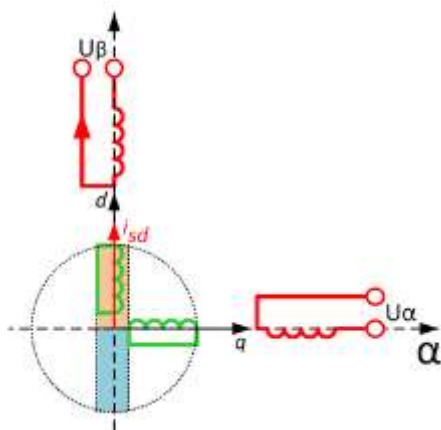


Рисунок 4. Подадим ток в ось d , намагнитив машину, подготовив всё для подачи тока в ось q статора.

Далеко ли мы уедем таким методом барона Мюнхгаузена? К сожалению, нет. Смотрите, что произошло (рисунок 5):

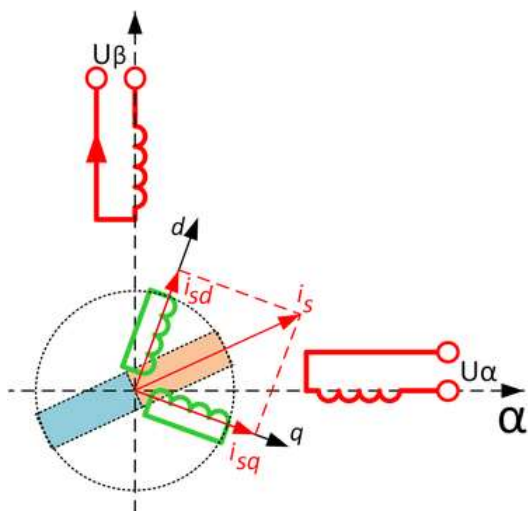


Рисунок 5. А магнит-то сполз!

Двигатель начал крутиться, но через некоторое время после того, как мы подали ток в ось q , образовав суммарный ток i_s и «прибив» этот вектор к положению ротора, магнит в роторе

«съехал»! И встал ровно вдоль вектора i_s . Ротор же не понимает, где мы нарисовали ему оси d, q ... Ему все равно, крутился он или нет. Важно, что его внутренний «наведенный магнит» в конечном счете хочет стать сонаправленным с магнитным потоком статора, «подчиниться» внешнему потоку. Из-за съехавшего магнита двигатель перестанет крутиться: мало того, что между магнитом ротора и током i_q нет желаемых 90 градусов, так еще и ток оси d теперь его тянет в противоположную сторону, компенсируя момент, создаваемый током i_q . Метод барона Мюнхгаузена не удался.

Что же делать с ускользящим магнитом ротора? А давайте сделаем структуру векторного управления асинхронного двигателя не в осях d, q , приделанных к ротору, а в других осях, приделанных именно к текущему положению «магнита ротора» – назовем их оси x, y , чтобы отличать от d, q . По «научному» – это оси, ориентированные по потокосцеплению ротора. Но как же узнать, где конкретно сейчас это потокосцепление ротора, т.е. куда повернут магнит в роторе? Его положение зависит... во-первых, от положения самого ротора (датчик положения у нас есть, хорошо), во-вторых, от токов статора (создающих поток статора, по которому и собирается в конечном счете повернуться магнит ротора), а в-третьих от параметров роторной цепи – индуктивности и сопротивления «медного цилиндра» (он же беличья клетка, он же роторная обмотка, он же цепь ротора). Поэтому... зная всё это, положение «магнита» ротора можно просто вычислять по нескольким дифференциальным уравнениям. Делает это так называемый наблюдатель потокосцепления ротора, выделенный цветом на итоговой структурной схеме векторного управления асинхронным двигателем (рисунок 6).

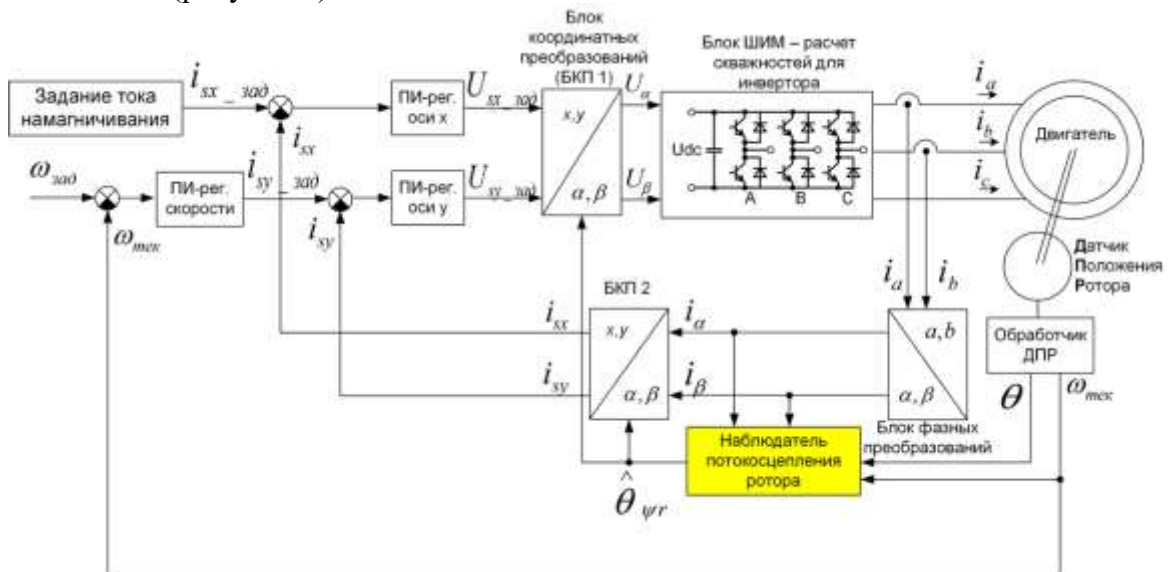


Рисунок 6. Векторная датчиковая структура управления асинхронным двигателем

В наблюдатель заводятся показания с датчика положения ротора, а также текущие токи статора в осях α, β . На выходе наблюдателя – положение «магнита» ротора, а именно угол

наблюдаемого потокосцепления ротора $\hat{\theta}_{\psi r}$. В остальном структура полностью аналогична таковой для синхронной машины, только оси d, q переименованы в x, y , а на ось x подано задание тока, который будет поддерживать наш «магнит» в роторе. Также на многих обозначениях добавлен индекс “s”, чтобы показать, что данная величина имеет отношение к статору, а не к ротору. Также надо отметить, что в западной литературе не используют оси x, y : у них ось d всегда направлена по полю ротора, что для асинхронного двигателя, что для синхронного. Наши ученые еще в советское время разделили оси d, q и x, y , чтобы исключить путаницу: d, q прикреплены к ротору, а x, y к полю ротора.

Что же получается? Магнит ротора всё время скользит, сползает от текущего положения на роторе в сторону тока оси y . Чем больше этот ток, тем сильнее скольжение. Наблюдатель в реальном времени вычисляет положение этого магнита и «подкручивает» оси x, y всё время вперед по отношению к осям d, q (положению ротора). Ось x всегда соответствует текущему положению потокосцепления в роторе – положению «магнита». Т.е. оси x, y бегут всегда (в двигательном режиме) немного быстрее вращения ротора, компенсируя скольжение в нем. Токи в роторе, если их измерить или промоделировать, получаются синусоидальными. Только изменяются они не с частотой статорных токов, а с частотой этого скольжения, т.е. очень медленно. Если в статоре промышленного асинхронника 50Гц, то при работе под нагрузкой частота тока в роторе – единицы герц. Вот, собственно, и весь секрет векторного управления для асинхронного двигателя.

Чем векторное управление асинхронным двигателем лучше, чем скалярное? Скалярное управление это такое, когда к двигателю прикладывается напряжение заданной частоты и амплитуды – например, 380В 50Гц. И от нагрузки на роторе оно не зависит – никаких регуляторов токов, векторов... Просто задается частота напряжения и его амплитуда – скалярные величины, а токи и потоки в двигателе пусть сами себе удобное место находят, как хотят. В установившемся режиме работы двигателя векторное управление неотличимо от скалярного – векторное точно также будет прикладывать при номинальной нагрузке те же, скажем, 380В, 50Гц. Но в переходных режимах... если нужно быстро запустить двигатель с заданным моментом, если нужно отработать диаграмму движения, если есть импульсная нагрузка, если нужно сделать генераторный режим с определенным уровнем мощности – всё это скалярное управление или не может сделать, или делает это с отвратительными, медленными переходными процессами, которые могут к тому же «выбить защиту» преобразователя частоты по превышению тока или напряжения звена постоянного тока (двигатель колеблется и может запрыгивать в генераторный режим, к которому преобразователь частоты не всегда приспособлен).

В векторной же структуре «всё под контролем». Момент вы задаете сами, поток тоже. Можно ограничить их на нужном уровне, чтобы не превысить уставок защиты. Можно контролируемо форсировать токи, если кратковременно нужно сделать в несколько раз больший момент. Можно регулировать не только момент двигателя, но и поток (ток оси x): если нагрузка на двигателе мала, то нет никакого смысла держать полный поток в роторе (делать магнит «номинального режима») – можно ослабить его, уменьшив потери. Можно стабилизировать скорость регулятором скорости с высокой точностью и быстродействием. Можно использовать асинхронный привод в качестве тягового (в транспорте), задавая требуемый момент тяги. В общем, для сложных применений с динамичной работой двигателя векторное управление асинхронным двигателем незаменимо.

Также есть отличительные особенности векторного управления асинхронного двигателя от синхронного. Первая – это датчик положения. Если для синхронного привода нам нужно знать абсолютное положение ротора, чтобы понять, где магнит, то в асинхронном приводе этого не требуется. Ротор не имеет какой-то выраженной полюсной структуры, «магнит» в нем постоянно скользит, а если посмотреть в формулы наблюдателя потокосцепления ротора, то там не требуется знания положения: в формулы входит только частота вращения ротора (на самом деле есть разные формулы, но в общем случае так). Поэтому на датчике можно сэкономить: достаточно обычного инкрементального энкодера для отслеживания частоты вращения (или даже тахогенератора), абсолютные датчики положения не требуются. Вторая особенность – управление потоком в асинхронном электродвигателе. В синхронной машине с постоянными магнитами поток не регулируется, что ограничивает максимальную частоту вращения двигателя: перестает хватать напряжения на инверторе. В

асинхронном двигателе, когда это случается... просто уменьшаете задание по оси x и едете дальше! Максимальная частота не ограничена! Да, от этого будет снижаться момент двигателя, но, главное, ехать «вверх» можно, в отличие от синхронной машины (по-правде там тоже можно, но недалеко, не для всех двигателей и с кучей проблем).

Точно также существуют бездатчиковые алгоритмы векторного управления асинхронным двигателем, которые оценивают угол потока сцепления ротора не используя сигнал датчика положения (или скорости) вала ротора. Точно также, как и для синхронных машин, в работе таких систем есть проблемы на низкой частоте вращения ротора, где ЭДС двигателя мала.

Также следует сказать пару слов о роторе. Если для промышленных асинхронных двигателей его удешевляют, используя алюминиевую беличью клетку, то в тяге, где массогабаритные показатели важнее, наоборот, могут использовать медный цилиндр. Так, во всеми любимом электромобиле Tesla стоит именно асинхронный электродвигатель с медным ротором

Контрольная работа

1. электромагнитная индукция
2. Индукционный ток
3. Ротор асинхронного двигателя типа «беличья клетка» с током в одной из «рамок» беличьей клетки, реагирующей на нарастание внешнего магнитного поля.

Тема 16. Типовые системы управления электроприводом тиристорный преобразователь

В промышленности широкое распространение получили приводы с управляемыми полупроводниковыми вентилями — тиристорами. Тиристоры изготавливают на ток, достигающий до сотен ампер, на напряжение до 1000 и более вольт. Они отличаются высоким к. п. д., относительно малыми размерами, высоким быстродействием и способностью работать в широком диапазоне температуры окружающей среды (от -60 до $+60$ °C).

Тиристор представляет собой не полностью управляемый прибор, который включается подачей соответствующего потенциала на управляющий электрод, а отключается только принудительным разрывом цепи тока за счет отключения напряжения, естественного перехода его через нуль или подачи гасящего напряжения обратного знака. Изменением момента подачи управляющего напряжения (его задержкой) можно регулировать среднее значение выпрямленного напряжения и тем самым скорость двигателя.

Среднее значение выпрямленного напряжения при отсутствии регулирования в основном определяется схемой включения тиристорного преобразователя. Схемы преобразователей делятся на два класса: с нулевым выводом и мостовые.

В установках средней и большой мощности преимущественно используются мостовые схемы преобразователей, что в основном обусловлено двумя причинами:

- меньшим напряжением на каждом из тиристорov,
- отсутствием постоянной составляющей тока, протекающего по обмоткам трансформатора.

Схемы преобразователей могут также отличаться числом фаз: от одной в установках малой мощности до 12 - 24 в мощных преобразователях.

Все варианты тиристорных преобразователей наряду с положительными свойствами, как-то малой инерционностью, отсутствием вращающихся элементов, меньшими (по сравнению с электромеханическими преобразователями) габаритами, обладают и рядом недостатков:

1. Жесткая связь с питающей сетью: все колебания напряжения в сети непосредственно передаются в систему привода, а толчки нагрузки на оси двигателя немедленно передаются в сеть и вызывают всплески тока.

2. Низкий коэффициент мощности при регулировании напряжения в сторону снижения.

3. Генерация высших гармонических, загружающих питающую сеть.

Механическая характеристика двигателя, питаемого от тиристорного преобразователя, определяется напряжением, приложенным к якорю, и характером его изменения с нагрузкой, т. е. внешней характеристикой преобразователя и параметрами преобразователя и двигателя.

Устройство и принцип действия тиристора

Тиристор (рис. 1, а) представляет собой четырехслойный кремниевый полупроводник с двумя p-n-переходами и одним n-p-переходом. Величина силы тока I , проходящего через тиристор под действием анодного напряжения U_a , зависит от тока I_y управления, проходящего через управляющий электрод под действием напряжения U_y управления.

Если ток управления отсутствует ($I_y = 0$), то при повышении напряжения U_a ток I в цепи потребителя П будет нарастать, оставаясь, однако, весьма малым по величине (рис. 1, б).

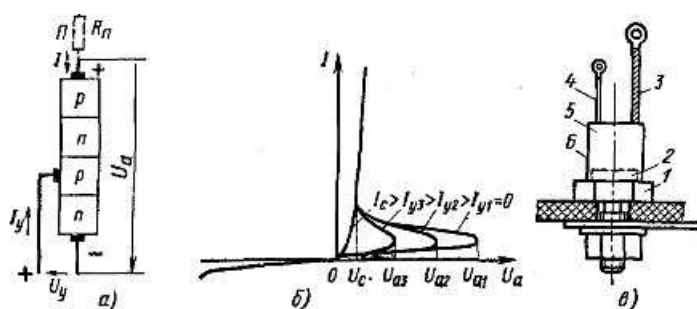


Рис. 1. Структурная схема (а), вольтамперная характеристика (б) и конструктивное оформление (в) тиристора

В это время переход n-p, включенный в непроводящем направлении, обладает большим сопротивлением. При определенном значении U_a анодного напряжения, называемом напряжением открывания, зажигания или переключения, наступает лавинный пробой запирающего слоя. Его сопротивление становится малым, а сила тока возрастает до значения, определяемого, в соответствии с законом Ома, сопротивлением R_n потребителя П.

При увеличении силы тока I_y напряжение U_a уменьшается. Ток I_y , при котором напряжение U_a достигает наименьшего значения, называют током I_c спрямления.

Закрывание тиристора происходит при снятии напряжения U_a или при изменении его знака. Номинальной силой тока I_n тиристора называют наибольшее среднее значение силы тока, проходящего в прямом направлении, не вызывающее недопустимого перегрева.

Номинальным напряжением U_n называют наибольшее допустимое амплитудное напряжение, при котором обеспечивается заданная надежность прибора.

Падение напряжения ΔU_n , созданное номинальным током, называют номинальным падением напряжения (обычно $\Delta U_n = 1 - 2$ В).

Величина силы тока I_c спрямления колеблется в пределах 0,1 - 0,4 А при напряжении U_c 6 - 8 В.

Тиристор надежно открывается при длительности импульса в 20 - 30 мкс. Интервал между импульсами не должен быть менее 100 мкс. Когда напряжение U_a уменьшается до нуля, тиристор запирается.

Внешнее конструктивное оформление тиристора приведено на рис. 1, в. На медном основании 1 с шестигранной огранкой и хвостовиком с резьбой укрепляется кремниевая четырехслойная структура 2 с силовым отрицательным 3 и управляющим 4 выводами. Кремниевая структура защищена металлическим кожухом 5 цилиндрической формы. В кожухе укреплен изолятор 6. Резьбу в основании 1 используют для установки тиристора и для присоединения к положительному полюсу источника анодного напряжения.

При увеличении напряжения U_a уменьшается ток управления, необходимый для открывания тиристора (см. рис. 1, б). Ток управления открывания пропорционален напряжению u_{yo} управления открывания.

Если U_a меняется по закону синуса (рис. 2), то необходимые напряжения и 0 открывания могут быть изображены штриховой линией. Если приложенное напряжение управления U_{y1} постоянно и его значение ниже минимального значения напряжения u_{yo} , то тиристор не открывается.

Если напряжение управления увеличить до значения U_{y2} , то тиристор откроется, как только напряжение U_{y2} окажется больше напряжения u_{yo} . Изменяя величину u_{yo} , можно изменять угол открывания тиристора в пределах от 0 до 90° .

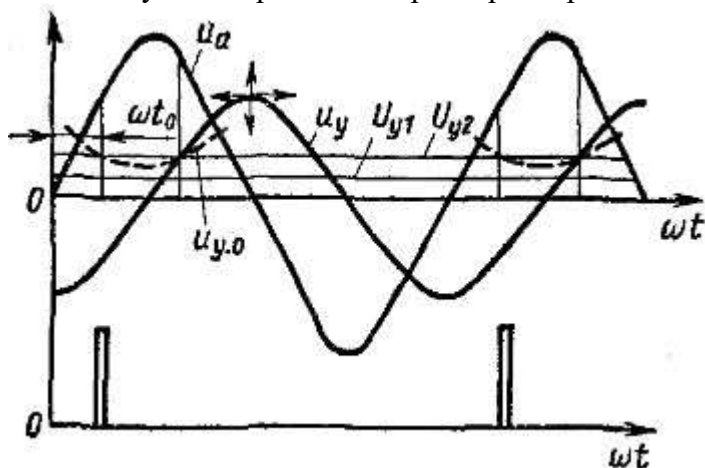


Рис. 2. Управление тиристором

Для открывания тиристора при углах, превышающих 90° , применяют переменное напряжение управления u_y , изменяющееся, например, синусоидально. При напряжении, соответствующем точке пересечения синусоидой этого напряжения штриховой кривой $u_{yo} = f(\omega t)$, тиристор открывается.

Смещая синусоиду u_{yo} по горизонтали вправо или влево, можно изменять угол ωt_0 открывания тиристора. Такое управление углом открывания называют горизонтальным. Его осуществляют посредством специальных фазосмещателей.

Смещая ту же синусоиду по вертикали вверх или вниз, также можно изменять угол открывания. Такое управление называют вертикальным. В этом случае с переменным напряжением управления u_y алгебраически складывают постоянное напряжение, например, напряжение U_{y1} . Угол открывания регулируют путем изменения величины этого напряжения.

После открывания тиристор остается открытым до конца положительного полупериода, и напряжение управления не влияет на его работу. Это позволяет применить также импульсное управление, периодически подавая положительные импульсы напряжения управления в нужные моменты времени (рис. 2 внизу). При этом повышается четкость управления.

Изменяя тем или иным способом угол открывания тиристора, можно подавать на потребитель импульсы напряжения различной формы. При этом изменяется величина среднего значения напряжения на зажимах потребителя.

Для управления тиристорами применяют различные устройства. В схеме, показанной на рис. 3, напряжение сети переменного тока подается на первичную обмотку трансформатора $Tr1$.

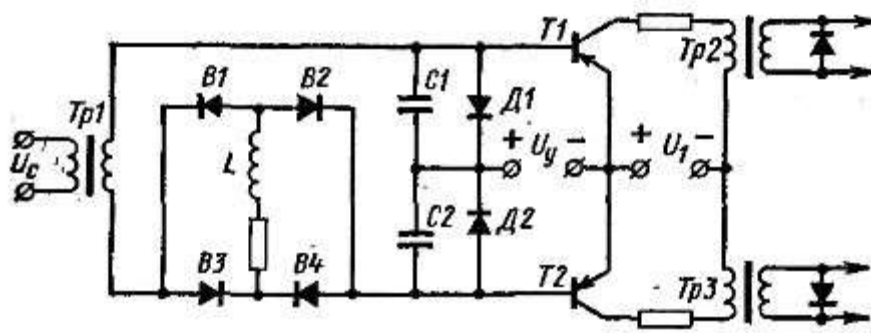


Рис. 3. Схема управления тиристорами

В цепь вторичной обмотки этого трансформатора включен двухполупериодный выпрямитель В1, В2, В3, В4 со значительной индуктивностью L в цепи постоянного тока. Пульсации выпрямленного тока при этом практически устраняются. Но такой постоянный ток может быть получен лишь при двухполупериодном выпрямлении переменного тока, имеющего форму, показанную на рис. 4, а.

Таким образом, в данном случае выпрямитель В1, В2, В3, В4 (см. рис. 3) является преобразователем формы переменного тока. При такой схеме конденсаторы $C1$ и $C2$ попеременно заряжаются прямоугольными импульсами тока (рис. 4, а). При этом на обкладках конденсаторов $C1$ и $C2$ образуется пилообразное напряжение (рис. 4, б), приложенное к базам транзисторов $T1$ и $T2$ (см. рис. 3).

Это напряжение называют опорным. В цепи базы каждого транзистора действует также и напряжение U_y постоянного тока. Когда пилообразное напряжение равно нулю, напряжение U_y создает на базах обоих транзисторов положительные потенциалы. Каждый транзистор открывается током базы при отрицательном потенциале на базе.

Это происходит, когда отрицательные значения пилообразного опорного напряжения оказываются большими, чем U_y (рис. 4, б). Это условие выполняется в зависимости от величины U_y при различных значениях фазового угла. При этом транзистор открывается на различные промежутки времени в зависимости от величины напряжения U_y .

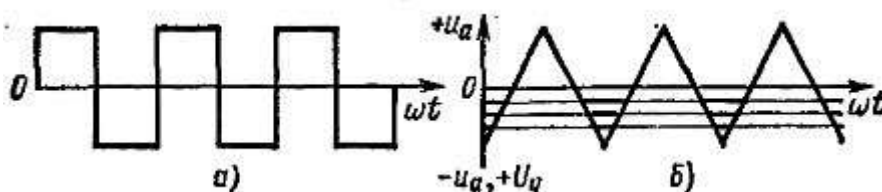


Рис. 4. Графики напряжений управления тиристорами

Когда тот или другой транзистор открывается, через первичную обмотку трансформатора $Tr2$ или $Tr3$ (см. рис. 3) проходит прямоугольный импульс тока. При прохождении переднего фронта этого импульса во вторичной обмотке возникает импульс напряжения, который подается на управляющий электрод тиристора.

При прохождении заднего фронта импульса тока во вторичной обмотке возникает импульс напряжения противоположной полярности. Этот импульс замыкается полупроводниковым диодом, шунтирующим вторичную обмотку, и на тиристор не подается.

При управлении тиристорами (см. рис. 3) двумя трансформаторами создают два импульса, сдвинутых по фазе на 180° .

Системы тиристорного управления двигателями

В системах тиристорного управления двигателями постоянного тока изменение постоянного напряжения на якоре двигателя используют для регулирования его частоты вращения. В этих случаях обычно используют схемы многофазного выпрямления.

На рис. 5, а сплошной линией показана простейшая схема такого рода. В этой схеме каждый из тиристоров $T1$, $T2$, $T3$ включен последовательно со вторичной обмоткой трансформатора и якорем электродвигателя; э. д. с. вторичных обмоток сдвинуты по фазе. Поэтому на якорь

двигателя при управлении углом открывания тиристорами подаются импульсы напряжения, сдвинутые по фазе друг относительно друга.

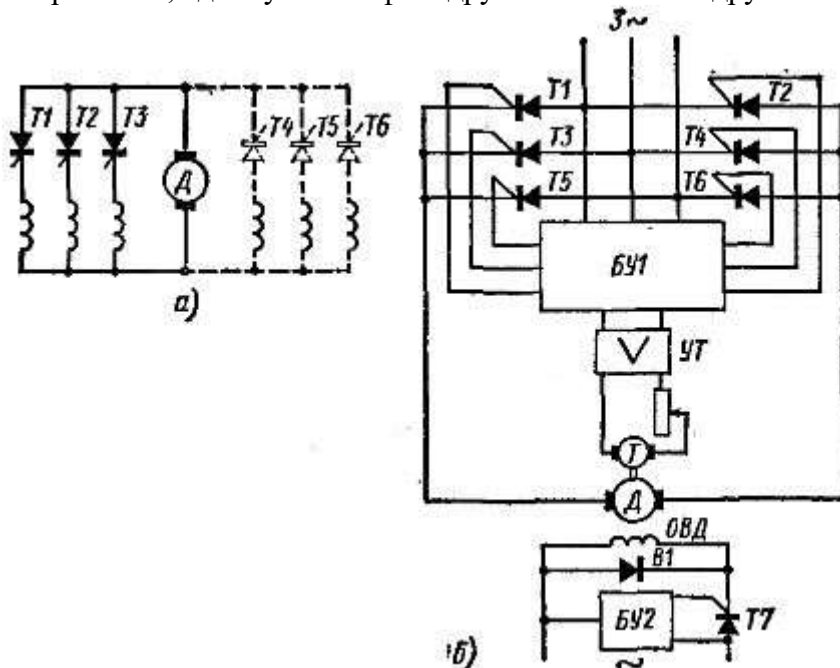


Рис. 5. Схемы тиристорного привода

В многофазной схеме, в зависимости от выбранного угла зажигания тиристоров, через якорь двигателя могут протекать прерывистые и непрерывные токи. У реверсивного электропривода (рис. 5, а, вся схема) используют два комплекта тиристоров: Т1, Т2, Т3 и Т4, Т5, Т6.

Открывая тиристоры той или иной группы, изменяют направление тока в якоре электродвигателя и, следовательно, направление его вращения.

Реверс двигателя может быть также осуществлен путем изменения направления тока в обмотке возбуждения электродвигателя. Такой реверс применяют в тех случаях, когда не требуется высокого быстродействия, поскольку обмотка возбуждения обладает по сравнению с обмоткой якоря весьма высокой индуктивностью. Такой реверс часто применяют для тиристорных приводов главного движения металлорежущих станков.

Второй комплект тиристоров позволяет также осуществить тормозные режимы, требующие изменения направления тока в цепи якоря электродвигателя. Тиристоры в рассматриваемых схемах привода используют для включения и отключения двигателя, а также для ограничения величины пускового и тормозного тока, исключая необходимость применения контакторов, а также пусковых и тормозных реостатов.

В схемах тиристорного электропривода постоянного тока силовые трансформаторы нежелательны. Они повышают размеры и стоимость установки, поэтому часто используют схему, приведенную на рис. 5, б.

В этой схеме управления зажиганием тиристоров осуществляет блок управления БУ1. Его присоединяют к сети трехфазного тока, обеспечивая этим питание и согласование фаз импульсов управления с анодным напряжением тиристоров.

В тиристорном приводе обычно применяют обратную связь по частоте вращения электродвигателя. При этом используют тахогенератор Т и промежуточный транзисторный усилитель УТ. Применяют также обратную связь по э. д. с. электродвигателя, осуществляемую путем одновременного действия отрицательной обратной связи по напряжению и положительной обратной связи по току якоря.

Для регулирования тока возбуждения применяют тиристор Т7 с блоком управления БУ2. В отрицательные полупериоды анодного напряжения, когда тиристор Т7 не пропускает ток,

ток в ОВД продолжает протекать за счет э. д. с. самоиндукции, замыкаясь через шунтирующий вентиль В1.

Тиристорные электроприводы с широтно-импульсным управлением

В рассмотренных тиристорных приводах питание двигателя осуществляется импульсами напряжения частотой 50 Гц. В целях увеличения быстродействия частоту импульсов целесообразно повышать. Это достигается в тиристорных приводах с широтно-импульсным управлением, где через якорь двигателя пропускают прямоугольные импульсы постоянного тока различной длительности (широты) частотой до 2-5 кГц. Помимо высокого быстродействия такое управление обеспечивает большие диапазоны регулирования частоты вращения электродвигателя и более высокие энергетические показатели.

При широтно-импульсном управлении двигатель питается от неуправляемого выпрямителя, а тиристор, включенный последовательно с якорем, периодически закрывается и открывается. При этом через цепь якоря двигателя проходят импульсы постоянного тока. Изменение длительности (широты) этих импульсов приводит к изменению частоты вращения электродвигателя.

Поскольку в данном случае тиристор работает под постоянным напряжением, для его закрывания применяют особые схемы. Одна из простейших схем широтно-импульсного управления приведена на рис. 6.

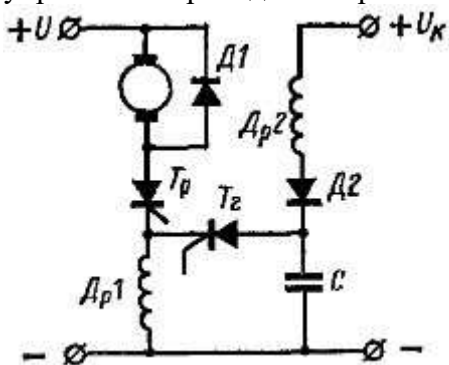


Рис. 6. Тиристорный электропривод с широтно-импульсным управлением

В этой схеме тиристор Тр запирается при включении тиристора Тг гашения. При открывании этого тиристора заряженный конденсатор С разряжается на дроссель Др1, создавая в нем значительную э. д. с. При этом на концах дросселя возникает напряжение, большее, чем напряжение U силового выпрямителя и направленное ему навстречу.

Через силовой выпрямитель и шунтирующий диод Д1 это напряжение подается на тиристор Тр и вызывает его запираение. При запираении тиристора конденсатор С вновь заряжается до напряжения коммутации $U_k > U$.

Вследствие повышенной частоты импульсов тока и инерции якоря двигателя импульсный характер питания на плавности вращения двигателя практически не отражается. Тиристоры Тр и Тг открываются посредством специальной фазосмещающей схемы, позволяющей изменять ширину импульса.

Электропромышленность выпускает различные модификации комплектных регулируемых тиристорных электроприводов постоянного тока мощностью. Среди них имеются приводы с диапазонами регулирования частоты вращения 1:20; 1:200; 1:2000 путем изменения напряжения, нереверсивные и реверсивные приводы, с электрическим торможением и без него. Управление осуществляется транзисторными фазоимпульсными устройствами. В приводах используют отрицательные обратные связи по частоте вращения двигателей и по противо-э. д. с.

Преимуществами тиристорных приводов являются высокие энергетические показатели, малые размеры и масса, отсутствие каких-либо вращающихся машин помимо электродвигателя, высокое быстродействие, постоянная готовность к работе. Основным

недостатком тиристорных приводов является их пока еще высокая стоимость, значительно превышающая стоимость приводов с электромашинными и магнитными усилителями. В настоящее время существует устойчивая тенденция повсеместной замены тиристорных электроприводов постоянного тока на частотно-регулируемые электроприводы переменного тока.

Контрольные вопросы:

1. Тиристоры
2. Устройство и принцип действия тиристора
3. Системы тиристорного управления двигателями
4. Тиристорные электроприводы с широтно-импульсным управлением
5. Преимуществами тиристорных приводов являются

Тема 17. Управление синхронным двигателем.

Схемы управления синхронными двигателями можно условно разделить на релейно-контакторные, применяемые для пуска, синхронизации с сетью и останова нерегулируемых по скорости электроприводов, и схемы с силовыми преобразователями, предназначенные для регулирования переменных ЭП с синхронными двигателями.

Релейно-контакторные схемы управления двигателей кроме операций по включению и отключению двигателя, ограничению пусковых токов и его синхронизации с сетью должны обеспечивать и соответствующее регулирование тока возбуждения. Электротехническая промышленность выпускает широкую номенклатуру типовых панелей и шкафов управления для синхронных двигателей различных мощностей и уровней номинального напряжения.

Типовая схема управления возбуждением двигателя в функции скорости. Подключение обмотки возбуждения к источнику питания U_B осуществляется контактором $KM2$ (рис. 6.10, *a*), который управляется реле скорости KR . Катушка этого реле связана с частью разрядного резистора R_p через диод VD .

При включении контактора $KM1$ (его цепи управления на рисунке не показаны) обмотка статора двигателя подключается к сети переменного тока и образует вращающееся магнитное поле, под действием которого он начнет разбег и которое наведет ЭДС в обмотке возбуждения двигателя. Под действием ЭДС по катушке реле KR начнет протекать выпрямленный ток, оно включится и разомкнет цепь питания контактора $KM2$. Разбег двигателя будет происходить без тока возбуждения с закороченной на разрядный резистор R_p обмоткой возбуждения.

По мере роста скорости ротора его ЭДС и ток в катушке реле KR , снижаются. При подсинхронной скорости ток в катушке реле KR станет меньше тока отпускания, реле отключится и вызовет тем самым включение контактора $KM2$. Контактор $KM2$ подключит обмотку возбуждения к источнику питания. Далее происходит процесс синхронизации СД с сетью.

Схема управления возбуждением двигателя в функции тока (рис. 6.10, б) содержит реле тока KA , обмотка которого питается от трансформатора тока TA , и реле времени KT . При подключении двигателя к сети контактором $KM1$ в цепи обмотки статора возникает бросок пускового тока, что приводит к срабатыванию реле KA . Контакт этого реле замыкает цепь питания реле времени KT , что вызывает отключение контактора возбуждения $KM2$. Разбег двигателя, как и в предыдущем случае, осуществляется с закороченной на разрядный резистор R_p обмоткой возбуждения.

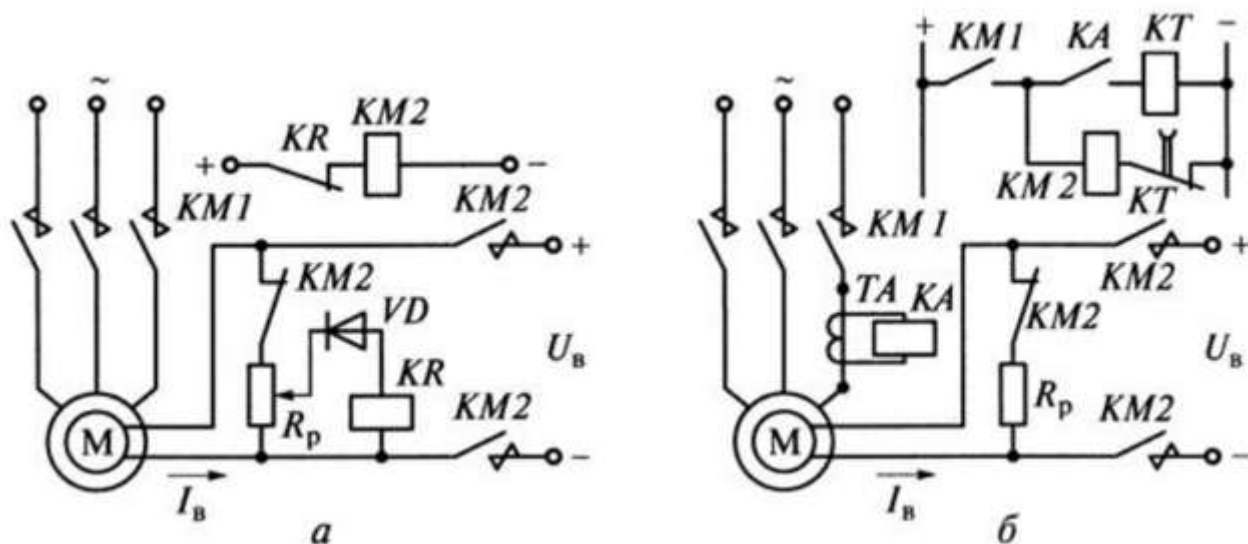


Рис. 6.10. Схемы управления пуском двигателя с использованием принципа скорости (а) и тока (б)

В конце пуска при подсинхронной скорости двигателя и уменьшении тока в статоре реле KA отключается и катушка реле времени KT теряет питание. Через заданную выдержку времени включается контактор $KM2$, и через его контакты обмотка возбуждения подключается к источнику питания U , после чего двигатель втягивается в синхронизм.

Отметим, что в рассмотренных схемах после срабатывания контактора возбуждения $KM2$ разрывается цепь разрядного резистора R_p , что облегчает тепловой режим его работы и повышает экономичность схемы.

Электротехническая промышленность выпускает типовые панели и шкафы управления синхронными двигателями разных типов. Рассмотрим в качестве примера схему одной из таких панелей.

Схема типовой панели ПУ 7502 управления низковольтным синхронным двигателем приведена на рис. 6.11. Панель управления обеспечивает прямой (без токоограничения) пуск с глухоподключенным возбудителем G и форсировку возбуждения при снижении уровня питающего напряжения. В схеме предусмотрены также защиты: тепловая (реле KK и трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$), токовая (автоматы $QF1$ и $QF2$), от снижения напряжения сети переменного тока (реле $KV2$, $KV3$) и постоянного тока (реле $KV1$).

Пуск двигателя может быть осуществлен только при нормальных уровнях питающих схему напряжений постоянного и переменного тока. В этом случае, если рукоятка командоконтроллера SA находится в среднем положении и включены автоматы $QF1$ и $QF2$, срабатывают реле напряжения $KV2$, $KV3$ и реле времени KT , что подготавливает схему к пуску двигателя.

При переводе рукоятки SA в положение «Включено» срабатывает реле $KV1$ и катушка линейного контактора $KM1$ подключается к ис-

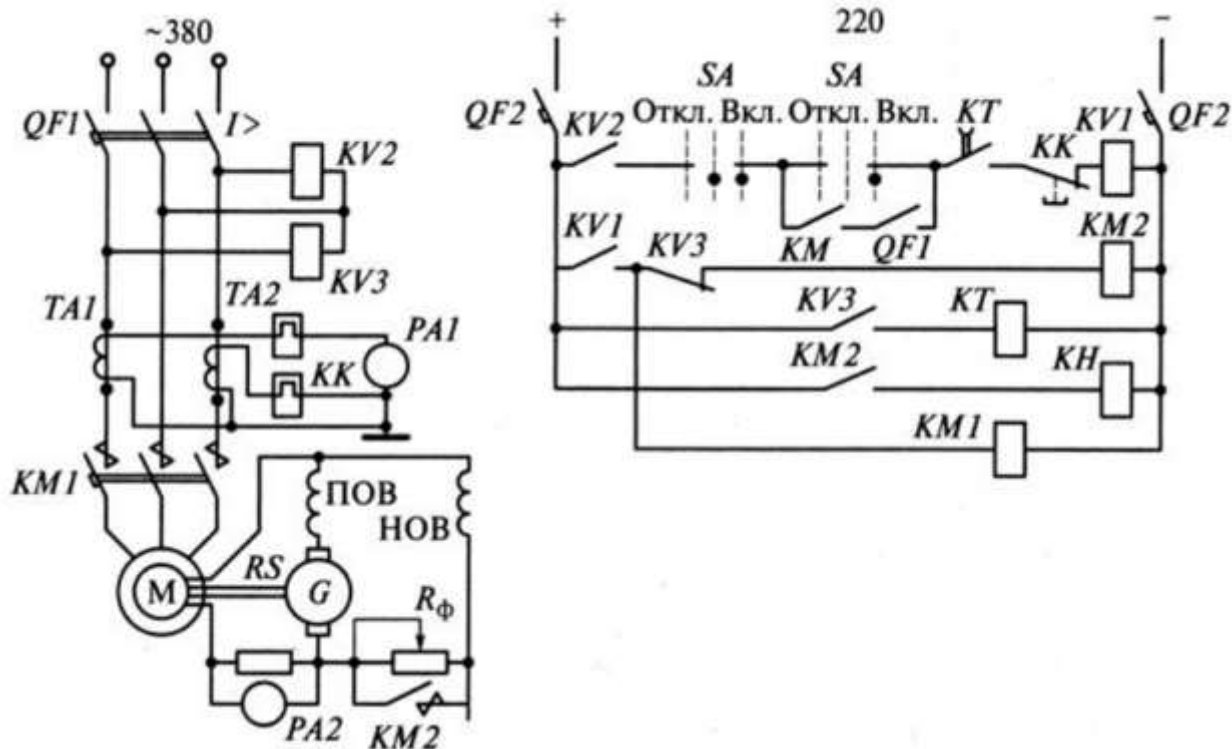


Рис. 6.11. Схема синхронного электропривода с использованием типовой панели управления

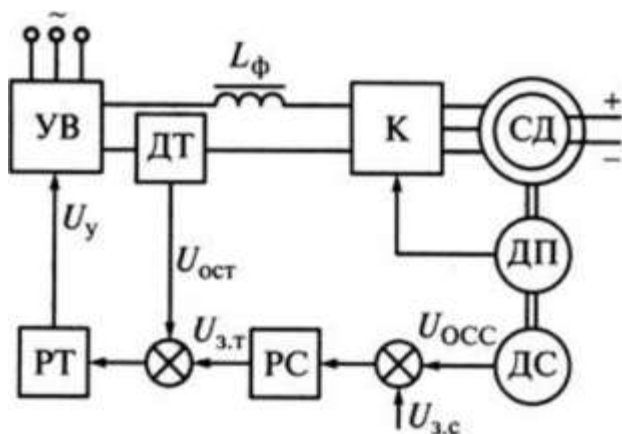
точнику питания, к обмотке статора двигателя подводится напряжение переменного тока, и он начинает разбег. При подсинхронной скорости происходит возбуждение возбудителя G и соответственно двигателя, который втягивается в синхронизм.

При резком снижении питающего напряжения происходит включение контактора $KM2$, который при этом шунтирует резистор форсировки R_{ϕ} . В результате возрастают токи возбуждения возбудителя и двигателя, увеличивается его ЭДС, что приводит к увеличению максимального момента и соответственно перегрузочной способности двигателя. О включении контактора форсировки $KM2$ сигнализирует указательное реле KH .

Для контроля тока статора двигателя в схеме предусмотрен амперметр $PA1$, а тока возбуждения — амперметр $PA2$, питаемый от шунта RS .

Замкнутая схема ЭП с вентильным двигателем, предназначенная для регулирования его скорости (рис. 6.12), построена по принципу подчиненного регулирования координат и включает в себя управляемый выпрямитель $УВ$, коммутатор (инвертор) $К$, реактор L , регуляторы тока $РТ$ и скорости $РС$, датчики тока $ДТ$, скорости $ДС$ и положения $ДП$. Схема обеспечивает механические характеристики ЭП, аналогичные показанным на рис. 5.36, б. По замкнутым структурам построены схемы автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных двигателей.

Рис. 6.12. Замкнутая схема вентильного двигателя



Контрольная работа:

1. Схемы управления синхронными двигателями
2. Релейно-контакторные схемы управления
3. Типовая схема управления возбуждением двигателя
4. Схема управления возбуждением двигателя в функции тока
5. Замкнутая схема ЭП с вентильным двигателем

Раздел 5. Микропроцессорные средства управления электроприводами.

Тема 18. Применение средств микропроцессорной техники в системах управления электроприводами.

В настоящее время микропроцессорные средства широко применяются во всех областях деятельности человека. Их основой является *микропроцессор* (МП) — программно-управляемое цифровое устройство, предназначенное для обработки информации и управления этим процессом.

Микропроцессор выполняется на основе одной или нескольких больших ИС (БИС), которые состоят из нескольких десятков тысяч простых элементов и могут иметь 24, 40, 48 и 64 вывода. Площадь БИС не превосходит нескольких десятков квадратных миллиметров, что определяет малое энергопотребление МП, его надежность в работе, небольшие массу и габаритные размеры, а при массовом выпуске — невысокую стоимость БИС. Выпуск БИС для МП в развитых странах удваивается примерно каждые 2 года.

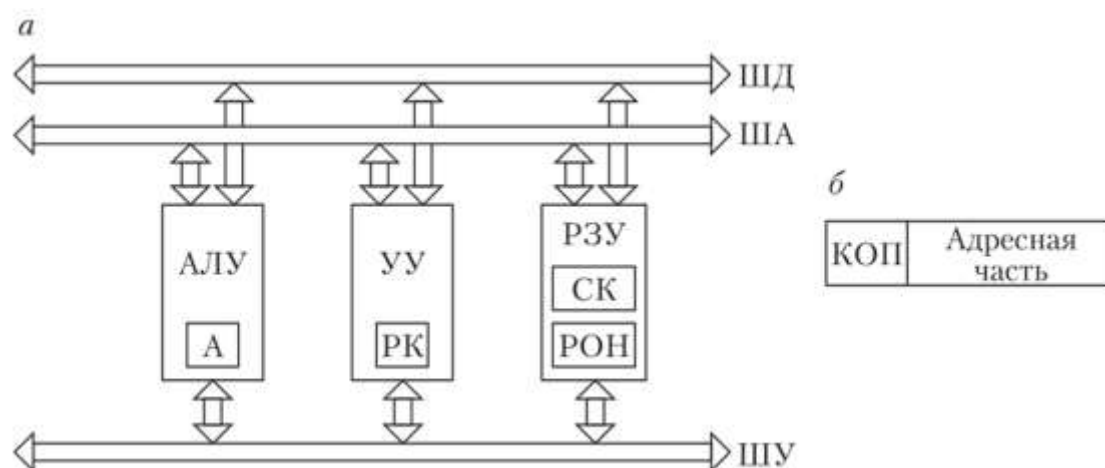


Рис. 2.12. Схема (а) и структура команды (б) микропроцессора

Структурная схема микропроцессора показана на рис. 2.12, а. В нее входят арифметико-логическое устройство (АЛУ), устройство управления (УУ) и регистровое запоминающее устройство (РЗУ). Эти три основные части МП соединены тремя линиями связи — шинами данных ШД, адресов ША и управления ШУ.

Арифметико-логическое устройство предназначено для выполнения арифметических и логических операций над данными в виде двоичных чисел. Данные, с которыми производятся эти операции, называются операндами. Обычно в операции участвуют два операнда, один из которых находится в специальном регистре — аккумуляторе А, а другой — в регистрах РЗУ или памяти МП. Иногда АЛУ называют операционной частью МП.

Регистровое запоминающее устройство содержит несколько регистров общего назначения (РОН), а также регистров специального назначения, в частности счетчик команд (СК). Иногда РЗУ называют внутренней памятью МП.

Управляющее устройство предназначено для выработки сигналов управления, обеспечивающих работу блоков МП. В состав УУ входит регистр команд (РК), в котором фиксируется выполняемая в данный момент команда.

Команды, обеспечивающие реализацию заданного алгоритма обработки информации, образуют программу и выполняются в пошаговом режиме строго в записанной последовательности.

Каждая команда программы содержит информацию о том, что нужно делать, с какими операндами и по какому адресу поместить результат операции. Для этого команда имеет структуру, приведенную на рис. 2.12, б. Первая часть команды содержит код операции (КОП), т.е. информацию о характере выполнения операции над операндами (например, сложение, логическое сравнение и т.д.). Вторая часть команды — адресная — содержит адреса расположения операндов, с которыми производится данная операция, и адрес регистра или ячейки памяти, куда должен быть помещен результат.

Команды, адреса и операнды МП выражаются двоичными многоразрядными числами, представляемыми, как и во всех цифровых устройствах, комбинацией двух уровней напряжения — высокого и низкого. Первые МП оперировали с четырехразрядными числами, а современные ЭП — с восьми- и шестнадцатиразрядными. Использование в МП многоразрядных двоичных чисел позволяет повысить их быстродействие и точность работы.

Программа (совокупность команд) МП может быть записана несколькими способами. Первый из них предусматривает запись команд непосредственно в виде двоичных чисел, т.е. в виде так называемого машинного кода, «понятного» данному МП.

Более удобным является использование языков программирования. Языки низкого уровня типа Ассемблер как средство общения с МП включают в себя несколько десятков типовых команд, представленных в условных мнемокодах. Например, язык этого типа для

отечественного восьмиразрядного МП типа К580 включает в себя около 80 типовых команд — арифметических, логических, пересылки данных, передачи управления и ряд других. Еще большие возможности и удобства пользователю микропроцессорными схемами управления представляют языки программирования высокого уровня: ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ МТ+, ПЛ/М, БЕЙСИК-80, СИ, АДА и их разновидности (диалекты). Составленные на этих языках программы далее транслируются (переводятся) с помощью специальных программ, получивших название кросс-программ, в систему машинных кодов, «понятных» МП.

Для выполнения функции управления схема МП дополняется целым рядом блоков, в результате чего образуется *микропроцессорная система* (МПС), структурная схема которой приведена на рис. 2.13.

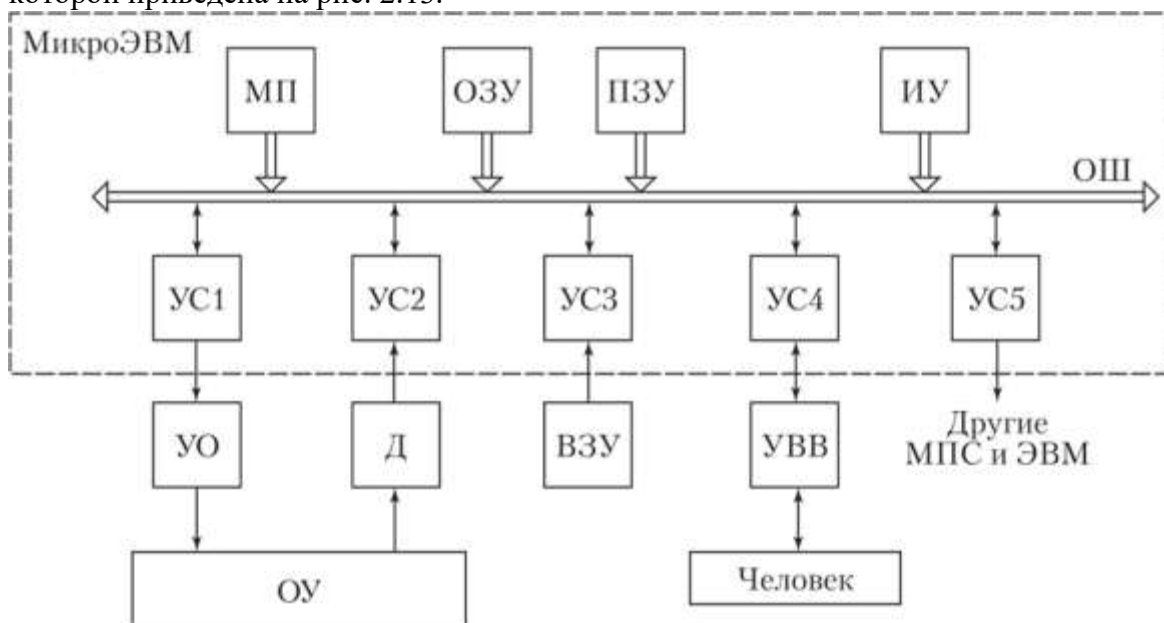


Рис. 2.13. Схема микропроцессорной системы

В состав МПС наряду с МП в общем случае входят устройства памяти *ОЗУ* и *ПЗУ*, интерфейсное устройство (*ИУ*), устройства сопряжения (*УС*) с внешними объектами; внешние запоминающие устройства *ВЗУ*, устройства ввода-вывода информации (*УВВ*), общая шина (*ОШ*), включающая в себя *ШД*, *ШУ* и *ША*.

Память *ОЗУ* и *ПЗУ* служит для размещения подлежащих обработке данных программы, в соответствии с которой эта обработка должна вестись, и результатов обработки. Для расширения возможностей МПС, кроме *ОЗУ* и *ПЗУ*, могут использоваться *ВЗУ*, к числу которых относятся накопители информации на гибких магнитных дисках, магнитной ленте, кассетные накопители.

Устройства ввода-вывода информации предназначены для обеспечения взаимодействия МПС и человека в удобной для него форме. К устройствам ввода-вывода относятся клавиатура пульта управления МПС, печатающая машинка (принтер), графопостроители, устройства визуального представления информации (дисплей) и т.д.

Устройства сопряжения обеспечивают связь МПС с различными внешними (периферийными) устройствами. Они могут иметь самые разнообразные схемные и элементные реализации. В частности, для согласования сигналов датчиков *Д* объекта управления *ОУ*с МПС используются аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи электрических сигналов, обозначенные на схеме *УС1* и *УС2*.

Устройства сопряжения *УС3* и *УС4*, предназначенные для связи МПС с *ВЗУ* и *УВВ*, представляют собой в простейшем случае буферные (промежуточные) регистры памяти для хранения данных, передаваемых с *ОШ* на внешние устройства или обратно. Устройства сопряжения, получившие название контроллеров (микроконтроллеров), выполняют более сложные функции, и их работа может программироваться.

Устройства сопряжения $УС$ выполняют согласование работы данной МПС с другими МПС и ЭВМ. Устройства такого типа получили название адаптеров.

Интерфейс устройств ($ИУ$) — это совокупность электронных схем, шин и алгоритмов (программ), обеспечивающая управление передачей информации между МП, памятью и внешними устройствами, к которым относятся $У ВВ$, $ВЗУ$ и др. Говоря кратко, $ИУ$ обеспечивает требуемое взаимодействие МПС с указанными внешними устройствами при изменении режима ее работы. Типичным примером является переход от выполнения одной программы к выполнению другой при поступлении от какого-либо внешнего устройства сигнала управления. Такой переход получил название прерывания. После завершения прерывающей программы $ИУ$ обеспечивает возврат МПС к работе по прерванной программе. Примерами $ИУ$ являются таймер, блок прямого доступа к памяти, блок организации прерываний.

По назначению и своим характеристикам различают следующие виды МПС.

1. Унифицированные блочные микропроцессорные комплексы и программируемые логические контроллеры, которые предназначены для создания локальных систем автоматического управления отдельных агрегатов, технологических комплексов и промышленных систем.

2. Специализированные мини- и микроЭВМ ориентированы на конкретный тип объекта управления и наиболее часто используются как встраиваемые.

3. Мини- и микроЭВМ общего назначения, персональные ЭВМ, управляющие мини- и микроЭВМ имеют в своем составе широкий набор устройств сопряжения, ввода-вывода и обладают возможностью выполнения больших объемов вычислительных операций. В связи с этим они применяются при решении сложных задач управления, таких, как оптимизация технологических процессов, статистические методы их контроля, хранения и обработки больших объемов информации, управление в реальном масштабе времени и др.

Программируемые контроллеры (ПК) представляют собой МПС, предназначенные для управления локальными объектами в реальном масштабе времени. Появившиеся как средство для замены релейной автоматики и устройств жесткой логики на ИС малой и средней степени интеграции, ПК в настоящее время представляют собой класс МПС, ориентированных на широкое использование в промышленной среде для решения самых разнообразных задач автоматизации. Для этого ПК имеют соответствующее конструктивное исполнение и специальное программное обеспечение, легко осваиваемое персоналом, не имеющим специальной подготовки в области программирования.

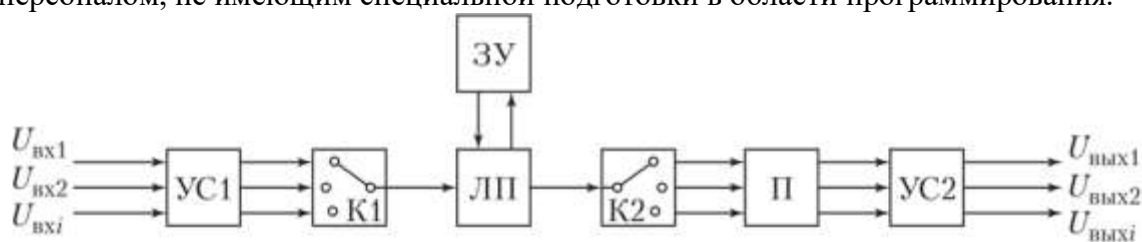


Рис. 2.14. Схема программируемого контроллера

Принцип действия ПК иллюстрирует рис. 2.14. Основную часть схемы ПК образуют запоминающее устройство $ЗУ$, в котором содержится программа его работы; логический процессор $ЛП$ (арифметическо-логическое устройство $АЛУ$), осуществляющий логические операции над последовательно вводимыми в него сигналами; коммутатор входных $K1$ и выходных $K2$ сигналов; устройства сопряжения ПК с входными $УС1$ и выходными $УС2$ сигналами; память $Я$, в которую поступают результаты выполнения логических операций.

Входные сигналы $Я_{вх1}$, $Я_{вх2}$, ..., $У_{вхи}$, содержащие информацию о ходе технологического процесса, режимах работы отдельных частей управляемого объекта, состоянии защиты и т.д., поступают на вход $УС1$, которое обеспечивает их гальваническую развязку и

формирование из них сигналов, соответствующих величине и виду используемых в данном ПК.

Сформированные таким образом сигналы поступают на вход $K1$, который последовательно подает на $ЛП$ тот из них, адрес которого содержится в очередной команде, поступающей из $ЗУ$.

После выполненных $ЛП$ преобразований, которые также определяются заложенной в $ЗУ$ программой, сигналы через коммутатор $K2$ поступают в регистр памяти $П$ и далее через $УС2$ на выход ПК.

В качестве входных допускаются сигналы напряжением от 5 до 250 В постоянного или переменного тока, общее число которых может достигать тысячи и более. Выходные устройства сопряжения $УС2$ обычно строятся на основе оптронных тиристоров, обеспечивающих гальваническую развязку выходных цепей и позволяющих управлять достаточно мощными исполнительными устройствами — реле, контакторами, катушками электромагнитов и т.д.

Программирование ПК ведется на проблемно-ориентированных языках, специализированных для решения задач дискретного логического управления. К ним относятся:

- графические языки релейно-контакторных схем (РКС);
- графические языки логических схем, использующие типовые логические функции;
- языки мнемонического символического кодирования в виде набора строк-уравнений сложных булевых выражений;
- языки ассемблерного типа;
- проблемно-ориентированные языки высокого уровня — Граф-сет, ЯРУС-2, ФОКОН-2 или модифицированные традиционные языки программирования (Бейсик, Паскаль).

Контрольные вопросы:

1. *микропроцессор* это
2. Арифметико-логическое устройство предназначено для
3. Схема микропроцессорной системы
4. Интерфейс устройств

Тема 19. Программно-регулирующие контроллеры в электроприводах

Типовые функции систем управления технологическими линиями.

В современных СУЭП реализована блочно-модульная идеология построения средств и систем управления, основанная на решении общих функциональных задач управления технологическим процессом с помощью функциональных модулей.

Из модулей можно формировать блоки-комплексы и эффективно проектировать компьютерные системы управления любыми автоматизированными технологическими комплексами (АТК).

В каждой группе выделяются типовые функциональные модули-агрегаты, для которых формируется библиотека программных моделей и программных блоков, реализующих алгоритмы управления.

Рассмотрим типовые функциональные модули оборудования АТК на основе электроприводов, взаимосвязанных через обрабатываемый материал. Упрощенные функциональные схемы систем управления агрегатами приведены на рисунке 11.1а...з. В общем случае системы могут иметь n приводов, но для простоты показаны два привода. Имеются следующие типовые функции управления:

1. управление соотношением моментов нагрузки электроприводов, имеющих механическую связь (рисунок 11.1а). Выполняется относительно ведущего электропривода, замкнутого по скорости или положению. Возможны каскадное, независимое и комбинированное управления;
2. управление скоростью и соотношением скоростей (рисунок 11.1б). Выполняется аналогично функции «1»;
3. управление положением и соотношением положений электроприводов, имеющих механические взаимосвязи (рисунок 11.1в). Выполняется по разности скоростей и положений;
4. одновременное управление соотношением скоростей и положений (рисунок 11.1г), применяемое в агрегатах прокатного производства. Объединяет функции «2» и «3»;
5. управление соотношением скоростей и натяжений (усилий) (рисунок 11.1д). Выполняется дополнением функции «2» задачами управления натяжениями;
6. управление скоростями и натяжениями с реализацией тормозных режимов электроприводов на сматывающих устройствах, управление натяжением в зоне обработки полотна и линейной скоростью в наматывающем устройстве (рисунок 11.1ё)
7. управление технологическими переменными через положение исполнительных механизмов (рисунок 11.1ж). Содержит функции «4» с дополнением транспортного запаздывания;
8. управление технологическими переменными через скорости исполнительных механизмов (рисунок 11.1з). Имеет те же особенности, что и функция «7»;
9. управление технологическими переменными через переменные электроприводов (скорости, положения и др.) и переменные исполнительных устройств иного вида (давление, температура, подача эмульсий и др.) (рисунок 11.1, ж, з).

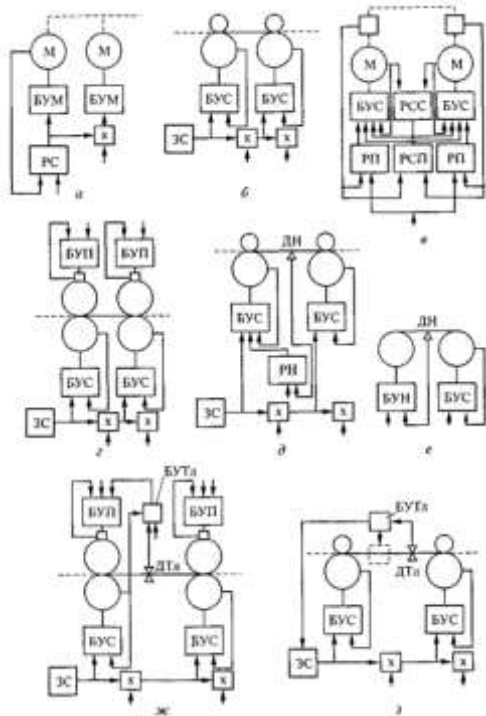


Рисунок 11.1 Упрощенные функциональные схемы систем управления агрегатами.

На рисунке 11.1 - БУМ, БУС, БУП, БУН, БУТ - соответственно блоки управления моментом, скоростью, положением, натяжением, толщиной; РС, РП, РН, РСС, РСР — регуляторы соответственно скорости, положения, натяжения, синхронизации скоростей, синхронизации положений; ЗС — задатчик скорости; ДТл — датчик толщины; ДН — датчик натяжения.

В АТК разного производственного назначения могут использоваться любые сочетания типовых функциональных модулей. В соответствии с изложенным, имеется возможность создания базы программных моделей типовых механизмов и технологических агрегатов, а также программных блоков, реализующих алгоритмы управления механизмами и агрегатами, которые обеспечивают решения следующих задач:

- отработку алгоритмов управления механизмами, агрегатами и комплексами с имитацией основных технологических режимов;
- подготовку программного обеспечения компьютерных систем управления конкретными объектами на основе базы программных блоков;
- исследование возможностей использования типовых компьютерных средств автоматизации для реализации гибко программируемых систем управления механизмами, агрегатами и комплексами.

Типовые модули процессов в сочетании с типовыми приводными модулями позволяют иметь готовые модели ряда технологических процессов и проектировать полный комплект средств автоматизации для каждого из них. При этом резко сокращаются затраты на проектирование и время, отводимое для проектных изысканий.

Система управления электроприводом насоса с преобразователем частоты.

Наиболее современным является регулирование с помощью преобразователей частоты, которые позволяют плавно регулировать частоту вращения электродвигателя насоса и поддерживать давление в гидросистеме при разных расходах перекачиваемой жидкости. При малых расходах жидкости двигатель насоса вращается с малой скоростью, необходимой только для поддержания номинального давления, и не расходует лишней энергии. При увеличении расхода жидкости преобразователь увеличивает частоту вращения электродвигателя, повышая производительность насоса при сохранении заданного давления.

На рисунке 11.2 показана функциональная схема регулирования электродвигателя насоса с использованием преобразователя частоты FR-A500 фирмы «Mitsubishi electric». На вход системы подаются сигналы задания давления и сигнал реального давления, получаемый с датчика давления, установленного в цепи обратной связи. Отклонение между реальным и заданным значениями давления преобразуется ПИД-регулятором в сигнал задания частоты для преобразователя. Под воздействием сигнала задания преобразователь изменяет частоту вращения электродвигателя насоса и стремится привести разность между заданным и реальным значениями к нулю. Таким образом, давление в системе поддерживается равным заданному и не зависит от расхода.

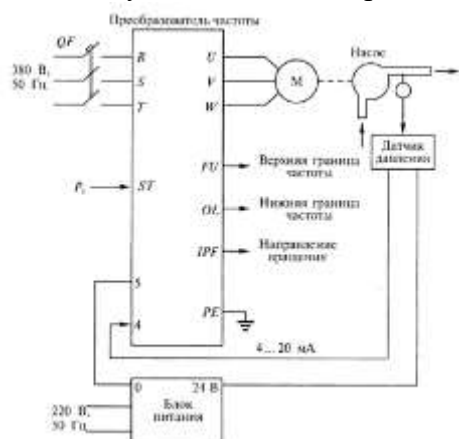


Рисунок 11.2 Функциональная схема регулирования электродвигателя насоса.

Современные преобразователи частоты позволяют создавать системы управления (СУ) без дополнительных аппаратных средств, так как имеют встроенные программные функции, позволяющие реализовывать узел сравнения и ПИД-регулятор. Для реализации системы требуется только внешний датчик давления.

Управление дробильным оборудованием.

В данных механизмах в основном применяются асинхронные реверсивные электроприводы с частотным и частотно-токовым управлением, машины двойного питания и всевозможные механические вариаторы, управляемые муфты и т.д.

Автоматическое управление режимом работы процесса дробления включает в себя: управление загрузкой материала в дробилку; регулирование скорости дробления, исходя из минимума затрат электроэнергии; регулирование гранулометрического состава продуктов дробления.

Управление загрузкой материала в дробилку для исключения перегрузки двигателя привода дробилки или завала дробилки осуществляют в зависимости от нагрузки двигателя и уровня материала в дробилке. Значительное повышение эффективности процесса дробления дает управление загрузкой материала в зависимости от размеров дробимого материала или на основе измерения косвенных параметров, характеризующих этот показатель (например, виброскорости в конусной дробилке и амплитуды колебаний корпуса щековой или валковой дробилки).

Регулирование дробилки заключается в стабилизации количества материала в ее рабочем пространстве. Если уровень материала превышает заданное значение, подводимый поток уменьшается, если запас меньше заданного значения, поток увеличивается. Схемы автоматизации цикла дробления обеспечивают также пуск и остановку дробилки и вспомогательных механизмов с соблюдением определенной технологической последовательности.

В систему управления входят датчики, которые контролируют массу на входе дробилки, наличие металлических предметов в общей массе вещества, массу дробимого материала на выходе дробилки. Кроме этого, применяются датчики уровня, вибраций корпуса установки, температуры опор и переполнения входного бункера.

Общее управление роторной дробилкой осуществляется программируемым контроллером.

Управление смесителями.

Обычно электропривод смесителей выполняют нерегулируемым с асинхронным короткозамкнутым двигателем. В последнее время для смесителей применяют безредукторный электропривод с частотным управлением. Например, электроприводы резиносмесителей выполняют регулируемые и нерегулируемые. Поскольку максимальные мощности электродвигателей современных резиносмесителей достигают 2500 кВт, то нерегулируемые электроприводы выполняют с синхронными электродвигателями, регулируемые — с асинхронными.

Рассмотрим работу системы управления (СУ) смесителем на примере резервуара для смешивания красок. Функциональная схема СУ показана на рисунке 11.3. Подача красок по питающим трубам в резервуар производится сверху при помощи насосов. Через отдельную трубу в нижней части резервуара вытекает готовая смесь красок. Система управляет процессом наполнения, контролирует уровень наполнения и управляет циклами смешивания и нагревания.

Алгоритм процесса смешивания состоит из следующих этапов: наполнить резервуар первой краской; наполнить резервуар второй краской; закончить подачу, если замкнут переключатель «Резервуар полный»; оставить насос включенным, если пусковой переключатель открыт; начать цикл нагревания и смешивания; включить двигатель смесителя и вентиль пара; выпустить готовую краску из резервуара; подсчитать циклы включения смесителя.

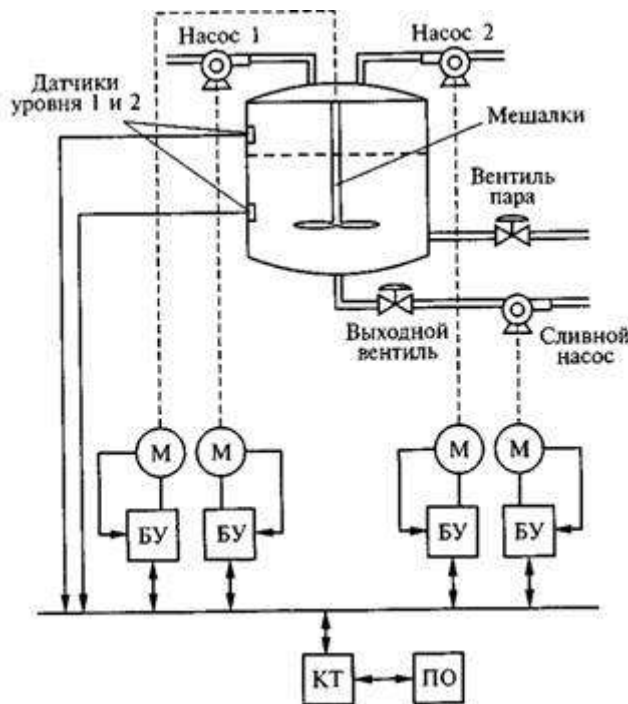


Рисунок 11.3 Функциональная схема системы управления (СУ) смесителем.

Состав и свойства систем управления металлообрабатывающими станками.

В металлообрабатывающих станках применяются системы стабилизации скорости, усилия, мощности и температуры резания, а также упругих деформаций, возникающих в зоне резания.

Рассмотрим систему стабилизации скорости резания v_r на примере процесса точения (рисунок 11.4). В шпинделе 1, вращающемся с частотой $\omega_{ш}$, установлен на деталь 2, профиль которой изменяется перемещением резца 4, закрепленного в суппорте 3. С помощью заднего центра 5 обеспечивается жесткость установки детали большого размера. Привод шпинделя с электродвигателем M_1 является приводом главного движения. Приводы с электродвигателями M_2 и M_3 являются приводами поперечной S_1 и продольной S_2 подачи суппорта с резцом.

Если готовая деталь имеет форму усеченного конуса с образующей L , меньшим и большим радиусами соответственно R_1 и R_2 да то при постоянстве частоты вращения шпинделя $\omega_{ш} = \text{const}$ скорость резания будет переменной в процессе обработки. Выбрав расчетное значение скорости v_r при большем радиусе R_2 , имеем $\omega_{ш} = v_r/R_2 = \text{const}$.

Техническая реализация режима стабилизации скорости v_r заключается в формировании дополнительного воздействия на блок управления БУ1 (осуществляющего стабилизацию частоты $\omega_{ш}$), пропорционального поперечной подаче S_1 суппорта. Так как $v_r = \omega_{ш}r = \text{const}$, то частота $\omega_{ш}$ обратно пропорциональна текущему радиусу r . А так как $r = l/S_1$, то $\omega_{ш} = S_1$. Управление мощностью P_r и усилием F_r резания осуществляется с помощью электроприводов шпинделя и подач (ЭПШ и ЭПП) при изменении глубины резания h и свойств материала (твердости материала $HВ$). Стабилизируя мощность резания, следует иметь в виду, что $P_r = F_r v_r$. Если осуществляется стабилизация скорости v_r , то выполнить условие $P_r = \text{const}$ можно соблюдением условия $F_r = \text{const}$. Таким образом, стабилизируя переменные v_r и F_r при изменении переменных h и $HВ$, можно считать, что стабилизируем и сам процесс резания (ПР).

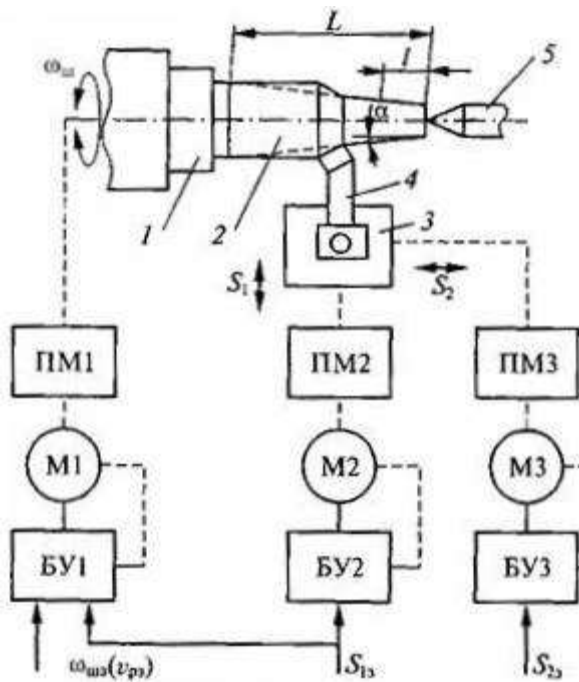


Рисунок 11.4 Система стабилизации скорости резания.

Автоматическая стабилизация мощности (усилия) резания возможна, если применить нелинейную обратную связь, действие которой начинается после превышения мощностью некоторого значения $P_{ро}$, соответствующего рабочему режиму резания. При условии $P_r > P_{ро}$ на выходе нелинейного элемента НЭ и регулятора мощности РМ появляется сигнал коррекции S_k , уменьшающий подачу S так, чтобы $P_r = \text{const}$. Регулятор мощности обеспечивает требуемую динамику процесса стабилизации.

Нелинейную коррекцию подачи удобно выполнять по усилию F_r , которое может быть получено с помощью блока деления БД, реализующего зависимость $F_r = P_r/v_p$. Непосредственно измерять мощность или усилие резания сложно, поэтому применяют косвенные оценки по мощности электропривода шпинделя $P_{эш}$ и значению потерь в двигателе ΔP_d и передаточном механизме $\Delta P_{пм}$; $P_r = P_{эш} - \Delta P_d - \Delta P_{пм}$. При больших значениях усилий резания можно пренебречь потерями и считать, что $P_r \gg P_{эш}$.

Функциональная схема системы стабилизации мощности резания показана на рисунке 11.5. Электропривод шпинделя выполнен на базе асинхронного электродвигателя М1, управляемого от преобразователя частоты ПЧ, и имеет главную обратную связь по скорости резания v_p . Датчик скорости резания ДСР формирует информацию по частоте вращения шпинделя $\omega_{ш}$ и радиусу обработки гоб. Управление М1 может быть выполнено, в частности, по схеме частотно-токового управления. Датчик мощности ДМ измеряет активную

мощность привода и с учетом потерь формирует сигнал i_{P_r} , пропорциональный мощности резания.

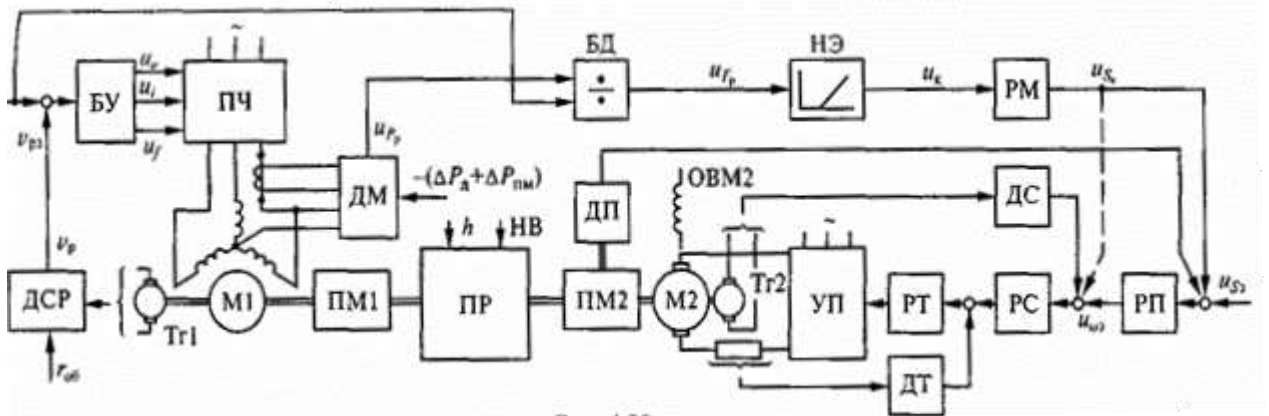


Рисунок 11.5 Функциональная схема системы стабилизации мощности резания.

Электропривод подач выполнен на базе электродвигателя постоянного тока М2, управляемого по напряжению якоря от управляемого преобразователя УП. В зависимости

от режима работы привода подач сигнал коррекции $u_{с1}$ может быть подан на вход регулятора положения или скорости.

Стабилизация мощности осуществляется двумя локальными системами, взаимосвязанными процессом резания.

Если в качестве двигателя главного движения используется двигатель постоянного тока, то мощность измерять не нужно. Усилие резания пропорционально частному от деления значения тока якоря двигателя на текущее значение радиуса обработки. Если в приводе главного движения реализуется система двухзонного управления скоростью двигателя при изменении потока $\Phi_1 = var$, то $F_p = c_{д1} \Phi_1 i_1 / r_{об}$.

Контрольные вопросы

1. Типовые функции систем управления технологическими линиями.
2. Система управления электроприводом насоса с преобразователем частоты.
3. Управление дробильным оборудованием.
4. Управление смесителями.
5. Состав и свойства систем управления металлообрабатывающими станками.

Тема 20. Классификация программно-регулирующие контроллеры в электроприводах

АЭП - электромеханическая система, преобразующая электрическую энергию в механическую и осуществляющая управление этим преобразованием.

СУЭП - совокупность объекта управления (ОУ) и управляющего устройства (УУ), взаимодействующих друг с другом, а также с внешней средой.

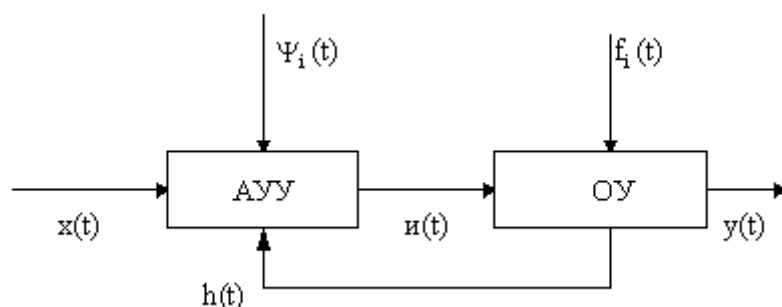


Рисунок 1.1 - Структура АЭП

ОУ – устройство, осуществляющее техпроцесс, который нуждается в оказании специально организованных воздействий извне для выполнения заданной цели управления. ОУ в СУЭП - электрический двигатель совместно с рабочим механизмом, скорость вращения, которого необходимо поддерживать постоянной или изменять по заданному закону. Часто к ОУ относят и преобразователь напряжения.

УУ - устройство, вырабатывающее воздействие, непосредственно прикладываемое к ОУ, которое обеспечивает достижение заданной цели управления. УУ часто называют регулятором.

В СУЭП различают два вида воздействий: внешнее и внутреннее.

Внешние воздействия те, которые оказывает внешняя среда:

- $x(t)$ - задающее воздействие – это воздействие на вход СУЭП, предусмотренное целью управления (напряжение, угол поворота, угловая скорость и т.п.);
- $f(t)$, $y(t)$ - возмущающие воздействия, приложенные к какому-либо устройству системы, нарушающее нормальное ее функционирование ($Y(t)$ - шумы в электронных элементах УУ, $f(t)$ - момент сопротивления на валу двигателя);

Внутренние воздействия те, которыми отдельные элементы системы обмениваются между собой:

- $u(t)$ - управляющее воздействие, вырабатываемое УУ;
- $y(t)$ - управляемое воздействие (регулируемый параметр) на выходе ОУ;
- $h(t)$ - воздействие ОУ на УУ; в качестве одного из воздействий может быть $y(t)$, т.е. $h(t) = y(t)$.

Назначение СУЭП обычно состоит в том, чтобы обеспечить соответствие между регулируемой выходной переменной $y(t)$ и задающим воздействием $x(t)$. В большинстве СУЭП управляющее воздействие $u(t)$ вырабатывается путем сравнения $y(t)$ и $x(t)$, т.е. в них осуществляется управление по отклонению $e(t) = x(t) - y(t)$.

Основные функции СУЭП

Основная задача ЭП в технологической установке - выполнение заданных по технологическим требованиям законов движения РО с максимальным приближением. При реализации этой задачи часто исходят из того, что закон движения ротора ЭД пропорционален закону движения РО. Поэтому управление скоростью - наиболее общая функция СУЭП.

К основным функциям СУЭП относятся:

- Управление процессами пуска, торможения, реверсирования и останова электроприводов.
- Поддержание постоянства (стабилизация) регулируемой координаты в статике и динамике с заданной точностью.
- Слежение за вводимыми в систему произвольно изменяющимися входными сигналами (следающее управление),
- Обработка заданной программы (программное управление),

- Выбор целесообразных режимов работы электроприводов (адаптивное управление).
- Вспомогательные функции СУЭП:*
1. Защита ЭД и другого электрооборудования, направленная на предотвращение развития аварийных ситуаций (короткое замыкание, перегрузки и т.п.);
 2. Блокировки, исключающие возникновение аварийных и ненормальных режимов при ошибочных действиях персонала и обеспечивающие определенную последовательность операций включения;
 3. Сигнализация о ходе технологического процесса, об исправном или неисправном состоянии элементов СУЭП.

Классификация СУЭП

Существует несколько классификаций СУЭП. Одна из наиболее принятых - по видам управления, определяемым основными функциями СУЭП. При этом наименование каждого вида управления совпадает с наименованием соответствующей основной функции.

Кроме этой, различают классификации:

1. По назначению в соответствии с алгоритмом функционирования, т.е. совокупностью предписаний, ведущих к правильному выполнению техпроцесса:

- системы стабилизации;
- системы программного управления;
- следящие системы;
- системы позиционирования;
- системы синхронизации скоростей и положений;
- системы управления и ограничения нагрузок.

2. По алгоритму управления, определяющему совокупность выходных воздействий УУ и способ образования им соответствующего управляющего воздействия $u(t)$ (принцип управления).

- разомкнутые СУЭП;
- замкнутые СУЭП:
 - одноконтурные;
 - многоконтурные:
 - с параллельной коррекцией (с общим сумматором);
 - с независимым регулированием параметров;
 - с последовательной коррекцией (подчиненное регулирование);
 - со смешанной коррекцией.
- комбинированные СУЭП.

3. По признаку наличия ошибки регулируемой координаты:

- статические (с ошибкой);
- астатические (без ошибки).

4. По используемой элементной базе:

- аналоговые;
- цифровые;
- дискретные.

5. По типу электропривода:

- с ЭД постоянного тока;
- с ЭД переменного тока.

Требования к СУЭП

Контрольные задания

1. Определения и функции СУЭП.
2. Классификация СУЭП.

ДИАГНОСТИКО-КОНТРОЛИРУЮЩИЙ БЛОК

Описание проверочного испытания

Проверочное испытание № 1 , вариант №	
Название:	Типовые узлы защиты электроприводов
Описание задачи: 	<p>Описание каждой работы содержит: тему, цели работы, порядок выполнения работы, а так же перечень контрольных вопросов, с целью выявить и устранить недочеты в освоении рассматриваемой темы. Для получения дополнительной, более подробной информации по изучаемым вопросам, приведено учебно-методическое и информационное обеспечение. Предложенные к выполнению практически занятия выполняются с использованием возможностей компьютера (текстовых редакторов, и интернета).</p>
Нормированное время.	50 мин
Результаты обучения	Осуществляет сборку схемы и исследование работы. Типовые схемы автоматизации основных технологических процессов отрасли; устройство, схемные и конструктивные особенности элементов.
Критерии выполнения	оценки
Критерии выполнения	читать принципиальные структурные схемы, схемы автоматизации, схемы соединений и подключений; одбирать оборудование, элементную базу и средства измерения систем автоматизации в соответствии с условиями технического задания.
Порядок задания	выполнения
Порядок задания	<ol style="list-style-type: none"> 1) Записать тему и цель работы. 2. Ответить на контрольные вопросы. 3. Нарисовать схему рисунок 4. Дать описание схемы.
Перечень оборудования и инструментов.	Бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература.
Место проведения:	Лабораторный корпус №1, аудитория № 108
Дата проведения:	« » 20 г.

Описание проверочного испытания

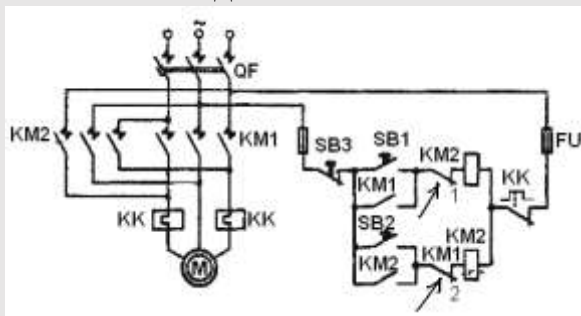
Проверочное испытание № 2 , вариант № _____	
Название:	Дискретные элементы управления и датчики
Описание задачи:  <p style="text-align: center; font-size: small;">Рис. 11.3. Схема ЭП с общим усилителем</p>	<p>Последовательная схема включения состоит из источника питания постоянного или переменного тока, самого датчика R_x, измерительного прибора или непосредственно исполнительного элемента и, обычно, добавочного сопротивления R_d, которое ограничивает ток в этой цепи (рис. 1.1). Подобная схема включения, чаще всего, находит широкое применение лишь с контактными датчиками, для которых $R_x=0$ или же $R_x=?$.</p>
Нормированное время.	50 мин
Результаты обучения	Приобретает практические навыки подключения датчиков по различным схемам подключения.
Критерии оценки выполнения	Понимает устройство, режимы работы и принцип действия подключения датчиков по различным схемам подключения
Порядок выполнения задания	<ol style="list-style-type: none"> 1.Внимательно прочитайте учебный материал, сопоставляя содержание текста со схемой на рисунке 2.Перенесите схему датчика импульсов напряжения в бланк отчёта с расшифровкой цифровых обозначений.
Перечень необходимого оборудования и инструментов.	Персональный компьютер, пакет программ Electronic Workbench бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..
Место проведения:	Лабораторный корпус №1, аудитория № 108
Дата проведения:	« » 20 г.

Описание проверочного испытания

Проверочное испытание № 3, вариант № _____	
Название:	Системы электроприводов с числовым программным управлением
Описание задачи:	Изучить конструкцию настроить Локальные, глобальные, статические переменные. Работа с динамическими массивами. Обработка одномерных и многомерных динамических массивов.
	50 мин
Результаты обучения	Осуществляет сборку схемы, умеет исследовать работу .
Критерии оценки выполнения	Изучить методы работы с динамической памятью Познакомиться с новыми понятиями: время жизни и область видимости переменных. Получить навыки работы с локальными и глобальными переменными
Порядок выполнения задания	1)Исследовать работу схемы. 2)Изучить теоретическую часть лабораторной работы и материалы из папки «примеры из лекций» 3)Изучить примеры программирования и выполнить их на компьютере. 4)Выполнить задание (номер варианта соответствует номеру компьютера).
Перечень необходимого оборудования и инструментов.	Персональный компьютер, пакет программ Electronic Workbench бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..

Место проведения:	Лабораторный корпус № 1 , аудитория № 108
Дата проведения:	« » 20 г.

Описание проверочного испытания

Проверочное испытание № 4, вариант №	
Название:	Управление синхронным двигателем
Описание задачи:	Изучить конструкцию, анализ работы схемы реверсивного управления асинхронным двигателем. Механизация технологических процессов технического обслуживания и ремонта.
	
Нормированное время.	50 мин
Результаты обучения	Осуществляет сборку схемы, умеет исследовать работу управление синхронным двигателем
Критерии оценки выполнения	Понимает устройство, режимы работы и принцип действия управление синхронным двигателем
Порядок выполнения задания	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внимательно прочитайте учебный материал. 2. Самостоятельно рассмотрите работу схемы реверсивного пуска асинхронного двигателя, изображенную на рисунке 5.2. 3. Письменно ответьте на контрольные вопросы: 4. Перечислите электрооборудование, указанное в схеме на рисунке 5.2
Перечень необходимого оборудования и инструментов.	Персональный компьютер, пакет программ Electronic Workbench бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..
Место проведения:	Лабораторный корпус № 1 , аудитория № 108
Дата проведения:	« » 20 г.

Описание проверочного испытания

Проверочное испытание № 5, вариант №	
Название:	Классификация программно-регулирующие контроллеры в электроприводах
Описание задачи:	Изучить конструкцию реализация на экране монитора виртуального объекта автоматизации, управляемого программируемым контроллером по записанной в него программе.
	
Нормированное время.	50 мин
Результаты обучения	Осуществляет сборку схемы, умеет исследовать работу программно-регулирующие контроллеры в электроприводах .
Критерии оценки выполнения	Понимает устройство, режимы работы и принцип действия
Порядок выполнения задания	<ol style="list-style-type: none"> 1)Исследовать работу схемы. 2)подготовка программы для программируемого контроллера, ее компиляция и запись в программируемый контроллер; 3)Реализация на экране монитора виртуального объекта автоматизации, управляемого программируемым контроллером по записанной в него программе.
Перечень необходимого оборудования и инструментов.	Персональный компьютер, пакет программ Electronic Workbench бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..
Место проведения:	Лабораторный корпус № 1 , аудитория № 108
Дата проведения:	« » 20 г.

БАҚЫЛАУ ПАРАҒЫ КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТ

модуля «Применение средств и методов охраны труда и окружающей среды»

ТИП ПРОВЕРОЧНОГО ИСПЫТАНИЯ	Тест	Самостоя тельная работа	Карточки задания	Понятийны й диктант	Зачет
РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ/ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ					
Результат обучения 1.	Владеть общими положениями разомкнутой системы управления электроприводами постоянного и переменного тока.				
Критерий оценки 1. Понимает сущность разомкнутой системы управления электроприводом постоянного и переменного тока.			√		
Результат обучения 2.	Владеть общими положениями аналоговыми, дискретными элементами управления.				
Критерий оценки 1. Понимает сущность замкнутой системы автоматического управления электроприводами постоянного и переменного тока.	√				
Результат обучения 3.	Владеть общими положениями противоаварийной автоматикой				
Критерий оценки 1. Владеть общими положениями контур регулирования тока якоря и регулирования скорости.		√			
Результат обучения 4.	Владеть общими положениями асинхронной и синхронной управления двигателя.				
Критерий оценки 1. Владеть общими положениями асинхронной и синхронной управления двигателя.				√	
Результат обучения 5.	Владеть общими положения программно-регулирующими контроллерами в электроприводах.				
Критерий оценки 1. Владеть общими положения программно-регулирующими контроллерами в электроприводах.	√				√
Итоговый контроль по модулю:	2	1	1	1	1

Контрольно-измерительные материалы Тестовый материал

1. Электропривод состоит из каких основных частей, как...

- а. силовая часть и система управление
- б. механическая и динамическая
- в. система регулирования
- г. система устойчивости

2. Многодвигательный электропривод - это...

- а. электропривод, который состоит из нескольких одиночных электроприводов, каждый из которых предназначен для приведения в действие отдельных элементов производственного агрегата
- б. электропривод, который с помощью одного электродвигателя приводит в движение отдельную машину
- в. трансмиссионный электропривод
- г. электропривод, который служат для регулирования скорости

3. Динамическое торможение ещё называется...

- а. реостатное
- б. торможения связанная со скоростью
- в. торможения связанная с пусковым моментом
- г. кинематическое торможения

4. Экономичность регулируемого привода характеризуется...

- а. затратами на его сооружения и эксплуатацию
- б. затратами на его транспортировку
- в. затратами на дополнительные приборы
- г. не имеет никакие затраты

5. Плавность регулирования характеризуется...

- а. числом устойчивых скоростей
- б. числом устойчивых моментов

- в. числом устойчивых сил
- г. устойчивостью по всем характеристикам

6. Диапазон регулирования зависит от...

- а. от нагрузки
- б. от внешних сил
- в. от внутренних сил
- г. от скорости и момента

7. Количество тепла обозначается...

- а. Q
- б. P
- в. A
- г. I

8. Активные моменты могут быть как движущими и ...

- а. тормозными
- б. вращающими
- в. ускорительными
- г. не подвижными

9. Реактивные моменты всегда направлены...

- а. против движение
- б. перпендикулярно
- в. не имеют направления
- г. могут иметь любое направление

10. Электродвигатель предназначен для...

- а. преобразования механической энергии в электрическую
- б. изменения параметров электрической энергии
- в. преобразования электрической энергии в механическую

г. повышения коэффициента мощности линий электропередачи

11. В электроприводах используют двигатели...

- а. только постоянного тока
- б. только переменного тока
- в. постоянного и переменного тока
- г. внутреннего сгорания

12. Преобразователь в электроприводе предназначен для...

- а. преобразования электрической энергии в механическую
- б. преобразования параметров электрической энергии (тока, напряжения, частоты)
- в. преобразования механической энергии в механическую
- г. преобразования механической энергии в электрическую

13. В качестве преобразователя в электроприводах используют...

- а. автотрансформаторы
- б. частотные преобразователи
- в. тиристорные преобразователи напряжения
- г. все выше перечисленные ответы

14. Управляющему устройству электропривода не свойственна следующая функция...

- а. включение и выключение электропривода
- б. реверсирование электропривода
- в. регулирование скорости электропривода
- г. передача механической энергии рабочей машине

15. Передаточное устройство предназначено для...

- а. передачи механической энергии от электродвигательного устройства к исполнительным органам рабочей машины
- б. передачи сигналов обратной связи
- в. передачи электрической энергии в электродвигателю
- г. передачи электрической энергии к управляющему устройству

I. Механические характеристики производственных механизмов и электродвигателей

16. Механическая характеристика производственного механизма связывает...

- а. ускорение и момент сопротивления
- б. угловую скорость и момент сопротивления
- в. механическую и электрическую мощность
- г. ускорение и угловую скорость

17. Подъёмные механизмы имеют механическую характеристику...

- а. не зависящую от скорости
- б. линейно – возрастающую
- в. нелинейно – возрастающую
- г. нелинейно – падающую

18. Прессы имеют механическую характеристику...

- а. не зависящую от скорости
- б. линейно – возрастающую
- в. нелинейно – возрастающую
- г. нелинейно – падающую

19. Вентиляторы и насосы имеют механическую характеристику...

- а. не зависящую от скорости
- б. линейно – возрастающую
- в. нелинейно – возрастающую
- г. нелинейно – падающую

20. Металлообрабатывающие станки имеют характеристику...

- а. не зависящую от скорости
- б. линейно – возрастающую
- в. нелинейно – возрастающую
- г. нелинейно – падающую

21. Для выбора рационального электропривода необходимо знать...

- а. механическую характеристику рабочей машины
- б. механическую характеристику электродвигателя
- в. механическую характеристику рабочей машины и электродвигателя

г. нагрузочную характеристику рабочей машины

22. Механической характеристикой электродвигателя называется зависимость между...

- а. вращающим моментом электродвигателя и его угловой скоростью
- б. моментом сопротивления и угловой скоростью
- в. механической и электрической мощностью
- г. вращающим моментом электродвигателя и моментом сопротивления

23. У всех электродвигателей скорость является...

- а. возрастающей функцией момента двигателя
- б. убывающей функцией момента двигателя
- в. независимой от момента двигателя
- г. нет правильного ответа

24. Величина определяемая, как отношение разности моментов, развиваемых электродвигателем, к соответствующей разности угловых скоростей называется...

- а. твёрдость механической характеристики
- б. прочность механической характеристики
- в. мягкость механической характеристики
- г. жёсткость механической характеристики

25. Механическая характеристика, при которой скорость с изменением момента остается неизменной ($\beta = \infty$) называется...

- а. абсолютно жёсткая
- б. жесткая
- в. мягкая
- г. абсолютно мягкая

26. Механическая характеристика с коэффициентом жесткости $\beta = 40 - 10$ называется...

- а. абсолютно жёсткая
- б. жесткая
- в. мягкая
- г. абсолютно мягкая

27. Механическая характеристика с коэффициентом жесткости $\beta \leq 10$ называется...

- а. абсолютно жёсткая
- б. жесткая
- в. мягкая
- г. абсолютно мягкая

28. Синхронные электродвигатели обладают...

- а. абсолютно жёсткой механической характеристикой
- б. жесткой механической характеристикой
- в. мягкой механической характеристикой
- г. абсолютно мягкой механической характеристикой

29. Асинхронные двигатели в рабочей части механической характеристики обладают...

- а. абсолютно жёсткой механической характеристикой
- б. жесткой механической характеристикой
- в. мягкой механической характеристикой
- г. абсолютно мягкой механической характеристикой

30. Согласно уравнению движения электропривода вращающий момент электродвигателя уравнивается...

- а. динамическим моментом
- б. моментом сопротивления и моментом сил трения
- в. моментом сопротивления и динамическим моментом
- г. моментом сопротивления

31. Момент, развиваемый электродвигателем, принимается положительным, если он направлен...

- а. в сторону движения электропривода

- б. в сторону, обратную движению электропривода
- в. по оси вращения ротора электродвигателя
- г. по касательной к окружности, описываемой ротором электродвигателя

32. Если момент электродвигателя больше момента сопротивления рабочей машины, то имеет место...

- а. замедление электропривода
- б. ускорение электропривода
- в. работа в установившемся режиме
- г. реверсирование электропривода

II. Характеристики и режимы работы двигателей постоянного тока

33. При установившемся режиме работы двигателя постоянного тока приложенное напряжение U уравнивается...

- а. падением напряжения в якорной цепи и ЭДС, наведённым в обмотке возбуждения
- б. только падением напряжения в якорной цепи
- в. ЭДС, наведенной в якоре в процессе его вращения
- г. падением напряжения в якорной цепи и ЭДС, наведенной в якоре в процессе его вращения

34. Электромеханической характеристикой электродвигателя постоянного тока называется...

- а. зависимость тока статора от скорости двигателя
- б. зависимость тока якоря от скорости двигателя
- в. зависимость тока статора от тока ротора
- г. зависимость скорости двигателя от момента вращения

35. Характеристики электродвигателя, полученные при номинальных параметрах электродвигателя и отсутствии в его цепях добавочных сопротивлений, называются...

- а. искусственными

- б. естественными
- в. физическими
- г. параметрическими

36. Искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока можно получить за счет изменения...

- а. только напряжения питающей сети U и магнитного потока возбуждения Φ
- б. только напряжения питающей сети U и включения добавочного сопротивления R в цепь якоря двигателя
- в. только магнитного потока возбуждения Φ и путем включения добавочного сопротивления R в цепь якоря двигателя
- г. напряжения питающей сети U , магнитного потока возбуждения Φ и путем включения добавочного сопротивления R в цепь якоря двигателя

37. Скорость идеального холостого хода двигателя постоянного тока не зависит от...

- а. напряжения питающей сети
- б. магнитного потока возбуждения в сопротивлении якорной цепи
- г. конструктивных параметров двигателя

38. При введении добавочного сопротивления в цепь якоря электродвигателя постоянного тока...

- а. изменяется скорость идеального холостого хода
- б. изменяется жёсткость механической характеристики
- в. изменяется скорость идеального холостого хода и жёсткость механической характеристики
- г. ничего не происходит

39. При изменении напряжения питающей сети двигателя постоянного тока...

- а. изменяется скорость идеального холостого хода
- б. изменяется жёсткость механической характеристики
- в. изменяется скорость идеального холостого хода и жёсткость механической характеристики
- г. ничего не происходит

40. При изменении магнитного потока возбуждения двигателя постоянного тока...

- а. изменяется скорость идеального холостого хода
- б. изменяется жёсткость механической характеристики
- в. изменяется скорость идеального холостого хода и жёсткость механической характеристики
- г. ничего не происходит

41. Режим электродвигателя, при котором создаваемый им момент противодействует движению рабочей машины называется...

- а. тормозным
- б. противодействующим
- в. обратным
- г. холостым ходом

42. Режим торможения не свойственный двигателю постоянного тока называется...

- а. рекуперативное торможение
- б. динамическое торможение
- в. торможение противовключением
- г. сверхсинхронное торможение

43. Режим торможения возникающий во всех случаях, когда скорость вращения двигателя постоянного тока оказывается выше скорости идеального холостого хода называется...

- а. рекуперативным
- б. динамическим
- в. торможением противовключением
- г. сверхсинхронным торможением

44. Режим торможения получаемый при отключении якоря двигателя от сети и включении его на резистор называется...

- а. рекуперативным
- б. динамическим
- в. торможением противовключением
- г. сверхсинхронным торможением

45. Режим торможения, при котором обмотки двигателя включены для

одного направления вращения, а якорь двигателя под воздействием внешнего момента или сил инерции вращается в противоположную сторону, называется

- а. рекуперативным
- б. динамическим
- в. торможением противовключением
- г. сверхсинхронным торможением

III. Характеристики и режимы работы асинхронных электродвигателей

46. Основными электродвигателями, которые наиболее широко используются как в промышленности, так и в агропромышленном производстве являются...

- а. синхронные двигатели
- б. двигатели постоянного тока независимого возбуждения
- в. асинхронные двигатели
- г. двигатели постоянного тока последовательного возбуждения

47. Критическим моментом асинхронного двигателя называется момент...

- а. пусковой
- б. максимальный
- в. минимальный
- г. номинальный

48. Скольжение асинхронного двигателя - это...

- а. амплитуда колебания электродвигателя при неполной нагрузке лап статора
- б. мера того, насколько ротор опережает в своем вращении магнитное поле статора
- в. контактное сопротивление, образующееся при скольжении щёток по контактному кольцам
- г. мера того, насколько ротор отстаёт в своем вращении от вращения магнитного поля статора

49. Угловая скорость вращения магнитного поля статора обозначается...

- а. ω_0
- б. ω
- в. φ
- г. S

50. Скорость вращения магнитного поля статора зависит...

- а. от напряжения и числа пар полюсов
- б. от частоты тока питающей сети и числа пар полюсов двигателя
- в. только от числа пар полюсов двигателя
- г. только от частоты тока питающей сети

51. Искусственные механические характеристики асинхронных двигателей не получают с помощью...

- а. изменения напряжения питающей сети
- б. изменения частоты тока питающей сети
- в. изменения момента сопротивления
- г. введения добавочных сопротивлений

52. момент, развиваемый двигателем, изменяется...

- а. пропорционально частоте
- б. обратно пропорционально силе тока
- в. пропорционально скорости двигателя
- г. пропорционально квадрату напряжения

53. Изменение напряжения сети влияет на...

- а. момент двигателя и не влияет на его критическое скольжение
- б. критическое скольжение и не влияет на момент двигателя
- в. момент двигателя и на его критическое скольжение
- г. не влияет на момент двигателя и не на его критическое скольжение

54. Добавочные сопротивления вводят в цепь статора...

- а. только для уменьшения пусковых значений тока
- б. для уменьшения пусковых значений тока и момента
- в. только для уменьшения пусковых момента
- г. только для увеличения пускового момента

55. При введении добавочного сопротивления в цепь статора асинхронного двигателя не изменяется...

- а. момент пусковой
- б. момент критический
- в. синхронная скорость
- г. критическая скорость

56. Включение добавочного сопротивления в цепь ротора асинхронного двигателя...

- а. возможно для двигателя с короткозамкнутым ротором
- б. возможно для двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором
- в. невозможно
- г. возможно для двигателя с фазным ротором

57. При включении добавочного сопротивления в цепь ротора асинхронного двигателя остаётся неизменным...

- а. критический момент
- б. пусковой момент
- в. критическое скольжение
- г. номинальный момент

58. Механическая характеристика асинхронного двигателя строится по...

- а. трём точкам
- б. пяти точкам
- в. шести точкам
- г. двум точкам

V. Тормозные режимы асинхронного двигателя

59. Для асинхронного двигателя не приемлем следующий вид электрического торможения...

- а. сверхсинхронное
- б. динамическое
- в. переменное
- г. торможение противовключением

60. Режим сверхсинхронного торможения у асинхронных двигателей возникает...

- а. при скорости ниже синхронной
- б. при номинальной скорости

- в. при нулевой скорости
- г. при скорости выше синхронной

61. Режим сверхсинхронного торможения ещё называют...

- а. рекуперативным
- б. повышенным
- в. скоростным
- г. обратным

62. В режиме сверхсинхронного торможения ЭДС двигателя...

- а. меньше напряжения сети
- б. больше напряжения сети
- в. равно напряжению сети
- г. равно 0

63. Для перевода асинхронного двигателя в режим противовключения необходимо изменить порядок подключения фаз обмоток статора путем переключения...

- а. только фазы А и фазы В между собой
- б. только фазы В и фазы С между собой
- в. двух любых фаз между собой
- г. всех трёх фаз между собой

64. В режиме противовключения асинхронного двигателя вращающееся магнитное поле...

- а. останавливается
- б. продолжает вращаться в том же направлении
- в. переходит в пульсирующий режим
- г. меняет направление вращения

65. Если в режиме торможения противовключением асинхронный двигатель в момент остановки не отключить от сети, то произойдёт...

- а. разгон двигателя в противоположном направлении
- б. перегрев обмоток двигателя
- в. межвитковое короткое замыкание
- г. переход в неполнофазный режим

66. Динамическое торможение асинхронного двигателя осуществляется...

- а. сменой двух любых фаз на клеммах статора

- б. включением обмотки статора на сеть постоянного тока
- в. повышением момента нагрузки
- г. сменой полюсов на обмотке ротора

67. При динамическом торможении асинхронного двигателя с фазным ротором обмотка ротора...

- а. замыкается накоротко
- б. подключается к трёхфазной сети
- в. замыкается на внешнее сопротивление
- г. подключается к сети постоянного тока

VI. Регулирование скорости в электроприводах

68. В критерии регулирования скорости в электроприводах не входит...

- а. диапазон
- б. плавность
- в. стабильность
- г. резкость

69. Диапазон регулирования скорости в электроприводах определяется отношением максимальной скорости вращения двигателя...

- а. к минимальной
- б. к средней
- в. к номинальной
- г. к текущей

70. Плавность регулирования скорости в электроприводах характеризуется...

- а. отношение максимальной скорости к минимальной
- б. количеством ступеней скорости внутри диапазона регулирования
- в. стабильностью работы системы при изменении нагрузки
- г. диапазоном регулирования напряжения сети

71. Коэффициент плавности регулирования скорости в электроприводах определяется как...

- а. разница между синхронной скоростью двигателя и скоростью ротора
- б. отношение момента нагрузки к моменту двигателя

- в. отношение двух соседних значений скоростей
- г. разница между двумя соседними скоростями

72. Плавность регулирования скорости в электроприводах растёт если...

- а. коэффициент плавности стремится к бесконечности
- б. коэффициент плавности стремится к нулю
- в. коэффициент плавности стремится к значению синхронной скорости
- г. коэффициент плавности стремится к единице

73. Стабильность работы на заданной скорости в электроприводах зависит от...

- а. жёсткости механической характеристики
- б. плавности регулирования скорости
- в. диапазона регулирования скорости
- г. пускового момента двигателя

74. Стабильность работы на заданной скорости в электроприводах характеризуется...

- а. изменением скорости при заданном отклонении момента двигателя
- б. изменением скорости при заданном отклонении момента нагрузки
- в. изменением момента нагрузки при заданном отклонении скорости
- г. изменением момента двигателя при заданном отклонении скорости

75. Виды направления регулирования скорости в электроприводах не включают в себя...

- а. двухзонное
- б. однозонное вниз
- в. трехзонное
- г. однозонное вверх

76. Допустимая нагрузка электропривода зависит от...

- а. частоты тока питающей сети
- б. напряжения питания
- в. диапазона регулирования скорости
- г. нагрева электродвигателя

77. Способ, не относящийся к способам регулирования скорости двигателей постоянного тока, называется...

- а. изменение частоты тока питающей сети
- б. введение добавочного сопротивления в цепь якоря
- в. изменение магнитного потока двигателя
- г. изменение подводимого к якорю двигателя напряжения

78. Регулирование скорости двигателя постоянного тока введением добавочного сопротивления в цепь якоря приводит к...

- а. увеличению жёсткости механической характеристики
- б. снижению жёсткости механической характеристики
- в. сохранению жёсткости на постоянном уровне
- г. повышению стабильности работы двигателя

79. Снижение жёсткости механической характеристики двигателя постоянного тока приводит к...

- а. повышению стабильности работы двигателя
- б. сохранению стабильности работы двигателя на постоянном уровне
- в. снижению стабильности работы двигателя
- г. неконтролируемому колебанию стабильности работы двигателя

80. Работа двигателя постоянного тока с добавочным сопротивлением в цепи якоря является не экономичным в связи с...

- а. большими эксплуатационными затратами на обслуживание добавочных сопротивлений
- б. необходимостью в высококвалифицированном обслуживающем персонале
- в. высокой стоимостью добавочных сопротивлений
- г. значительными потерями энергии на дополнительное сопротивление

81. Ток возбуждения двигателя постоянного тока регулируется...

- а. с помощью реостатов или регуляторов напряжения
- б. с помощью частотных преобразователей
- в. с помощью батарей конденсаторов
- г. с помощью дросселей

82. Ослабление магнитного потока обмотки возбуждения двигателя постоянного тока приводит к...

- а. уменьшение скорости двигателя
- б. увеличение скорости двигателя
- в. стабилизации скорости на одном уровне
- г. экстремному торможению двигателя

83. В систему «генератор - двигатель», позволяющую регулировать скорость двигателя постоянного тока изменением подводимого к якору напряжения, не входит...

- а. асинхронный двигатель
- б. двигатель постоянного тока
- в. асинхронных генератор
- г. генератор постоянного тока

84. К способам регулирования скорости асинхронного двигателя не относится...

- а. изменение напряжения
- б. смена числа пар полюсов
- в. реостатное регулирование
- г. смена полярности на обмотке якоря

85. Регулирование скорости введением активного сопротивления в цепь ротора асинхронного двигателя...

- а. возможно только для асинхронного двигателя с фазным ротором
- б. возможно для всех асинхронных двигателей
- в. возможно только для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором
- г. не возможно

86. Синхронная скорость асинхронного двигателя с двумя парами полюсов равна...

- а. 3000
- б. 1500

- в. 1000
- г. 750

87. При увеличении числа полюсов асинхронного двигателя в 2 раза его синхронная скорость...

- а. уменьшается в 2 раза
- б. не меняется
- в. увеличивается в 2 раза
- г. увеличивается в 4 раза

88. При частотном способе регулирования скорости асинхронного двигателя вместе с ростом частоты необходимо...

- а. повышать сопротивление обмотки статора
- б. снижать нагрузку
- в. снижать напряжение
- г. повышать напряжение

89. При регулировании скорости асинхронного двигателя за счет изменения напряжения питающей сети момент двигателя изменяется...

- а. пропорционально квадрату напряжения
- б. пропорционально напряжению
- в. обратно пропорционально квадрату напряжения
- г. обратно пропорционально напряжению

VII. Нагрев и охлаждение электродвигателей

90. Наибольшая допустимая температура нагрева двигателя ограничивается...

- а. температурой плавления обмоток
- б. термической стойкостью его изоляции
- в. механической стойкостью подшипников
- г. уставкой тепловой отсечки теплового реле

91. Нагрев двигателя обусловлен рядом факторов, в которые не входит...

- а. потери энергии в обмотках статора и ротора
- б. потери на гистерезис и вихревые токи
- в. потери электроэнергии в проводах питающей линии

г. трение в подшипниках

92. Повышение температуры электродвигателя продолжается до тех пор, пока...

- а. электродвигатель включен в сеть электропитания
- б. электродвигатель не достигнет скорости холостого хода
- в. количество теплоты, отдаваемое поверхностью электродвигателя, не станет равным количеству теплоты, выделяемому электродвигателем
- г. механическая мощность электродвигателя не станет равной электрической мощности, потребляемой из сети

93. Предельно допустимое превышение температура обмотки двигателя над температурой окружающей среды определяется разностью между предельно допустимой температурой изоляции двигателя и стандартной температурой окружающей среды, которая равна...

- а. 20 °С
- б. 24 °С
- в. 30 °С
- г. 40 °С

94. Согласно ГОСТ 183-66 изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах и аппаратах, делятся по нагревостойкости на...

- *а. классы
- б. группы
- в. виды
- г. категории

95. Электродвигатели сельскохозяйственного назначения изготавливаются с изоляцией по нагревостойкости класса...

- а. А
- б. F
- в. В
- г. С

96. Предельно допустимая температура нагрева обмоток электродвигателя

класса F, как наиболее примирительного в сельском хозяйстве равна...

- а. 120 °С
- б. 130 °С
- в. 155 °С
- г. 180 °С

97. На практике нагрев электродвигателя считается законченным, когда температура достигает...

- а. 0,85...0,87 установившегося значения температуры
- б. 0,87...0,92 установившегося значения температуры
- в. 0,92...0,95 установившегося значения температуры
- г. 0,95...0,98 установившегося значения температуры

98. Нагрузочная диаграмма электропривода представляет собой зависимость нагрузки электропривода от...

- а. времени
- б. скорости
- в. момента двигателя
- г. напряжения

99. ГОСТом предусматривается количество номинальных режимов работы электрических приводов равное...

- а. 3
- б. 8
- в. 4
- г. 6

100. Режимы работы электроприводов обозначаются буквой...

- а. D
- б. G
- в. S
- г. W

101. Одним из основных номинальных режимов работы электропривода не являются...

- а. продолжительный
- б. кратковременный
- в. повторно-кратковременный

г. повторно-кратковременный с пусками

102. Температуру электродвигателя считают установившейся, если в течение часа работы двигателя она увеличивается не более чем на...

- а. 1 °С
- б. 10 °С
- в. 5 °С
- г. 20 °С

103. Установившееся значение температуры электродвигателя наступает через промежуток времени равный...

- а. T_H
- б. $4T_H$
- в. $2T_H$
- г. $10T_H$

104. Режим работы электродвигателя при неизменной нагрузке, продолжающийся столько времени, что превышение температуры всех частей двигателя достигает установившихся значений называется...

- а. кратковременный
- б. повторно-кратковременный
- в. продолжительный
- г. повторно-кратковременный с пусками

105. Продолжительный режим работы электропривода не свойственен...

- а. насосам
- б. вентиляторам
- в. зерноочистительным машинам
- г. подъёмно-транспортным механизмам

106. Режим работы электродвигателя, при котором рабочие периоды с неизменной номинальной нагрузкой чередуются с периодами отключения машины; при этом периоды нагрузки (рабочие периоды) недлительны и превышение температуры не достигает установившегося значения, а периоды паузы позволяют двигателю охладиться до температуры окружающей среды называется...

- а. кратковременный
- б. повторно-кратковременный

в. продолжительный

г. повторно-кратковременный с пусками

107. Промышленность выпускает электродвигатели со стандартной продолжительностью рабочего периода...

- а. 20, 40, 70 и 100 мин
- б. 10, 30, 60 и 90 мин
- в. 5, 15, 25 и 50 мин
- г. 1, 3, 5 и 9 мин

108. Режим работы электродвигателя, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие периоды) чередуются с периодами отключения машины (паузами), причем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышение температуры могло достигнуть установившихся значений как при нагреве, так и при охлаждении называется...

- а. продолжительный
- б. кратковременный
- в. повторно-кратковременный
- г. повторно-кратковременный с пусками

109. ГОСТом установлено, что для повторно-кратковременного режима работы электродвигателя продолжительность цикла не превышает...

- а. 5 мин
- б. 15 мин
- в. 20 мин
- г. 10 мин

110. Для повторно-кратковременного режима работы электродвигателя относительная продолжительность включения ПВ составляет...

- а. 15, 25, 40 и 60%
- б. 10, 20, 50 и 90%
- в. 1, 2, 5 и 9%
- г. 25, 50, 75 и 100%

111. Если при работе двигателя момент и мощность рабочей машины не изменяются, то двигатель выбирают с номинальной мощностью, равной

мощности нагрузки рабочей машины, делённой на...

- а. КПД электродвигателя
- б. КПД передачи
- в. КПД источника электрической энергии
- г. коэффициент активной мощности

112. Мощность электродвигателя выбираемого для электропривода насоса не зависит от...

- а. производительности насоса
- б. напора насоса
- в. КПД электродвигателя
- г. плотности перекачиваемой жидкости

113. При переменной продолжительной нагрузке нагрузка на валу электродвигателя может периодически меняться, при этом периодически меняются...

- а. частота тока питающей сети
- б. амплитуда напряжения питающей сети
- в. коэффициент активной мощности электродвигателя
- г. потери мощности в электродвигателе

114. Для проверки выбранного электродвигателя по нагреву на практике используют методы эквивалентных величин, в которые не входит...

- а. метод эквивалентного напряжения
- б. метод эквивалентного тока
- в. метод эквивалентного момента
- г. метод эквивалентной мощности

115. При проверке электродвигателя по нагреву с помощью метода эквивалентного тока необходимо что бы номинальный ток предварительно выбранного по каталогу электродвигателя был по отношению к эквивалентному току...

- а. больше не менее чем в 2 раза
- б. больше или равен
- в. меньше или равен
- г. меньше

116. При проверке электродвигателя по нагреву с помощью метода

эквивалентного момента необходимо что бы номинальный момент предварительно выбранного по каталогу электродвигателя был по отношению к эквивалентному моменту...

- а. больше не менее чем в 2 раза
- б. меньше или равен
- в. больше или равен
- г. меньше

117. При проверке электродвигателя по нагреву с помощью метода эквивалентной мощности необходимо что бы номинальная мощность предварительно выбранного по каталогу электродвигателя был по отношению к эквивалентной мощности...

- а. больше не менее чем в 2 раза
- б. меньше или равна
- в. меньше
- г. больше или равна

118. Если для кратковременного режима выбрать электродвигатель, предназначенный для работы в продолжительном режиме, но с мощностью кратковременного режима работы, то...

- а. электродвигатель недоиспользуется по тепловому режиму
- б. электродвигатель быстро перегреется
- в. электродвигатель не сможет преодолеть момент сопротивления при пуске
- г. электродвигатель будет работать в режиме холостого хода

119. При расчётах электропривода принимают, что минимальный пусковой момент двигателя, с учетом возможного снижения напряжения, больше статического момента рабочей машины при пуске в...

- а. 1,5 раза
- б. 1,25 раза
- в. 1,1 раза
- г. 2 раза

Вопрос	Ответ	Вопрос	Ответ	Вопрос	Ответ	Вопрос	Ответ		
1	а	34	б	67	в	100	в		
2	а	35	б	68	г	101	г		
3	а	36	г	69	а	102	а		
4	а	37	в	70	б	103	б		
5	а	38	б	71	в	104	в		
6	а	39	а	72	г	105	г		
7	а	40	в	73	а	106	а		
8	а	41	а	74	б	107	б		
9	а	42	г	75	в	108	в		
10	в	43	а	76	г	109	г		
11	б	44	б	77	а	110	а		
12	а	45	в	78	б	111	б		
13	г	46	в	79	в	112	в		
14	г	47	б	80	г	113	г		
15	а	48	г	81	а	114	а		
16	б	49	а	82	б	115	б		
17	а	50	б	83	в	116	в		
18	б	51	в	84	г	117	г		
19	в	52	г	85	а	118	а		
20	г	53	а	86	б	119	б		
21	в	54	б	87	в				
22	а	55	в	88	г				
23	б	56	г	89	а				
24	г	57	а	90	б				
25	а	58	б	91	в				
26	б	59	в	92	в				
27	в	60	г	93	г				
28	а	61	а	94	а				
29	б	62	б	95	б				
30	а	63	в	96	в				
31	а	64	г	97	г				
32	б	65	а	98	а				
33	г	66	б	99	б				

Рефераттар мен баяндамалардың тақырыптары.

Тематика рефератов и докладов

1. Системы управления автоматическим пуском машины постоянного тока в функции времени
2. Система управления пуском машины постоянного тока в функции тока якоря
3. Системы автоматического регулирования электропривода независимого регулирования
4. Построение САР электропривода по принципу подчинённого регулирования
5. Коррекция частотных характеристик системы автоматического регулирования
6. Защиты от аварий в электроприводе
7. Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения обмотки якоря
8. Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением потока возбуждения.
9. Схема включения и статические характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
10. Регулирование скорости двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с помощью резисторов в цепи обмотки якоря.
11. Регулирование скорости двигателя постоянного тока последовательного возбуждения изменением напряжения
12. Изменение направления вращения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
13. Система генератор-двигатель.
14. Электроприводы с полупроводниковыми преобразователями
15. Система тиристорный преобразователь-двигатель
16. Электроприводы постоянного тока с транзисторными преобразователями

Қорытынды бақылауға арналған сұрақтар

Вопросы для итогового контроля

1. Перечислите основные положения электромеханики, лежащие в основе работы всех типов индуктивных электрических машин и поясните их смысл.
2. Назовите общие черты синхронных электрических машин и машин постоянного тока.
3. Объясните аналогию между асинхронными электрическими машинами и трансформаторами.
4. Каковы функции коллектора в двигательном и генераторном режимах работы машин постоянного тока?
5. Что такое реакция якоря в машинах постоянного тока и как она проявляется в их свойствах?
6. Изобразите электромеханические и механические характеристики двигателей постоянного тока независимого, последовательного и смешанного возбуждения. Чем обусловлено отсутствие режима идеального холостого хода у двигателей последовательного возбуждения?
Рис. 2.69. Типовая зависимость $\cos \varphi(P2/P2н)$ для асинхронных двигателей
- 2.6. Потери мощности и энергетические характеристики... 127
7. Как можно построить естественные механические характеристики двигателей последовательного и смешанного возбуждения?
8. Какие схемы замещения фазы асинхронного двигателя Вы знаете и в чем их различие?
9. От чего зависят ЭДС и индуктивное сопротивление обмотки ротора асинхронного двигателя?
10. Назовите возможные причины увеличения тока холостого хода асинхронного двигателя после неудачного ремонта.
11. Как Вы объясните характерную особенность асинхронных двигателей при подключении к промышленной сети — относительно малый пусковой момент при относительно большом пусковом токе?
12. С какой целью у асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором иногда используют двойную беличью клетку или глубокий паз?
13. Назовите отличия синхронных двигателей от асинхронных в принципе действия, конструкции и характеристиках.
14. Почему при питании от промышленной сети синхронные двигатели не имеют пускового момента? Какие варианты пуска синхронных двигателей Вы могли бы предложить?
15. Каким образом можно изменять реактивную мощность синхронного двигателя?
16. В чем принципиальные отличия шаговых двигателей от других, рассмотренных в этой главе, и какова область их предпочтительного применения?
17. Сопоставьте рассмотренные в данной главе типы двигателей. Выберите наиболее значимые показатели, подчеркните положительные и отрицательные свойства каждого

18. Что такое приведенное механическое звено электропривода? Изобразите его расчетную схему, укажите на ней основные механические параметры электропривода и запишите уравнение его движения.
19. Какие режимы работы в электроприводе называют статическими, а какие динамическими?
20. Какие моменты в электроприводе называют движущими, а какие тормозящими?

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТ
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА
Основная литература

1. Системы управления электроприводов: учебник / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. - Москва: Академия, 2005, 2006, 2008. - 300 с.
2. Системы автоматизированного управления электроприводами: учебное пособие / Г.И. Гульков [и др.]; Под ред. Ю.Н. Петренко. - Минск: Новое знание, 2-е изд. испр. и доп., 2007. - 383 с.
3. Электропривод в современных технологиях. Новиков В.А., 2014 год

Дополнительная литература

4. Автоматизированный электропривод промышленных установок: учебное пособие для вузов / Г.Б. Онищенко [и др.]; Под ред. Г.Б. Онищенко. - Москва: РАСХН, 2001.-520
5. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода / В.В. Москаленко. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 208 с.
6. Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов: Учебное пособие / Г.В. Никитенко. - СПб.: Лань, 2013. - 224 с.
7. Хитерер, М.Я. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения: Учебное пособие по специальностям "Электромеханика" и "Электропривод и автоматика" / М.Я. Хитерер. - СПб.: КОРОНА-принт, 2013. - 368 с.

Средства обучения:

1. Технические средства обучения (компьютер, проектор, видеотехника).
2. Макеты.
3. Плакаты.