Основы электропривода

Тема 1. Структура электропривода

Занятие 1 (2 часа) Назначение и типы электроприводов

Тема 2. Механические характеристики электропривода

Занятие 2 (2 часа) Уравнение движения электропривода

Занятие 3 (2 часа) Расчетные схемы механической части электропривода.

Занятие 4 (2 часа) Установившееся и неустановившееся движения электропривода и его устойчивость

Занятие 5 (2 часа) Контрольная работа №1

Тема 3 Регулирование координат электропривода

Занятие 6 (2 часа) Регулирование скорости

Занятие 7 (2 часа) Регулирование момента и тока

Занятие 8 (2 часа) Регулирование положения

Занятие 9 (2 часа) Контрольная работа №2

Тема 4 Электроприводы с двигателями постоянного тока

Занятие10 (2 часа) Регулирование скорости двигателя постоянного тока с помощью резисторов в цепи якоря

Занятие 11(2 часа) Регулирование координат электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения якоря

Тема 5. Электроприводы с асинхронным двигателем

Занятие 12(2 часа) Регулирование координат асинхронного двигателя с помощью резисторов

Занятие 13(2 часа) Регулирование координат электропривода с асинхронным двигателем изменением величины и частоты напряжения

Занятие 14(2 часа) Регулирование скорости асинхронного двигателя изменением числа пар полюсов

Занятие15(2 часа) Контрольная работа№3

Тема 7. Взаимосвязанный электропривод

Занятие 16(2 часа) Электропривод с механическим соединением валов двигателей

Занятие 17(2 часа) Электропривод с электрическим валом

Тема 8. Энергетика электропривод

Занятие 18(2 часа) Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности электропривода

Тема 9. Выбор и проверка двигателей для электропривода

Занятие 19(2 часа) Расчет мощности и выбор двигателей

Тема 10. Разомкнутые схемы управления электропривода

Занятие 20(2 часа) Электрические аппараты ручного и дистанционного управления

Занятие 21(2 часа) Датчики времени, скорости, тока, положения, аппараты защиты, блокировок и сигнализации

Занятие 22(2 часа) Контрольная работа №4

Тема 11 Замкнутые схемы управления электропривода

Занятие 23(2 часа) Схемы замкнутых структур электропривода

Занятие 24(2 часа) Аналоговые элементы и устройства управления электропривода

Занятие 25(2 часа) Дискретные элементы и устройства управления электропривода

Занятие 26(2 часа) Микропроцессорные средства управления электроприводом

Занятие 27(2 часа) Следящий электропривод

Занятие 28(2 часа) Контрольная работа №5

Тема 1. Структура электропривода

Занятие 1 (2 часа)

Назначение и типы электроприводов

1.1. Назначение электроприводов

Электропривод предназначен для выполнения своей основной функции - приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и механизмов и управления этим движением.

ЭП включает в себя совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом электротехнических, электромеханических и механических элементов и устройств.

Такая электромеханическая система получила название электрического привода.

Обшая структурная схема ЭП приведена на рис. 1.1, где утолщенными линиями показаны силовые каналы энергии, а тонкими линиями - маломощные (информационные) цепи.

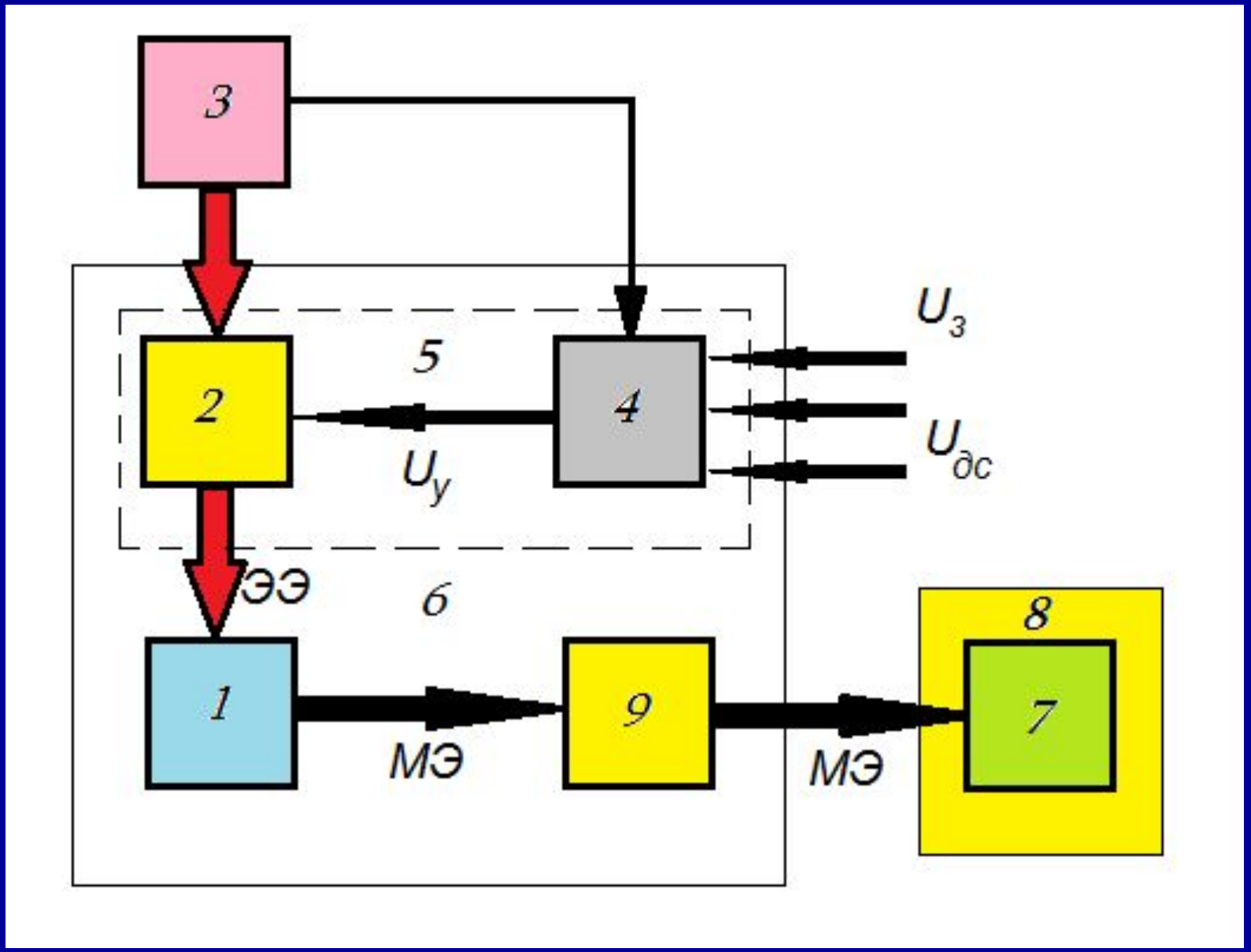


Рис.1.1. Общая структурная схема электропривода

На рисунке:

1 – электрический двигатель.

2 - силовой преобразователь

3 – источник электроэнергии

4 – блок управления

5 – система управления электроприводом

6 – электропривод

7 – рабочий орган

8 – рабочая машина

9 – передаточное устройство

ЭЭ – электрическая энергия, МЭ – механическая энергия, Uу – управляющий сигнал, Uз – задающий сигнал, Uдс – дополнительные сигналы

Основным элементом любого электропривода 6 служит электрический двигатель 1, который вырабатывает механическую энергию (МЭ) за счет потребляемой электрической энергии, т.е. является электромеханическим преобразователем энергии.

От электродвигателя механическая энергия через передаточное устройство 9 (механическое, гидравлическое, электромагнитное) подается на исполнительный орган 7 рабочей машины 8, за счет чего тот совершает требуемое механическое движение.

Функция передаточного устройства заключается в согласовании параметров движения электродвигателя и исполнительного органа.

Электрическая энергия поступает в ЭП от источника электроэнергии 3.

Для получения электроэнергии с требуемыми для электродвигателя параметрами и управления потоком этой энергии между двигателем и источником электроэнергии включается силовой преобразователь 2.

Функции управления и автоматизации в ЭП осуществляются маломощным блоком управления 4. Этот блок вырабатывает сигнал управления Uу, с помощью входного сигнала Uз, задающего характер движения исполнительного органа, и ряда дополнительных сигналов Uдс, дающих информацию о реализации технологического процесса рабочей машины, характере движения исполнительного органа, работе отдельных узлов ЭП, возникновении аварийных ситуаций и др.

Преобразователь 2 вместе с блоком управления 4 образуют систему управления электроприводом 5.

По характеру движения различают:

- Электропривод вращательного движения
- Электропривод поступательного движения

Движение электропривода может быть:

- непрерывным или дискретным,
- однонаправленным,
- двунаправленным (реверсивным)
- вибрационным (возвратно-поступательным).

Скорость электропривода может быть регулируемой или нерегулируемой,

Рис. 1.2. Электропривод вращательного движения

Рис.1.3. Электропривод возвратно-поступательного движения

По числу используемых двигателей различают электроприводы:

- групповые,
- индивидуальные
- взаимосвязанные.

Групповой ЭП характеризуется тем, что один его двигатель приводит в движение несколько исполнительных органов одной машины или один исполнительный орган нескольких рабочих машин.

Индивидуальный ЭП обеспечивает движение одного исполнительного органа рабочей машины.

Взаимосвязанный ЭП представляет собой два или несколько электрически или механически связанных между собой индивидуальных ЭП, работающих совместно на один или несколько исполнительных органов.

Тема 2.
Механические характеристики электропривода

Занятие 2 (2 часа)

Уравнение движения электроприводом

В механическом движении электропривода участвуют:

- подвижная часть электродвигателя (ротор или якорь),
- элементы механического передаточного устройства
- исполнительный орган.

Совокупность этих элементов называют механической частью ЭП.

Движение любого элемента механической части электропривода подчиняется законам механики.

Поступательное движения при неизменной массе элементов движения описывается следующим уравнением:

$$\Sigma F = \frac{m\Delta v}{\Delta t} = ma$$

где: ΣF - совокупность сил, действующих на элемент;

m - масса элемента;

t - время,

v - линейная скорость движения элемента.

a - ускорение поступательного движения элемента

Вращательное движения при неизменной массе элементов движения описывается следующим уравнением:

$$\Sigma M = \frac{J\Delta\omega}{\Delta t} = J\varepsilon$$

где: ΣM - совокупность моментов, действующих на элемент;

J - момент инерции элемента;

t - время,

ω - угловая скорость движения элемента.

ε - ускорение вращательного движения элемента

Данные уравнения можно записать иначе:

$$a = \frac{\Sigma F}{m}$$

$$\varepsilon = \frac{\Sigma M}{J}$$

Уравнения отражают известный закон механики:

Ускорение движения механического элемента (тела) пропорционально алгебраической сумме действующих на него сил (моментов) и обратно пропорционально его массе (моменту инерции).

Если

$\sum F = 0$; $\sum M = 0$,

то $a = 0$; $\varepsilon = 0$ и элемент движется с постоянной скоростью или находится в состоянии покоя.

Элемент будет двигаться с неизменной скоростью (или будет неподвижным), если сумма сил или моментов, к нему приложенных, будет равна нулю.

Такое движение называют установившимся.

При $\sum F > 0$ или $\sum M > 0$ элемент будет двигаться с ускорением,

а при $\sum F < 0$ или $\sum M < 0$ - с замедлением.

Занятие 3 (2 часа)

Расчетные схемы механической части электропривода.

3.1. Кинематическая и эквивалентная (расчетная) схемы механической части электропривода.

Элементы, образующие механическую часть электропривода, связаны между собой, и оказывают тем самым друг на друга соответствующее воздействие. Поэтому, анализируя механическое движение того или иного элемента, необходимо учитывать влияние на него других элементов кинематической схемы ЭП.

Это достигается соответствующим пересчетом входящих в уравнения сил, моментов, масс и моментов инерции к элементу, движение которого рассматривается.

Такой расчет в теории ЭП получил название операции приведения, а сами пересчитанные переменные и параметры называют приведенными.

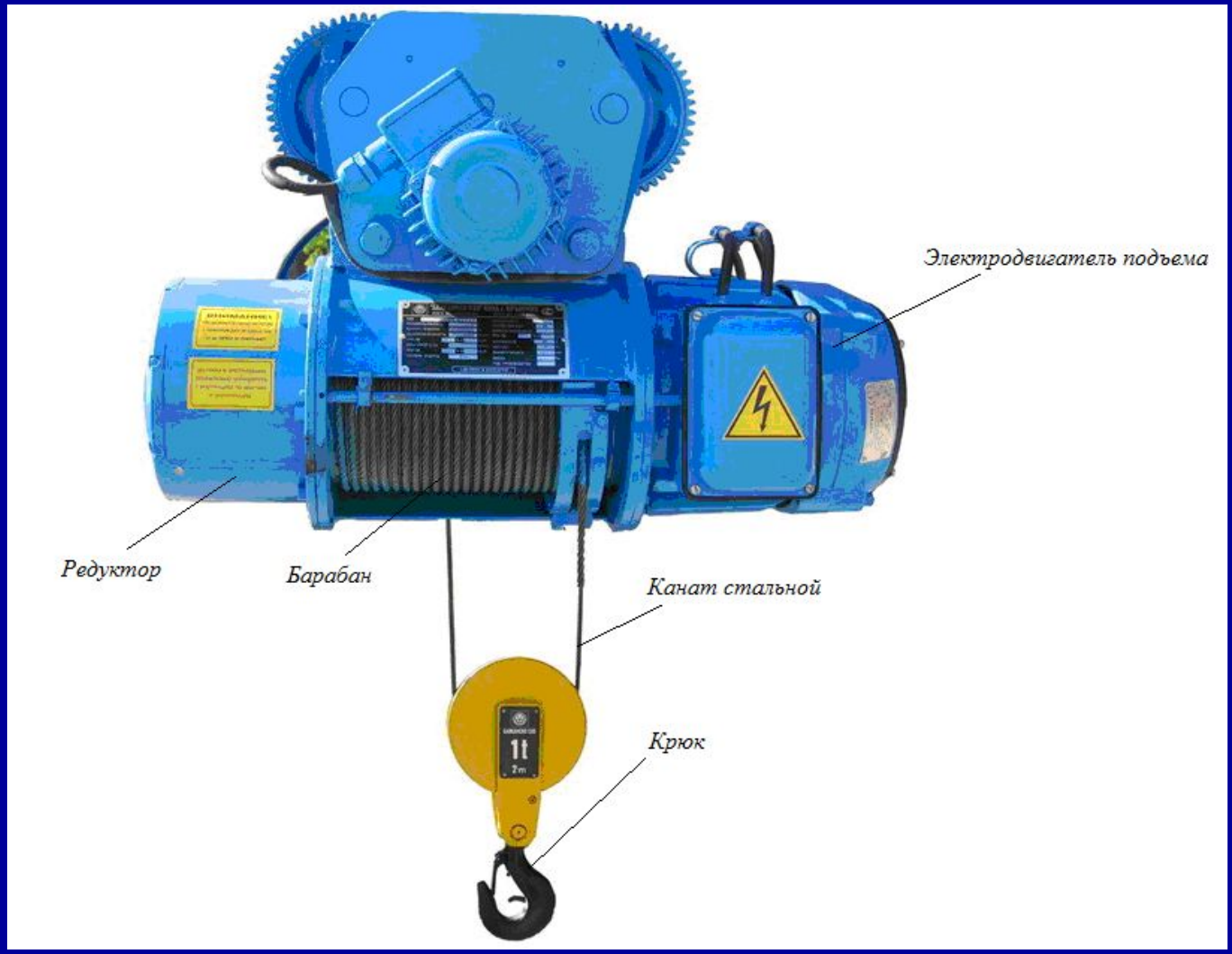


Рис.3.1. Электрическая таль грузоподъемностью 3 тонны

На рис.3.1. показан внешний вид грузоподъемного устройства, называемого электрической талью (лебедкой).

Таль может поднимать, опускать и перемещать грузы.

Электропривод подъема состоит из :

- двигателя подъема,
- редуктора понижающего,
- барабана со стальным канатом,
- электромеханического тормоза
- соединительных муфт валов электродвигателя и приводных механизмов

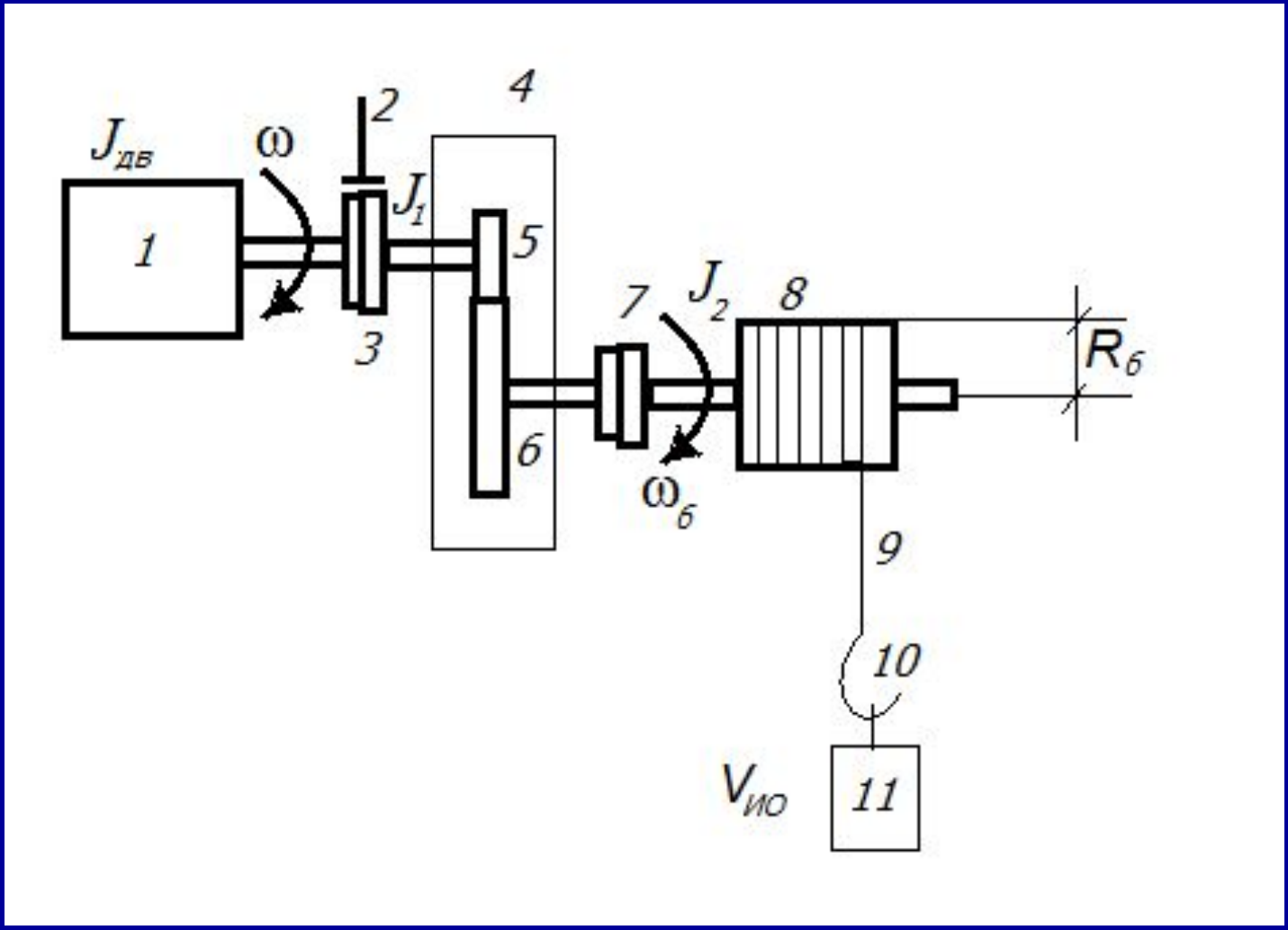


Рис. 3.2. Кинематическая схема механической части электропривода подъемной лебедки

На кинематической схеме:

1. двигатель
2. тормоз
3. и 7 - соединительные муфты
4. редуктор
5. и 6 - шестерни редуктора
6. барабан
7. канат
8. крюк
9. груз

Рассмотрим операцию приведения и получим соответствующие математические формулы на примере механической части ЭП подъемной лебедки, кинематическая схема которой приведена на рис. 3.2.

Электродвигатель1 вращательного движения с моментом инерции $J_{дв}$ через одноступенчатый редуктор 4 с парой шестерен 5 и 6 приводит во вращение с угловой скоростью $\omega_б$ барабан 8 подъемной лебедки, который с помощью троса 9 и крюка 10 поднимает (или опускает) с линейной скоростью $V_{ИО}$ груз 11 массой m .

На схеме показаны также соединительные механические муфты 3 и 7, первая из которых служит шкивом для механического тормоза 2.

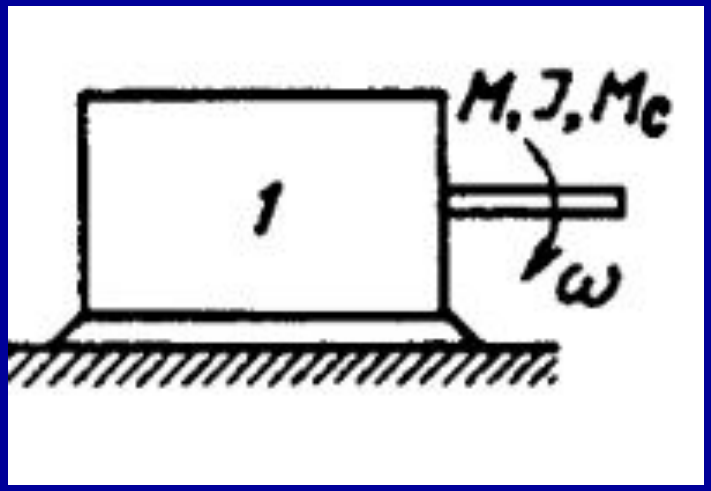
Примем допущения, что все элементы приведенной кинематической схемы являются абсолютно жесткими и между ними отсутствуют зазоры.

Операцию приведения можно выполнять относительно любого элемента, движение которого подлежит рассмотрению.

Обычно в качестве такого элемента выбирают двигатель1, являющийся источником механического движения.

В этом случае сущность операции приведения состоит в том, что реальная схема механической части ЭП (см. рис. 3.2,) заменяется некоторой расчетной (эквивалентной) схемой, основой которой является двигатель1(см. рис. 3.3,), а остальные элементы этой схемы представляются некоторыми пока неизвестными приведенными моментом нагрузки (сопротивления) Мс и моментом инерции J.

Такая расчетная схема получила название одномассовой схемы или жесткого приведенного механического звена.



Математические соотношения, позволяющие определить Mc и J и тем самым перейти к расчетной схеме, определяются исходя из закона сохранения энергии.

3.2. Определение приведенного момента инерции *J*.

Запишем выражения для определения кинетической энергии элементов в реальной (см. рис. 3.2*)* и расчетной (см. рис. 3.3) схемах и приравняем их друг к другу

$$\frac{J\omega^2}{2} = \frac{J_д\omega^2}{2} + \frac{J_1\omega^2}{2} + \frac{J_2\omega_б^{\,2}}{2} + \frac{mV_{ИО}^{\,2}}{2}$$

где J_1 - суммарный момент инерции элементов, вращающихся со скоростью ω (кроме двигателя),

J_2 - момент инерции элементов, вращающихся со скоростью барабана $\omega_б$.

Умножим обе части выражения на , получим

$$J = J_д + J_1 + J_2\left(\frac{\omega_б}{\omega}\right)^2 + m\left(\frac{V_{ИО}}{\omega}\right)^2$$

Из технической механики известно, что:

отношение $\frac{\omega}{\omega_б} = \frac{z_2}{z_1} = i$

(z_2 и z_1, - соответственно число зубцов шестерен *6* и *5)* является передаточным отношением редуктора,

отношение $\frac{V_{ИО}}{\omega} = \rho = \frac{R_б \cdot \omega_б}{\omega} = \frac{R_б}{i}$

представляет собой радиус приведения кинематической схемы между исполнительным органом (крюком *10)* и валом двигателя.

С учетом этого, окончательно получаем:

$$J = J_д + J_1 + \frac{J_2}{i^2} + m\rho^2$$

Отсюда вытекает общее правило:

для расчета *J* следует моменты инерции вращающихся элементов разделить на квадрат передаточного числа кинематической схемы между этими элементами и валом двигателя, а массы поступательно движущихся элементов умножить на квадрат радиуса приведения и полученные результаты расчета сложить с моментами инерции двигателя и элементов, вращающихся с его скоростью.

3.3. Определение приведенного момента нагрузки Мс

При подъеме груза к исполнительному органу от электропривода должна быть подведена следующая механическая мощность

$$P_{ИО} = F_{ИО} \cdot v_{ИО} = mgv_{ИО}$$

где: g - ускорение силы тяжести;

$F_{ИО}$ - усилие, развиваемое исполнительным органом.

Учитывая с помощью КПД потери мощности в кинематической цепи, запишем баланс мощности нагрузки ЭП в реальной и расчетной схемах:

$$M_c \omega = \frac{m g v_{ИО}}{\eta}$$

где $\eta = \eta_р \cdot \eta_б$ - результирующий КПД кинематической схемы ЭП;

$\eta_р$ и $\eta_б$ — соответственно КПД редуктора *4* и барабана *8.*

Разделим обе части уравнения на ω, тогда:

$$M_c = \frac{mgv_{ио}}{\eta\omega} = \frac{F_{ио} \cdot \rho}{\eta}$$

Если исполнительный орган совершает не поступательное, а вращательное движение, то

$$M_c\omega = \frac{M_{ио}\omega_{ио}}{\eta}$$

где $M_{ио}$ - момент нагрузки

$\omega_{ио}$ - скорость исполнительного органа,

$$M_c = \frac{M_{ио}}{\eta \cdot i}$$

- приведенный момент нагрузки

денный момент Мс иногда называют
оментом сопротивления

В электроприводе двигатель создает движущий момент, а исполнительный орган – момент сопротивления движению. (М - Мс), тогда формула суммарного момента (см. занятие 2)

$$\Sigma M = \frac{J\Delta\omega}{\Delta t} = J\varepsilon$$

принимает вид

$$M - M_c = \frac{J\Delta\omega}{\Delta t} = J\varepsilon$$

Левая часть уравнения , представляющая собой разность моментов двигателя и нагрузки и определяющая условия ускорения или замедления движения, в теории электропривода получила название динамического момента,

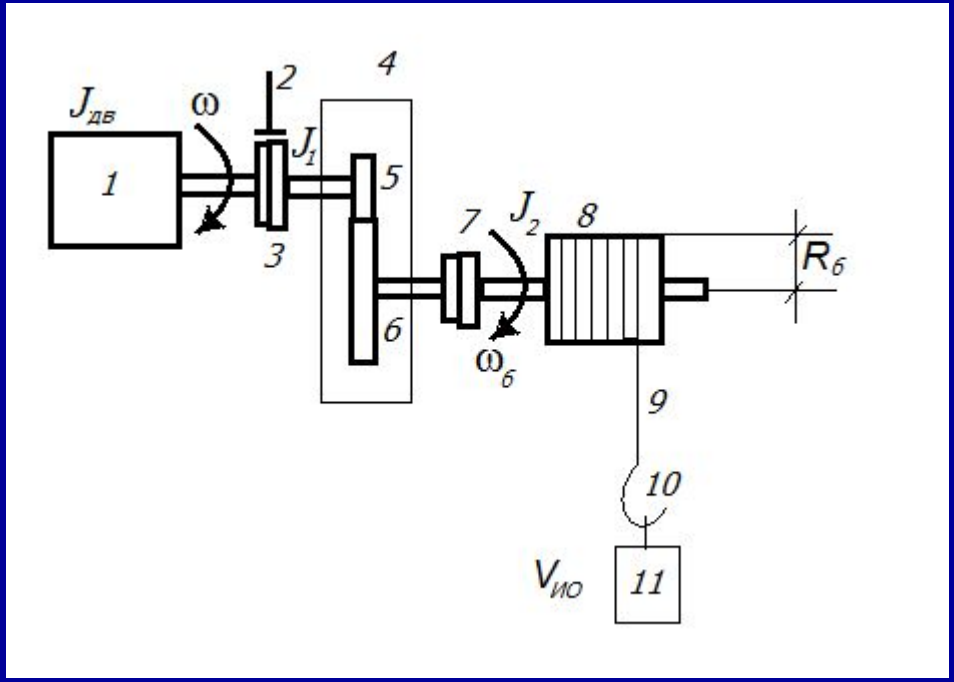
$$M_{дин} = M - M_c$$

- При положительном динамическом моменте Мдин>0; *M >Mc.* скорость электропривода увеличивается
- При отрицательном динамическом моменте Мдин <0; *M <Mc.* скорость электропривода уменьшается

Задача 3.1 Выполнить операцию приведения в случае подъема груза при следующих параметрах кинематической схемы (см. рис. 3.2.);

Дано:

$J_д = 0{,}1$ кгм^2;
$J_1 = 2$ кгм^2;
$J_2 = 2$ кгм^2;
$m = 1000$ кг;
$R_б = 0{,}15$ м;
$v_{ИО} = 0{,}9$ м/с;
$z_1 = 14$;
$z_2 = 86$;
$\eta_р = 0{,}97$;
$\eta_б = 0{,}96$.



Решение:

1. Передаточное число редуктора

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{86}{14} = 6{,}14$$

2. Радиус приведения кинематической схемы:

$$\rho = \frac{R_б}{i} = \frac{0{,}15}{6{,}14} = 0{,}024\ м$$

3. Момент инерции:

$$J = J_д + J_1 + \frac{J_2}{i^2} + m\rho^2 =$$

$$= 0{,}1 + 0{,}02 + \frac{2}{6{,}14^2} + 1000 \cdot 0{,}0024^2 = 0{,}7\ кг \cdot м^2$$

4. Приведенный момент нагрузки:

$$M_c = \frac{mg\rho}{\eta_р \cdot \eta_б} =$$

$$= \frac{1000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}024}{0{,}97 \cdot 0{,}96} = 253\ Н \cdot м$$

Занятие 4 (2 часа)
Установившееся и неустановившееся движения электропривода и его устойчивость

4.1. Установившееся движение электропривода

Для расчетной одномассовой схемы, приведенной на рис. 3,3. установившееся механическое движение электропривода будет определяться равенством моментов двигателя и нагрузки, т.е. условием *M = Mc.*

Проверка выполнения этого условия может производиться аналитически или с помощью так называемых механических характеристик двигателя и исполнительного органа.

Механической характеристикой двигателя называется зависимость его скорости от развиваемого момента ω (M) (для вращательного движения) или усилия *v(F)* (для поступательного движения). (см. рис.4.1.)

Различают естественную и искусственную характеристики двигателей.

Естественная характеристика двигателя (она у него единственная) соответствует основной (паспортной) схеме его включения и номинальным параметрам питающего напряжения.

Естественные механические характеристики двигателей вращательного движения приведены на рис. 4.1.

На естественной характеристике располагается точка номинального (паспортного) режима работы двигателя с координатами $\omega_{ном}$. и $M_{ном}$.

Если включение двигателя происходит не по основной схеме, или в его электрические цепи включены какие-либо дополнительные электротехнические элементы (резисторы, реакторы, конденсаторы), или двигатель питается напряжением с неноминальными параметрами, то его характеристики будут называться искусственными.

Механической характеристикой исполнительного органа называется зависимость скорости его движения от усилия или момента на нем, т.е. $\omega_{ио}(M_{ио})$ при вращательном движении и $v_{ио}(F_{ио})$ при поступательном движении.

В результате операции приведения эти характеристики преобразуются в зависимость вида $\omega(Mc)$.

где ω - скорость двигателя, а *Mc* - приведенный к его валу момент нагрузки (сопротивления).

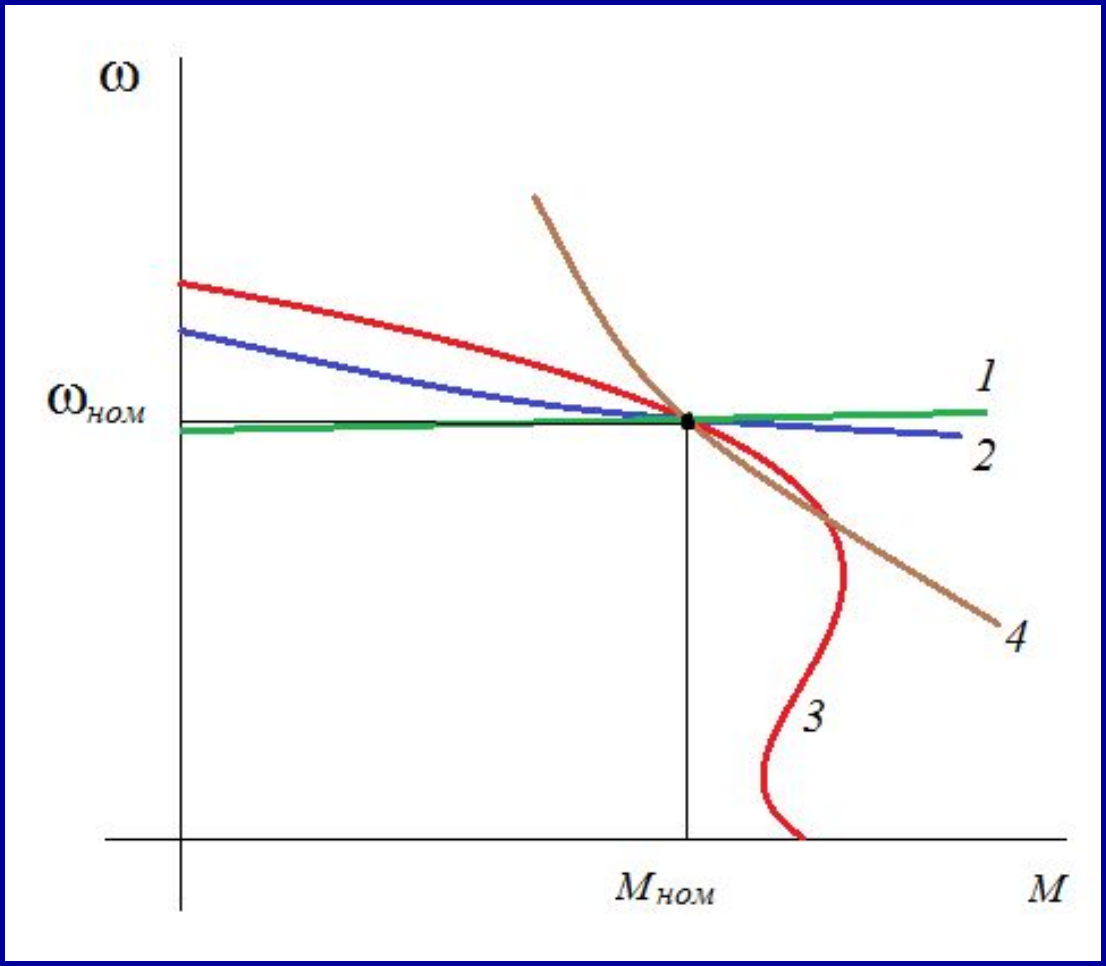


Рис.4.1.Механические характеристики электродвигателей

1 – механическая характеристика синхронного электродвигателя

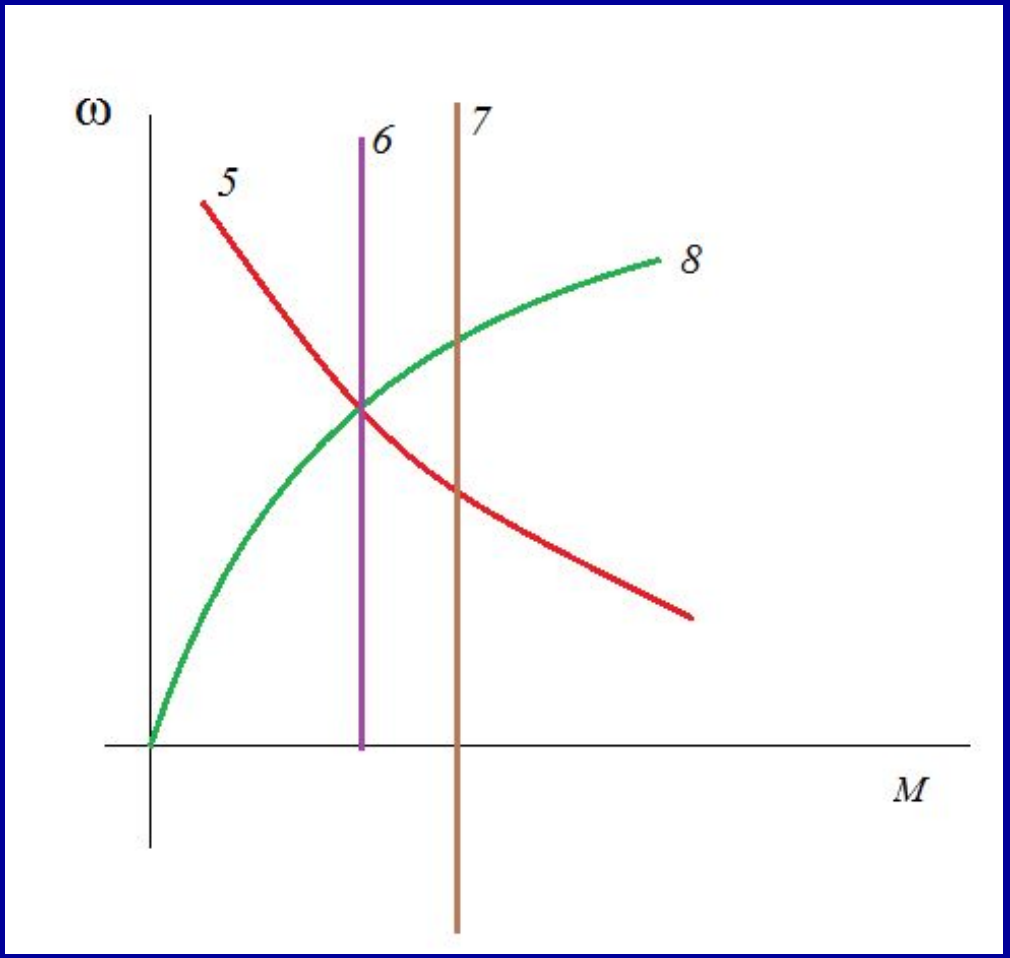
2 - механическая характеристика электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

3 - механическая характеристика асинхронного электродвигателя

4 - механическая характеристика электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением

Механической характеристикой исполнительного органа называется зависимость скорости его движения от усилия или момента на нем, т.е. $\omega_{ИО}(M_{ИО})$ при вращательном движении и $v_{ИО}(F_{ИО})$ при по ступательном движении.

В результате операции приведения эти характеристики преобразуются в зависимость вида ω(Мс). где ω - скорость двигателя, а *Мс* - приведенный к его валу момент нагрузки (сопротивления).



5 - механические характеристики механизма главного движения металлообрабатывающего станка;
6 - механические характеристики транспортера, механизма подачи станка;
7 - механические характеристики подъемного механизма;
8- механические характеристики вентилятора, дымососа, компрессора и центробежного насоса.

Рис. 4.1. Механические характеристики некоторых исполнительных органов

Введенное понятие механических характеристик позволяет графически выполнить проверку условия установившегося движения и найти его параметры.

Для этого в одном и том же квадранте совмещаются характеристики двигателя *1* и исполнительного органа *2,* как это показано на рис. 4.3. Точка *А* пересечения этих характеристик, в которой моменты двигателя и исполнительного органа равны, и будет соответствовать установившемуся движению со скоростью $\omega_{уст}$ и моментом $M_{уст}$.

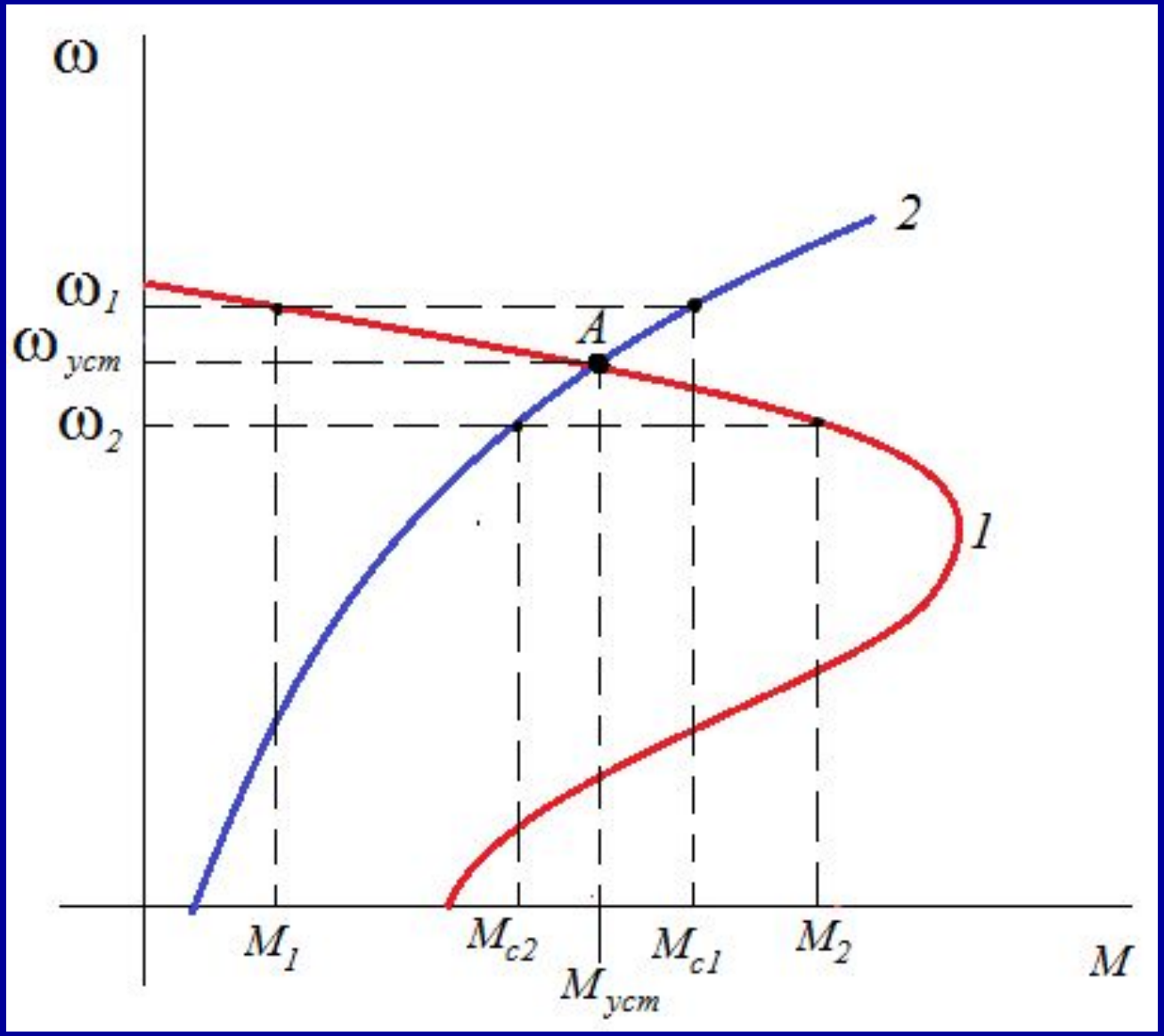


Рис.4.3.Определение установившегося движения с помощью графиков

4.2. Неустановившееся движение электропривода

Неустановившееся движение ЭП имеет место, когда моменты двигателя и нагрузки отличаются друг от друга, т.е. М ≠Мс.

В этом случае динамический момент $М_{дин}$ не равен нулю и происходит увеличение или снижение скорости движения.

Наиболее типичными примерами неустановившегося движения в ЭП являются пуск, торможение и реверс двигателя, его переходы с одной скорости на другую в процессе ее регулирования или изменения нагрузки на валу.

Неустановившееся движение возникает при переходе ЭП из установившегося движения с одними параметрами к установившемуся движению с другими параметрами (если, конечно, движение устойчивое).

По этой причине неустановившееся движение называют также переходным процессом или переходным режимом ЭП.

Занятие 5 (2 часа)
Контрольная работа №1

Тема 3. Регулирование координат электропривода
Занятие 6. (2 часа)
Регулирование скорости

6.1. Общие определения

Для обеспечения требуемых режимов работы производственных процессов и самого электропривода, некоторые переменные величины, должны регулироваться.

Такими переменными величинами, часто называемыми в ЭП координатами, являются, например, скорость, ускорение, положение исполнительного органа или любого другого механического элемента привода, токи в электрических цепях двигателей, моменты на их валу и др.

Типичным примером необходимости регулирования координат может служить ЭП пассажирского лифта. При пуске и остановке кабины лифта для обеспечения комфортности пассажиров ускорение и замедление ее движения ограничиваются. Перед остановкой скорость кабины должна снижаться, т.е. регулироваться.

И, наконец, кабина с заданной точностью должна останавливаться на требуемом этаже. Такое управление движением кабины лифта обеспечивается за счет регулирования соответствующих координат (переменных) ЭП лифта.

6.2. Регулирование скорости

Регулирование скорости движения исполнительных органов требуется во многих рабочих машинах и механизмах - прокатных станах, подъемно - транспортных механизмах, горнодобывающих и бумагоделательных машинах, металлообрабатывающих станках и др.

С помощью электропривода обеспечиваются регулирование и стабилизация скорости движения их исполнительных органов.

Рассмотрим, каким образом с помощью ЭП можно обеспечивать регулирование скорости исполнительных органов рабочих машин.

Скорости двигателя и исполнительного органа связаны между собой соотношениями :

- при вращательном движении

$$\omega_{ИО} = \frac{\omega}{i}$$

- при поступательном движении

$$v_{ИО} = \omega\rho$$

Где: $\omega_{ИО}$ – угловая скорость исполнительного органа

ω - угловая скорость двигателя

i – передаточное соотношение редуктора

$v_{ИО}$ - линейная скорость исполнительного органа

ρ - радиус приведения кинематической схемы

Анализ формул показывает, что регулировать скорость движения ИО можно воздействуя:

- на механическую передачу,
- на двигатель,
- одновременно на механическую передачу и двигатель.

а) В первом случае воздействие заключается в изменении передаточного числа или радиуса приведения р механической передачи при постоянной скорости двигателя, поэтому этот способ регулирования получил название механического.

Для его реализации используются коробки передач (при ступенчатом регулировании), вариаторы и электромагнитные муфты (для плавного регулирования).

Применяется механический способ ограниченно из-за сложности автоматизации таких технологических процессов, малого набора регулируемых механических передач указанного типа и их невысоких надежности и экономичности.

б) Способ регулирования скорости ИО предусматривающий воздействие на двигатель при неизменных параметрах механической передачи, получил название электрического.

Этот способ нашел широкое применение в современных ЭП вследствие его больших регулировочных возможностей, простоты, удобства использования в общей схеме автоматизации технологических процессов и экономичности.

в) Комбинированный способ регулирования скорости ИО применяется ограниченно в основном в ЭП металлообрабатывающих станков.

Регулирование частоты вращения двигателей характеризуется следующими основными показателями.

- Диапазон регулирования
- Плавность регулирования,
- Направление возможного изменения частоты вращения двигателя (зона регулирования).
- Экономичность регулирования
- Допустимая нагрузка двигателя

6.2.1. Диапазон регулирования *D* (предел изменения частоты вращения). Под этой величиной понимается отношение максимальной частоты вращения двигателя ω_{max} к его минимальной частоте вращении ω_{min}

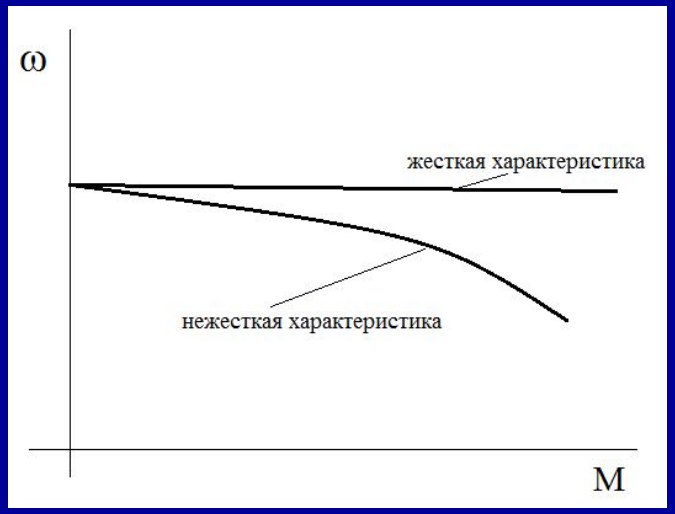
$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}}$$

6.2.2.Плавность регулирования,

характеризуется минимальным скачком частоты вращения двигателя при переходе с одной механической характеристики на другую.

6.2.3.Стабильность скорости, характеризуется изменением скорости при возможных колебаниях момента нагрузки на валу двигателя и определяемая жесткостью его механических характеристик.

Чем больше жесткость механической характеристики двигателя, тем стабильнее скорость при изменениях момента нагрузки, и наоборот.



6.2.4.Направление возможного изменения частоты вращения двигателя (зона регулирования).

При номинальных условиях работы (напряжении и частоте питающей сети) двигатель имеет определенную механическую характеристику, то есть зависимость момента двигателя от числа оборотов вала двигателя.

При регулировании частоты вращения соответствующие им характеристики будут отличаться от первоначальной. Эти характеристики носят название искусственных (регулировочных) характеристик. С помощью одних методов регулирования удается получить, например, только увеличение числа оборотов при сохранении заданного момента. Другие методы обеспечивают регулирование частоты вращения как выше, так и ниже естественной характеристики.

6.2.5.Экономичность регулирования

Определяется по дополнительным капитальным затратам, необходимым при создании регулировочных устройств, а также по потерям элек троэнергии при регулировании.

При этом более рационально применение простых и дешевых способов регулирования частоты вращения двигателей, даже и неэкономичных с точки зрения потребления энергии.

6.2.6.Допустимая нагрузка двигателя при изменения частоты вращения .

Диапазон изменения скорости вращения вала двигателя может быть ограничен величиной токов в статорной и роторных цепях. Эта нагрузка определяется допустимым нагревом двигателя и механическими характеристиками производственных механизмов, моментом сопротивления на валу, моментом инерции двигатели и механизма и т. д.

Занятие 7 (2 часа)
Регулирование момента и тока

7.1. Общие определения.

При формировании заданного графика движения исполнительных органов часто бывает необходимо обеспечивать требуемое их ускорение или замедление.

Это достигается регулированием прикладываемого к исполнительным органам со стороны ЭП момента или усилия.

В некоторых технологических процессах (прокатка металла, изготовление проводов и кабелей, бумажное и текстильное производства) требуется, чтобы исполнительные органы рабочих машин создавали необходимое натяжение в обрабатываемом материале или изделии. Это также обеспечивается с помощью ЭП регулированием создаваемого им момента или усилия на исполнительных органах соответствующих рабочих машин и механизмов.

В некоторых случаях требуется ограничивать момент ЭП для предотвращения поломки рабочей машины или механизма при внезапном стопорении движения исполнительного органа (например, при копании грунта, бурении скважин, заклинивании механической передачи и др.).

7.2. Регулирование момента и тока

Развиваемый электрическим двигателем момент пропорционален произведению магнитного потока и тока якоря, т.е.

$$M = k\Phi I$$

где k - конструктивный коэффициент двигателя.

Таким образом, изменяя ток якоря I или магнитный поток Ф, можно регулировать (ограничивать) момент.

Регулирование тока и момента двигателей требуется также и для обеспечения нормальной работы самих двигателей.

Так, при пуске двигателей постоянного тока обычного исполнения для обеспечения нормальной работы их коллекторно-щеточного узла ток должен быть ограничен значением не более $3I_{ном.}$

Таким образом. с одной стороны необходимо рассчитывать на определенную величину момента для нормальной работы электропривода, с другой стороны требуемый момент электропривода может создать в двигателе недопустимо большой ток. что приведет к выходу двигателя из строя.

Для анализа возможности регулирования тока используется электромеханическая характеристика двигателя (иногда называемая скоростной), которая представляет собой зависимость его скорости от тока ω(I).

На рис. 7.1. показаны типовые электромеханические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения, позволяющие регулировать (ограничивать) ток *I* и момент *M* при пуске с помощью добавочного резистора в цепи якоря.

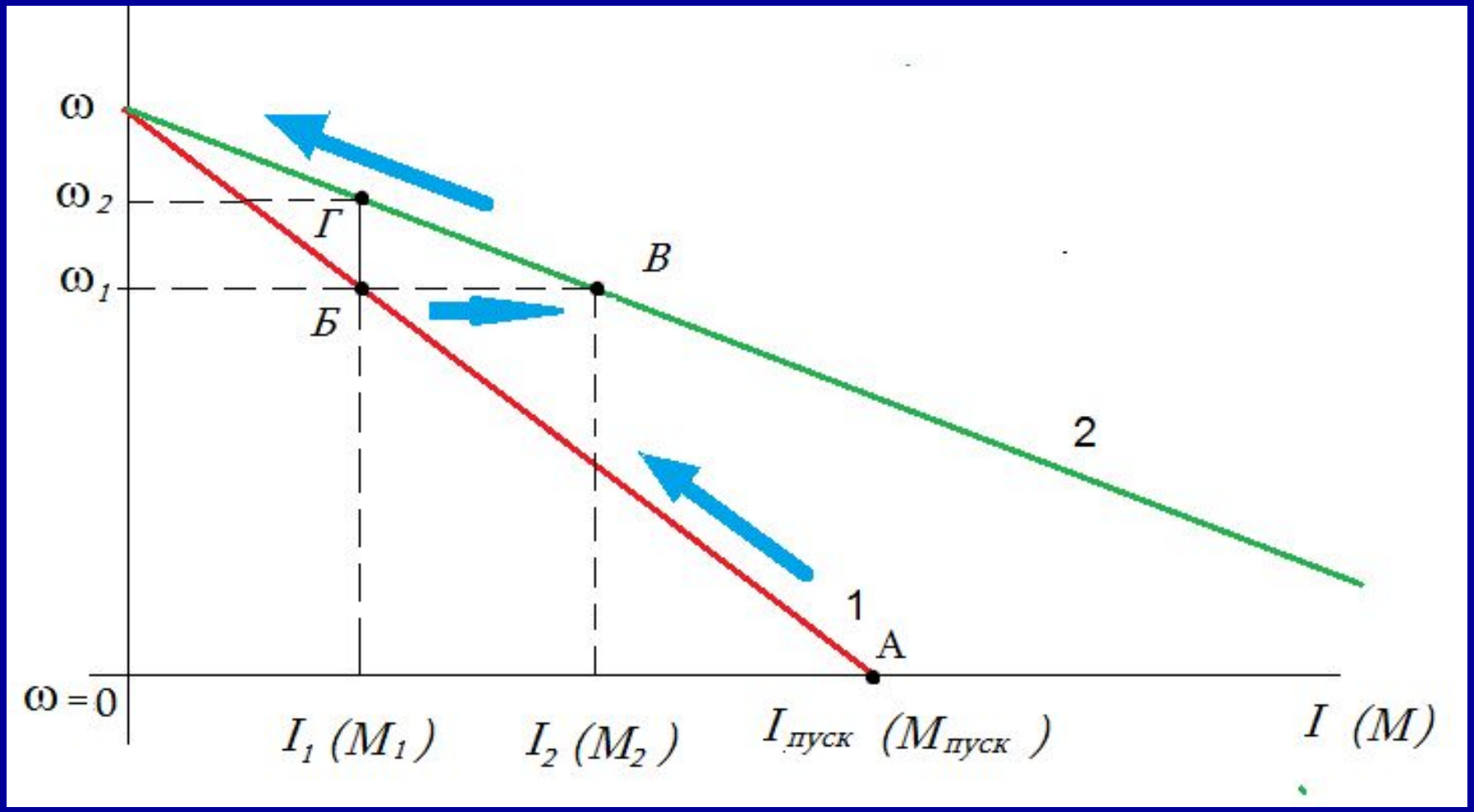


Рис.7.1. Электромеханические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

1 – электромеханическая характеристика с резистором, включенным в цепь якоря.

2 – электромеханическая характеристика без резистора в цепи якоря.

Допустим, по техническим условиям работы электропривода заданы следующие параметры:

- Пусковой ток двигателя не более $I_{пуск}$
- Пусковой момент двигателя $M_{пуск}$
- Рабочая угловая скорость ω_2
- Номинальный ток I_1
- Номинальный момент на валу двигателя M_1

При электрических и экономических расчетах выбран двигатель постоянного тока, имеющий естественную электромеханическую характеристику (кривая 2). Данный двигатель при требуемом номинальном токе имеет необходимую нам частоту вращения ω_2. Однако, при всех достоинствах двигатель не подойдет для данного электропривода, так как при пуске по характеристике 2 ток в двигателе Iпуск значительно больше заданного по техническим условиям. ($I_{\text{пуск2}} >> I_{\text{пуск1}}$)

Однако, если в цепь якоря включить резистор, с заранее рассчитанным сопротивлением, то характеристика двигателя изменится и будет представлять кривую 1.

Это свойство электродвигателя постоянного тока используется в электроприводах для безопасного пуска, при котором величина пускового тока и момента не превышает заданных значений.

Регулирование тока производится следующим образом:

Точка А (момент пуска): Резистор включается в цепь якоря двигателя на период пуска (прямая 1, отрезок АБ), При этом в момент пуска ω=0, $I_{пуск} = I_{пуск1}$, $M_{пуск} = M_{пуск1}$, что соответствует техническим условиям на электропривод.

По мере раскручивания якоря двигателя ток в нем уменьшается и достигает номинального значения I_1. (точка Б). Однако, скорость двигателя при этом меньше заданной $\omega_1 < \omega_2$

Для обеспечения заданных параметров электропривода в его цепи управления производят шунтирование (закорачивание) резистора (переход от т.Б в т.В) . При этом характеристика электродвигателя изменяется с прямой 1 на прямую 2. и производится дальнейшая раскрутка двигателя.

Таким образом, с помощью системы управления электроприводом удается регулировать (ограничивать) ток и момент электродвигателя.

Занятие 8 (2 часа)
Регулирование положения

8.1. Общие определения.

Для обеспечения выполнения ряда технологических процессов требуется перемещение исполнительных органов рабочих машин и механизмов в заданную точку пространства и их установка там с заданной точностью.

Например, роботы и манипуляторы, подъемно-транспортные механизмы, клапаны, задвижки, механизмы подач станков и ряд других.

Перемещение исполнительного органа из одной точки пространства (позиции) в другую называется позиционированием и обеспечивается соответствующим регулированием положения вала двигателя.

В тех случаях, когда не требуются высокие точность и качество движения, позиционирование обычно обеспечивается с помощью путевых или конечных выключателей. Они устанавливаются в заданных позициях и при подходе к ним исполнительного органа производят отключение ЭП. Исполнительный орган тормозится и с некоторой точностью останавливается.

8.2. Структуры электропривода, применяемые при регулировании координат.

В зависимости от выполняемых функций, вида и числа регулируемых координат, реализация электропривода может быть самой разнообразной (см.рис. 8.1.)

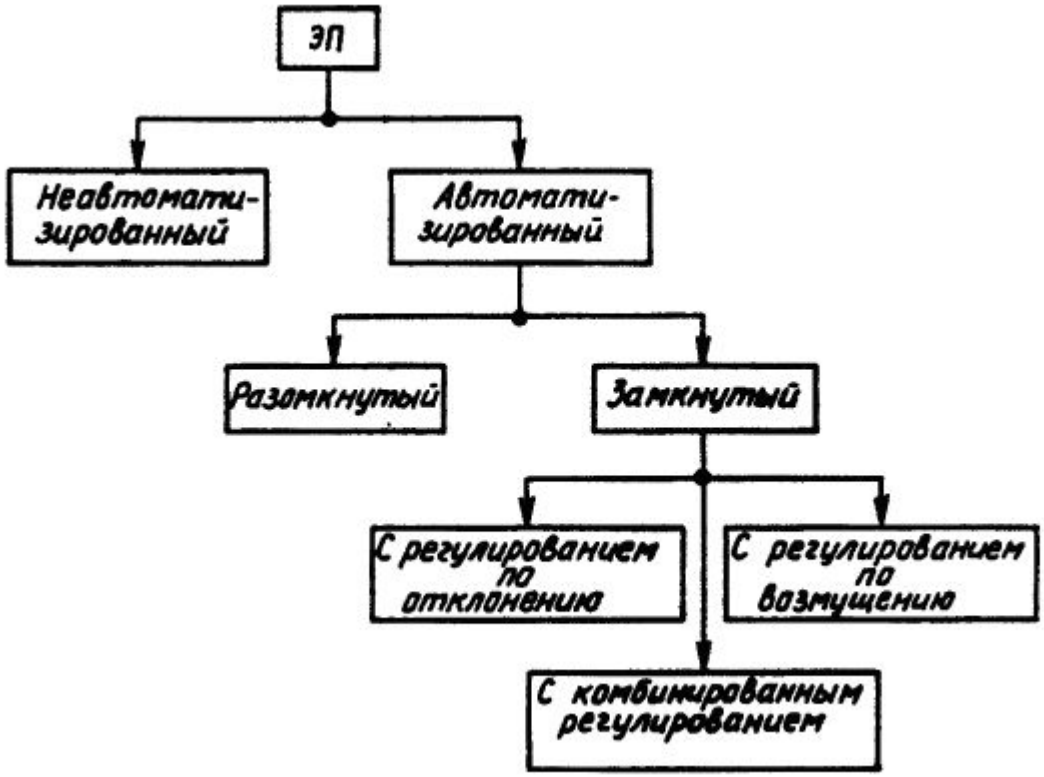


Рис.8.1. Виды электроприводов, применяемых при регулировании координат.

Все ЭП делятся на неавтоматизированные и автоматизированные.

Неавтоматизированные - это такие ЭП, управляет которыми с помощью простых средств человек (оператор). Он осуществляет пуск и остановку ЭП, изменение скорости и реверсирование в соответствии с заданным технологическим циклом. Для помощи оператору ЭП снабжен необходимыми элементами зашиты, блокировок и сигнализации.

В автоматизированном ЭП операции управления в соответствии с требованиями технологического процесса выполняются системой управления. На оператора возлагаются функции включения и отключения ЭП, наладка и контроль его работы .

При работе ЭП в общем комплексе автоматизированного производства внешние команды поступают от управляющих устройств более высокого уровня, например АСУ производством.

Все автоматизированные ЭП подразделяются, в свою очередь, на разомкнутые и замкнутые.

Работа разомкнутого ЭП характеризуется тем, что все внешние возмущения (например, момент нагрузки) влияют на его выходную координату, например скорость.

Другими словами, разомкнутый ЭП не защищен от влияния внешних возмущений и поэтому не может обеспечить высокого качества регулирования координат, хотя и отличается простой схемой.

Разомкнутые ЭП обычно применяются для обеспечения пуска, торможения или реверса двигателей.

Замкнутый ЭП, как и любая система автоматического регулирования, может быть реализован либо по принципу отклонения с использованием обратных связей, либо по принципу компенсации внешнего возмущения.

Основным отличительным признаком замкнутого ЭП является полное или частичное устранение влияния внешнего возмущения на регулируемую координату, например, скорость такого ЭП может оставаться практически неизменной при возможных колебаниях момента нагрузки.

В силу этого обстоятельства замкнутые ЭП обеспечивают более качественное управление дви жением исполнительных органов, хотя их схемы оказываются более сложными.

Любая система автоматического управления электроприводом включает: объект управления;

- исполнительный механизм;
- регулятор;
- датчик;

Структурная схема управления приведена на рис.8.2:

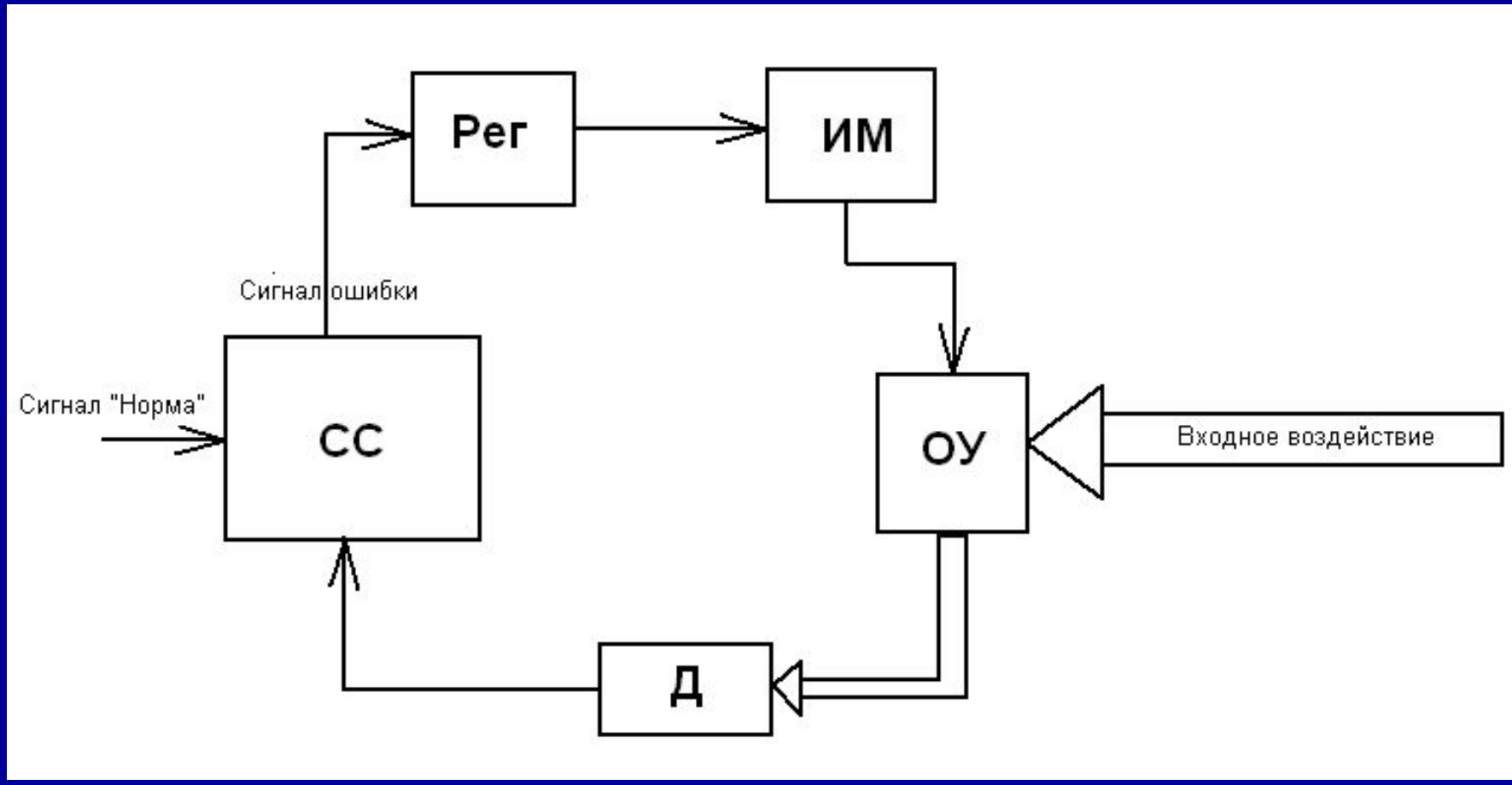


Рис. 8.2. Функциональная схема замкнутого электропривода.

ОУ - объект управления, агрегат, в котором происходит технологический процесс

ИМ - исполнительный механизм , устройство оказывающее управляющее воздействие на объект управления.

РЕГ - регулятор, устройство , подающее команду на исполнительный механизм в зависимости от сигнала приходящего со схемы сравнения;

СС - схема сравнения , сравнивающая два сигнала - один с датчика объекта управления, другой сигнал "НОРМА".

В - внешнее воздействие на объект управления;

Д - датчик - преобразователь, преобразует неэлектрический параметр объекта управления в электрический сигнал, поступающий на схему сравнения.

Система автоматического управления представляет собой замкнутую цепь с обратной связью "выхода" и "входа".

Современные САУ ЭП основаны на широком применении в процессе управлении элементов вычислительной техники. Сбор данных о состоянии технологического процесса, наблюдение за его ходом, регулирование параметров технологического процесса с высокой скоростью обработки информации возможно только с применением ЭВМ.

Особенностью ЭП, построенного по принципу отклонения, является наличие цепи обратной связи.

Информация о регулируемой координате подается на вход ЭП в виде сигнала обратной связи, который сравнивается с задающим сигналом, и полученный результирующий сигнал (его называют сигналом рассогласования, отклонения или ошибки) является управляющим сигналом для ЭП.

Если под влиянием возмущающего воздействия начинает изменяться регулируемая координата, то за счет выбора направления и силы воздействия обратной связи произойдет соответствующее изменение режима работы ЭП и полное или частичное восстановление ее уровня, т. е. в таких системах регулирование ведется с учетом результата регулирования.

8.3. Основные принципы работы замкнутого электропривода.

Рассмотрим работу системы автоматического управления на примере схемы, приведенной на рис.8.3.

В качестве технологического процесса возьмем процесс определения и установку положения руки робота и установку ее в заданную точку пространства (в частности по одной из трех осей, например, оси X)

Объектом управления является рука робота, исполнительным механизмом – электродвигатель перемещения руки робота по оси X., регулятором - устройство подачи напряжения на двигатель руки. Остальные элементы входят в автоматическую систему управления роботом.

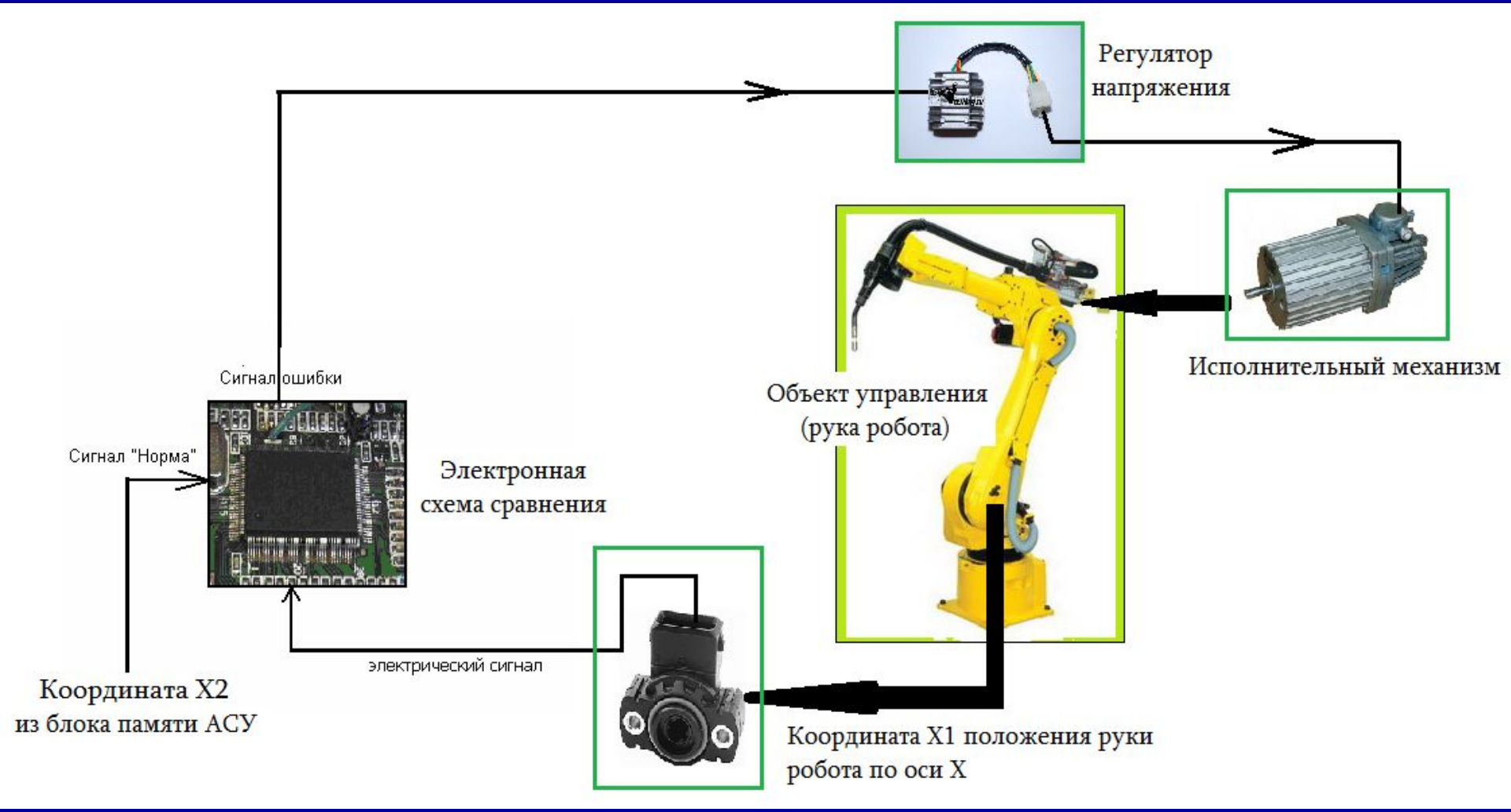


Рис. 8.3. Замкнутая схема управления электроприводом положения.

Система работает следующим образом:

Допустим рука робота находится в точке на оси ОХ с координатой Х1.

Однако, согласно программы работы робота его рука должна быть в точке на оси ОХ с координатой Х2. Причем Х2 больше Х1.

Координата Х2 заложена в схеме сравнения. Датчик - преобразователь выдает электрический сигнал пропорциональный координате Х1, который подается на схему сравнения.

Одновременно по другому каналу на схему сравнения подается электрический сигнал соответствующий заданной координате Х2 положения руки робота.

В схеме сравнения производится анализ двух поступающих сигналов и вырабатывается "сигнал ошибки " или, иначе, сигнал рассогласования.

В рассматриваемом случае сигнал с датчика будет меньше сигнала "НОРМА". т.е. $U_{норма} - U_{датчик} = \Delta$. Сигнал ошибки имеет положительный знак.

Он подается на регулятор напряжения. Регулятор подает напряжение на исполнительный механизм (двигатель). Двигатель начинает перемещать руку робота. Причем, направление перемещения зависит от знака ошибки, а скорость перемещения – от величины ошибки.

По мере приближения к заданной точке на оси координат величина ошибки уменьшается, скорость движения руки уменьшается. При $U_{норма} - U_{датчик} = 0$ (сигнал ошибки равен нулю) рука робота останавливается в заданной точке на оси X. Так как регулирование ведется одновременно по трем осям (X,Y,Z), то рука робота остановится в строго заданной программой точке пространства.

Иногда такие системы называют следящими. Если на вход схемы сравнения подавать по каналу "НОРМА" программно изменяющийся сигнал, то система будет отрабатывать заданную программу изменения параметра.

Если в руку робота поместить сварочную головку сварочного автомата, то робот по программе сделает сварочный шов необходимой конфигурации и длины.

Занятие 9 (2 часа)
Контрольная работа №2

Тема 4 Электроприводы с двигателями постоянного тока

Занятие 10 (2 часа)

Регулирование скорости двигателя постоянного тока с помощью резисторов в цепи якоря

10.1. Общая характеристика электроприводов с двигателями постоянного тока.

В электроприводах используются двигатели постоянного тока:

- независимого возбуждения (ДПТНВ),
- последовательного возбуждения (ДПТПВ)
- смешанного возбуждения (ДПТСВ) ,
- а также двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, которые по своим характеристикам близки к ДПТНВ.

Электротехническая промышленность выпускает двигатели постоянного тока основной общепромышленной серии 2П в диапазоне мощностей от 0,13 до 200 кВт различного конструктивного исполнения и с разными способами вентиляции, предназначенные в первую очередь для работы в регулируемых ЭП.

Усовершенствование двигателей постоянного тока привело к разработке новой серии 4П, рассчитанной на напряжения 110 и 220 В, со скоростями вращения от 750 до 3000 об/мин и номинальными моментами от 2 до 15000 Н- м с улучшенными удельными энергетическими показателями, динамическими и виброакустическими свойствами.

Для ЭП ряда рабочих машин и механизмов выпускаются специализированные серии ДПТНВ. Для ЭП металлорежущих станков помимо серий 2П и 4П применяются двигатели серий ПБСТ и ПГТ (с гладким якорем), а также высокомоментные двигатели серий ПБВ, ДК1 и ДК2 с возбуждением от постоянных магнитов.

Для крановых механизмов выпускаются двигатели серии Д с независимым и последовательным возбуждением, исполнение которых максимально учитывает условия их работы и предъявляемые к ним требования. Для краново-металлургических ЭП применяются также двигатели с независимым, последовательным и смешанным возбуждением серий ДП.

10.2. Схема включения и характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Основная схема включения ДПТНВ представлена на рис. 10.1.

На схеме обозначены:

I – ток в цепи обмотки якоря, А.

$Iв$ - ток в обмотке возбуждения, А.

E - ЭДС якоря, В.

ω - угловая скорость двигателя, рад/с,

M - момент двигателя, Н-м, ;

$Rя$ - сопротивление якоря, Ом;

$R_{ов}$ - сопротивление обмотки возбуждения (ОВ), Ом;

$L_{я}$ – индуктивность якоря, Гн.

$L_{ов}$- индуктивность обмотки возбуждения, Гн.

$R_{д}$ – добавочное сопротивление в цепи обмотки якоря, Ом.

$R_{в}$ – добавочное сопротивление в цепи обмотки возбуждения, Ом.

U – напряжение питания обмотки якоря, В.

$U_{в}$ – напряжение питания обмотки якоря, В.

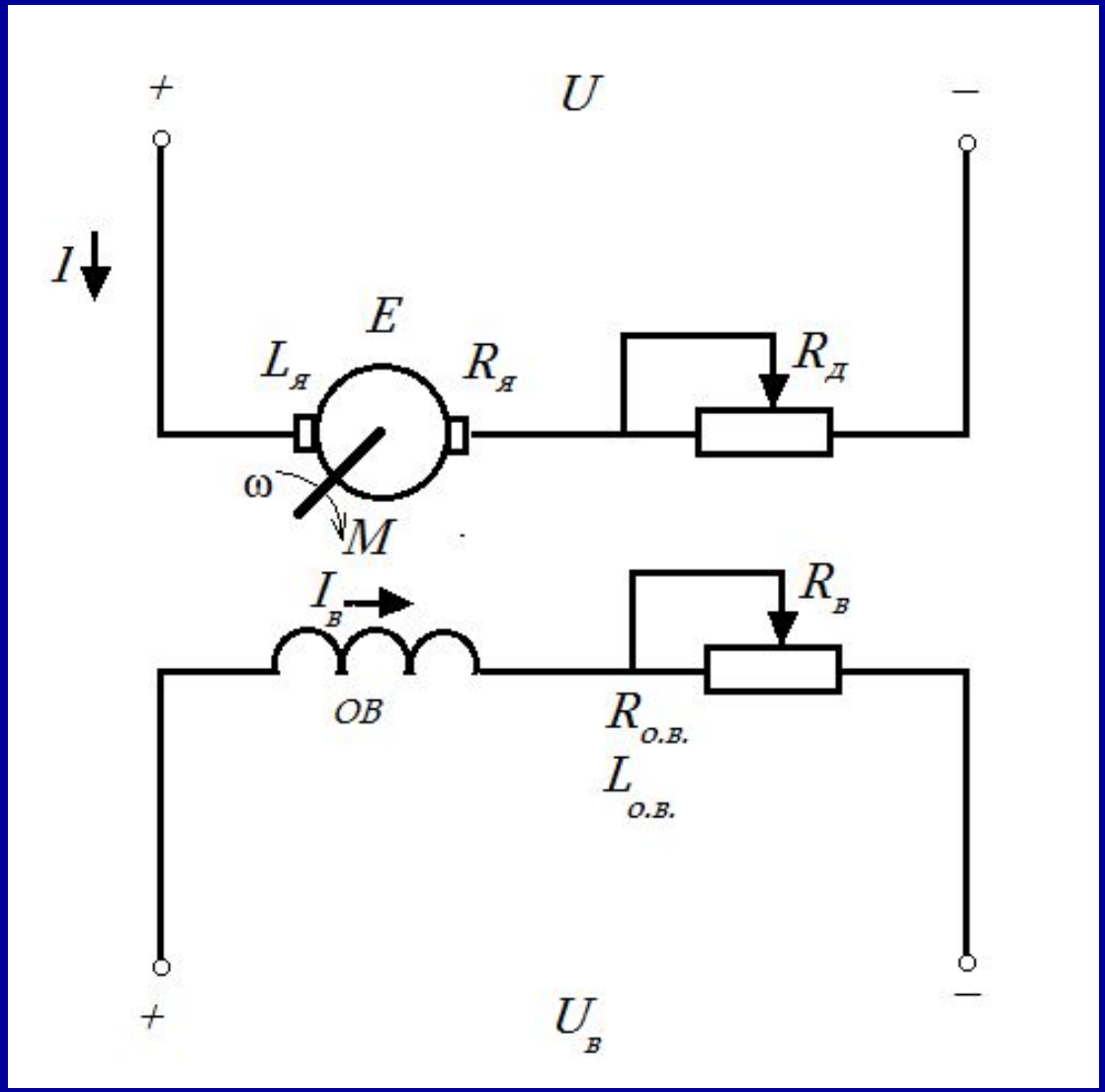


Рис.10.1. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Для данной схемы уравнения напряжения, ЭДС якоря и электромагнитного момента имеют вид:

$$U = E + IR$$

$$E = k\Phi\omega$$

$$M = k\Phi I$$

Где: $R = R_я + R_д$ – полное сопротивление цепи якоря, Ом.

Φ – магнитный поток, Вб.

U – подводимое к якорю напряжение, В.

k – конструктивный коэффициент двигателя.

Подставляя первую формулу во вторую, получим формулу для электромеханической характеристики $\omega\ (I)$:

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi}$$

используя третью формулу, получим выражение для механической характеристики, $\omega(M)$:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR_{Д}}{(k\Phi)^2}$$

В соответствии с данными формулами электромеханическая и механическая характеристики ДПТНВ представляют собой линейные зависимости угловой скорости (далее скорости) от тока и момента, вид которых при положительном значении питающего напряжения и $k\Phi = const$ приведен на рис. 10.2.

Так как электромеханическая и механическая характеристики ДПТНВ совпадают на рисунке они изображены одной линией.

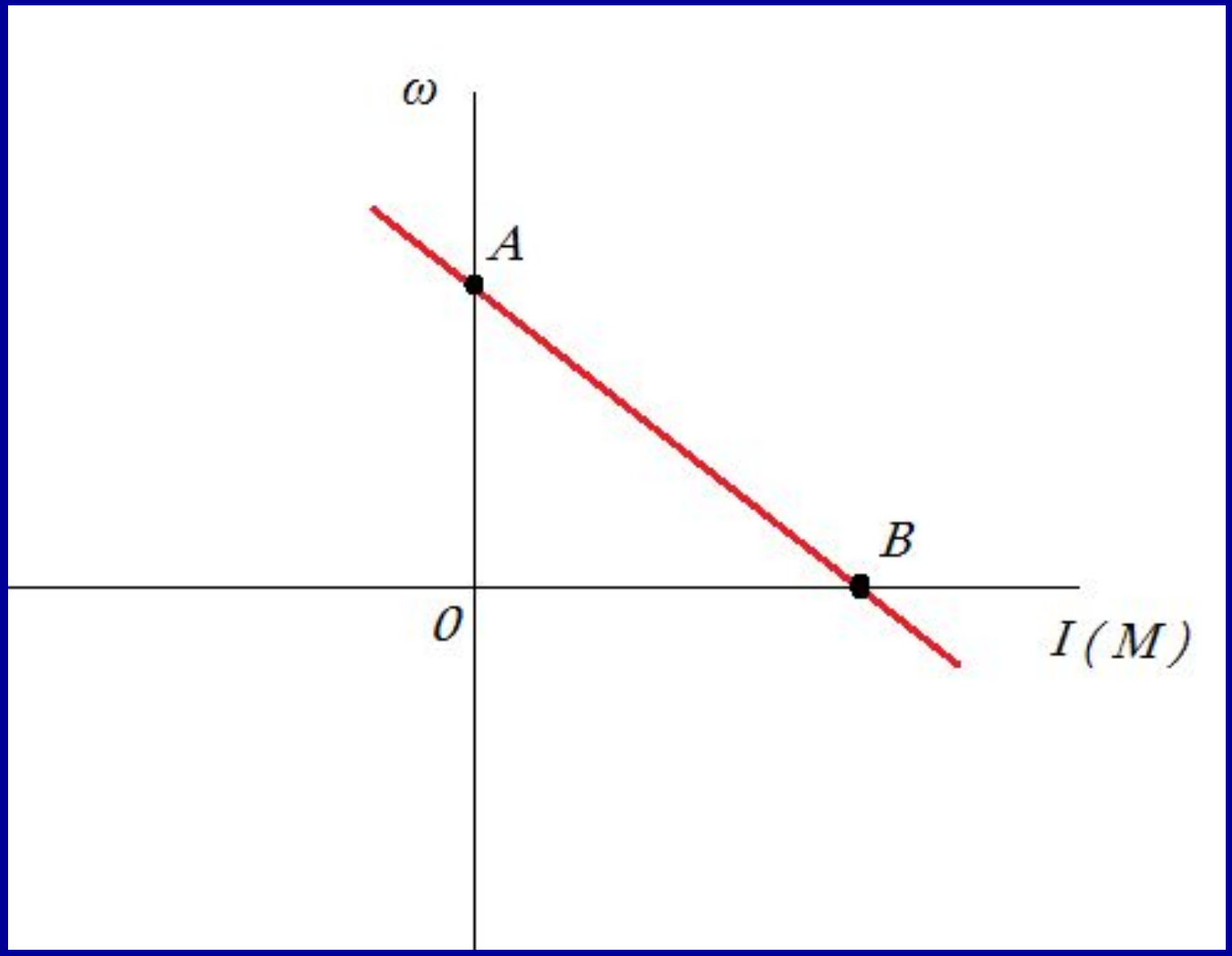


Рис.10.2. Электромеханическая и механическая характеристики ДПТНВ.

Характерными точками характеристики являются точка ***A***, которая называется точкой холостого хода,

В этой точке характеристики частота вращения двигателя равна частоте вращения холостого хода $\omega = \omega_0$, а ток двигателя и его момент равны нулю $(I = M = 0)$.

и точка ***B***, которая называется точкой короткого замыкания, где ω = 0,

а $I = \boldsymbol{I}_{к.з}$, $M = \boldsymbol{M}_{кз}$.

В данном случае, режим короткого замыкания для электрической машины соответствует неподвижному состоянию якоря при поданном на двигатель напряжении, а не замыканию его электрических цепей между собой или на корпус.

Режим короткого замыкания называется также пусковым режимом, поскольку является начальным при включении (пуске) двигателя.

Выведенные формулы позволяют назвать основные способы реализации искусственных характеристик ДПТНВ, используемых для регулирования координат ЭП.

К ним относятся:

- изменение сопротивления добавочного резистора $R_д$ в цепи якоря
- изменение магнитного потока Ф
- изменение подводимого к якорю напряжения U.

Задача 10.1.:

Рассчитать и построить естественные характеристики ДПТНВ. используя следующие его паспортные (номинальные) данные:

$P_{ном} = 300\ кВт;$

$U_{ном} = 440\ В,$

$n_{ном} = 1250\ об/мин;$

$I_{ном} = 750\ А.$

Для построения характеристик, представляющих собой прямые линии, достаточно рассчитать координаты двух точек: номинального режима и холостого хода.

Найдем номинальные скорость и момент двигателя:

$$\omega_{ном} = \frac{2\pi \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1250}{60} = 131\ рад/с$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{300000}{131} = 2306\ Н \cdot м$$

Из формулы $M = k\Phi I$, определим значение *kФ:*

$$k\Phi_{ном} = \frac{M_{ном}}{I_{ном}} = \frac{2306}{750} = 3{,}08\ \frac{Н \cdot м}{А}$$

Определим скорость идеального холостого хода

$$\omega_0 = \frac{U_{ном}}{k\Phi_{ном}} = \frac{440}{3{,}08} = 144 \ рад/с$$

По координатам точек холостого хода ($\omega = \omega_0$, $I = M = 0$) и номинального режима ($\omega = \omega_{ном}$, $I = I_{ном}$, $M = M_{ном}$) построим естественную электромеханическую $\omega(I)$:

и механическую $\omega(M)$ характеристики. (см. рис.10.3)

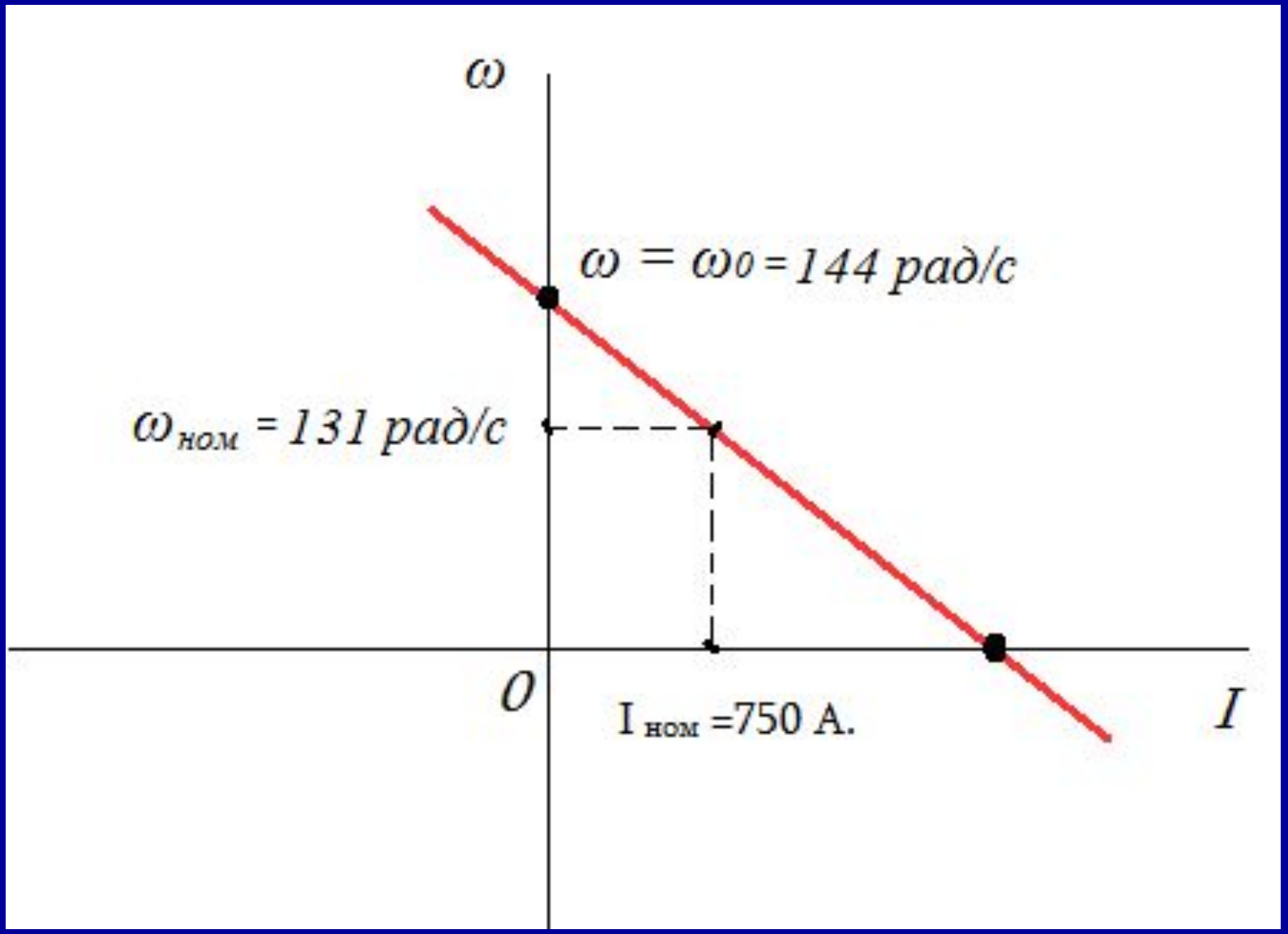


Рис.10.3. Электромеханическая характеристика к задаче 10.1

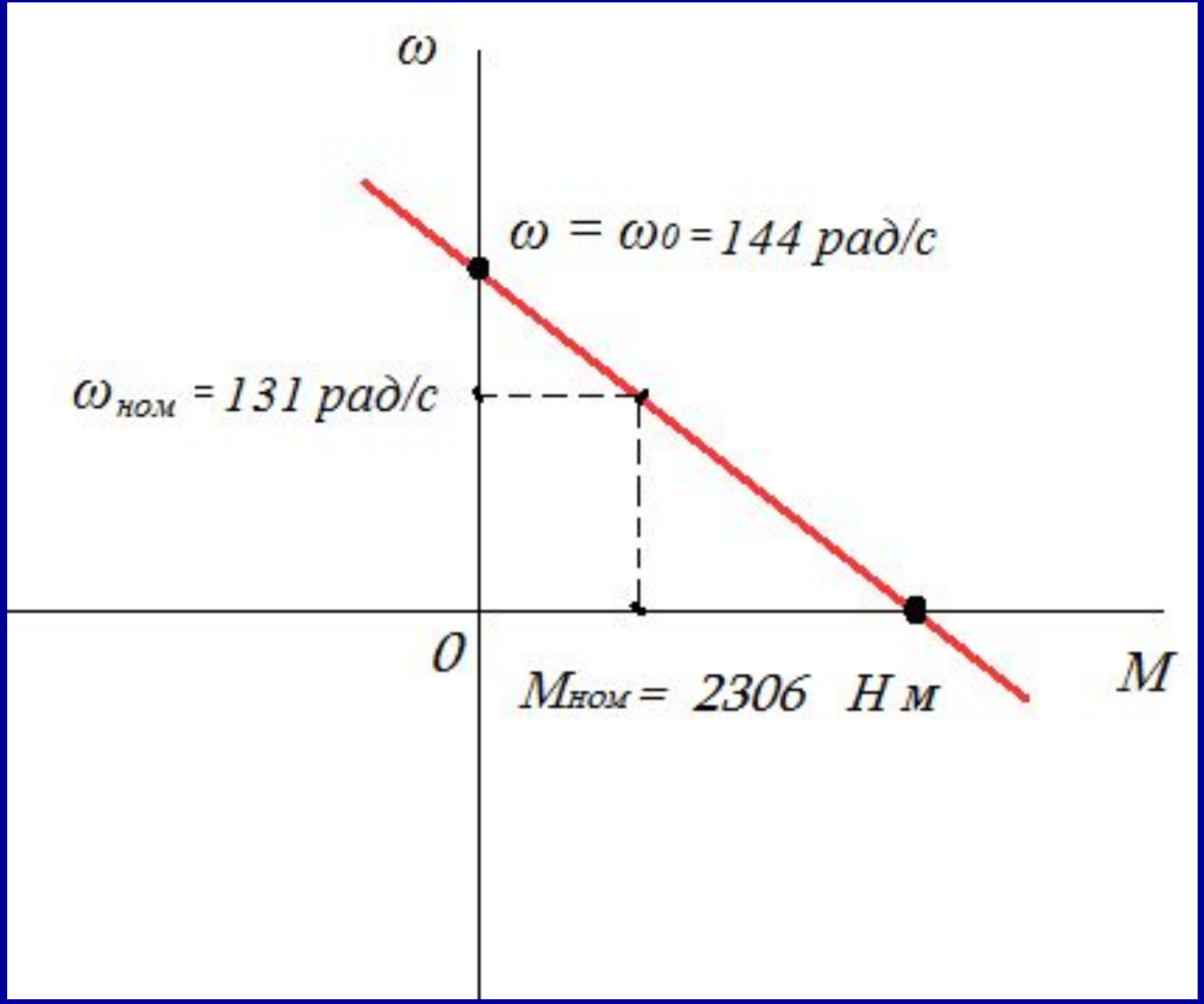


Рис.10.3. Механическая характеристика к задаче 10.1.

10.3. Регулирование скорости двигателя постоянного тока с помощью резисторов в цепи якоря

Проведем анализ формулы скорости вращения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

$$\omega = \frac{U - I(R_я + R_д)}{k\Phi}$$

Из формулы видно, что при холостом ходе (при $I = 0$) угловая скорость вращения не зависит от сопротивления обмотки якоря и включенного дополнительного сопротивления,

$$\omega_0 = \frac{U}{k\Phi}$$

- При всех других режимах при увеличении значения дополнительного сопротивления скорость вращения двигателя пропорционально уменьшается.
- Этот анализ позволяет построить семейство электромеханических характеристик при разных значениях Rд. (см.рис.10.4.)

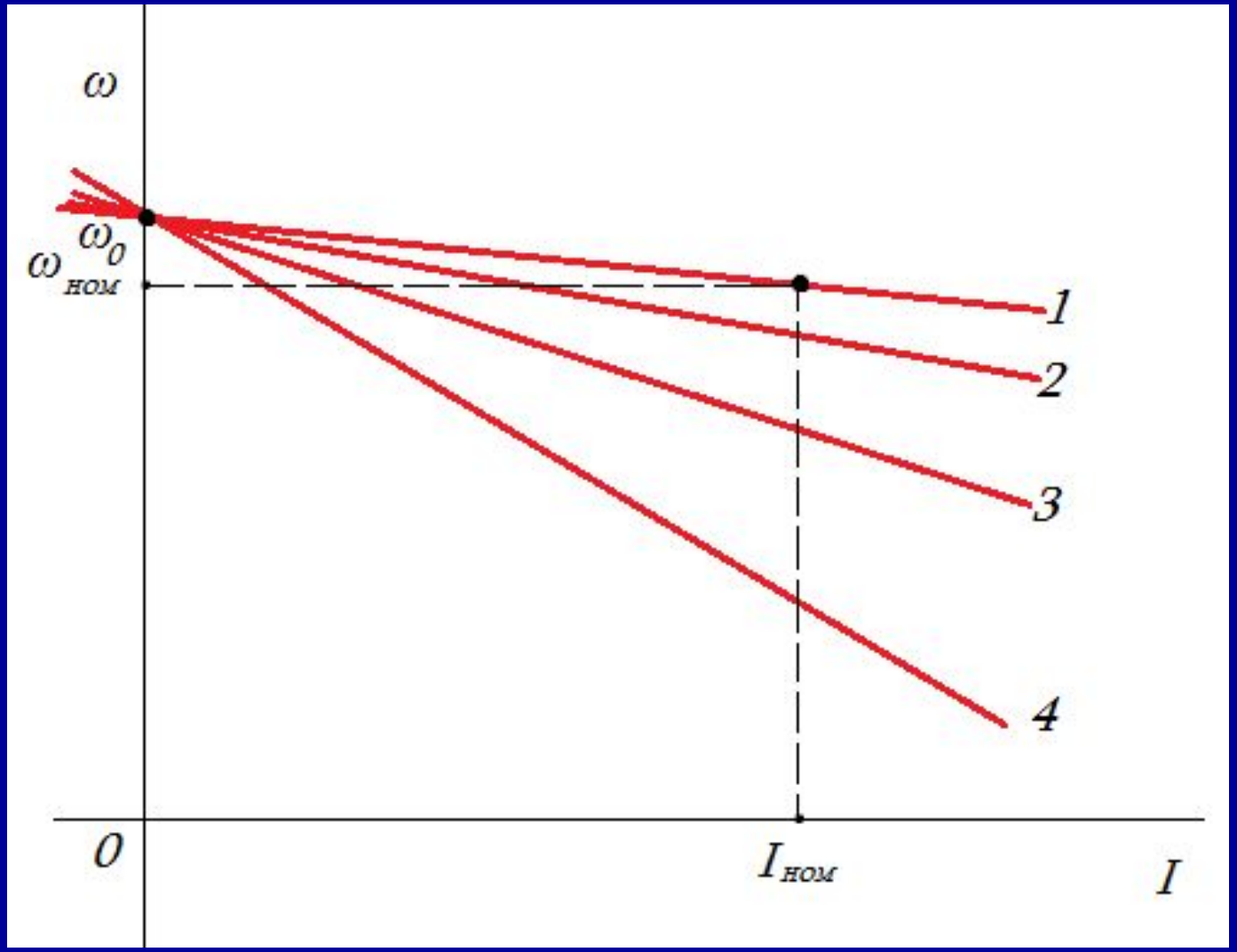


Рис.10.4. Семейство электромеханических характеристик при разных значениях Rд.

Семейство характеристик представляет собой линии различного наклона (жесткости), проходящих через одну и ту же точку на оси скорости с ординатой ω_0.

Характеристика 1 соответствует случаю, когда $R_{Д} = 0$ и является естественной,

искусственные характеристики *2... 4* построены при наличии в цепи якоря резисторов с сопротивлениями соответственно

$R_{Д2} < R_{Д3} < R_{Д4}$

Оценим данный способ регулирования скорости

- Диапазон регулирования скорости небольшой (обычно *2...3).*
- Направление регулирования скорости - вниз от естественной характеристики.
- Плавность регулирования скорости определяется характером изменения *R* . Если это сопротивление изменяется плавно, то данный способ обеспечивает плавное регулирование скорости. Чаще же рассматриваемый способ обеспечивает ступенчатое регулирование скорости.
- Стабильность скорости снижается по мере увеличения диапазона регулирования, так как уменьшается жесткость регулировочных характеристик.

10.4. Расчет регулировочных резисторов в цепи якоря.

В теории ЭП разработано несколько методов расчета регулировочных резисторов в цепи якоря.

Допустим, что известна естественная электромеханическая характеристика1 двигателя (рис. 10.5) и его паспортные данные.

Требуется рассчитать сопротивление резистора R , при включении которого в цепь якоря желаемая искусственная характеристика 2 пройдет через точку А с заданными координатами $\omega_{и}$ и $I_{и}$.

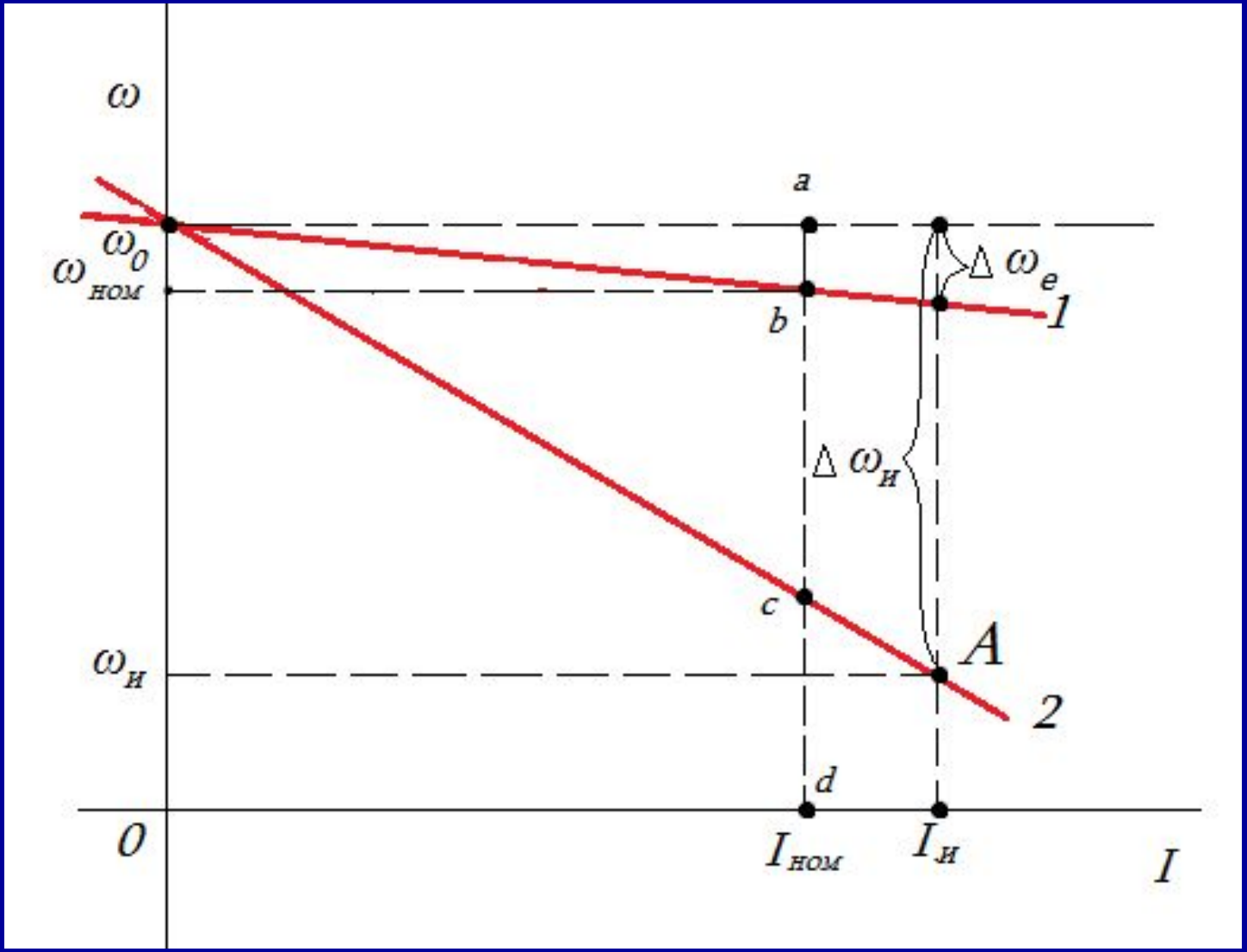


Рис.10.5. Расчет регулировочных резисторов в цепи якоря.

Запишем формулу скорости двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в виде:

$$\omega = \frac{U - IR}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{IR}{k\Phi}$$

Обозначим:

$$\omega_0 = \frac{U}{k\Phi} \qquad \Delta\omega = \frac{IR}{k\Phi}$$

Тогда:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega$$

Используя рис. 10.5. можно записать:

$$\Delta\omega_e = \frac{IR_я}{k\Phi}$$

$$\Delta\omega_и = \frac{I(R_я + R_д)}{k\Phi}$$

Введем понятие перепада скорости $\frac{\Delta\omega_e}{\Delta\omega_и}$

показывающего во сколько раз изменится скорость двигателя при введении в цепь якоря дополнительного сопротивления. Тогда:

$$\frac{\Delta\omega_e}{\Delta\omega_и} = \frac{IR_я}{k\Phi} \cdot \frac{k\Phi}{I(R_я + R_д)} = \frac{IR_я}{I(R_я + R_д)} = \frac{R_я}{(R_я + R_д)}$$

откуда:

$$R_Д = R_Я\left(\frac{\Delta\omega_u}{\Delta\omega_e} - 1\right)$$

При расчете регулировочных (дополнительных) резисторов в большинстве случаев необходимо знать собственное сопротивление якоря $R_Я$ которое можно определить по каталогам или рассчитать по приближенной формуле для номинальных паспортных данных:

$$R_Я = \frac{0{,}5 \cdot U_{ном}(1-\eta_{ном})}{I_{ном}}$$

где $\eta_{ном}$ - номинальный КПД двигателя,

Задача 10.2.

ДПТНВ типа ПБСТ-53 имеет следующие паспортные данные:

- $P_{ном}$ = 4,8 кВт;
- $n_{ном}$ = 1500 об/мин;
- $U_{ном}$ = 220 В;
- $I_{ном}$ = 24.2 А;
- $R_{я}$ = 0,38 Ом;

Определить сопротивление резистора, включение которого обеспечит прохождение искусственной электромеханической характеристики через точку с координатами:

$\omega_{и}$ = 90 рад/с.

$I_{и}$ = 25 А.

Решение:

1. Найдем номинальные скорость и момент двигателя:

$$\omega_{ном} = \frac{2\pi \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1500}{60} = 157\ рад/с$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{4800}{157} = 30{,}6\ Н \cdot м$$

2. Из формулы , определим значение *kФ:*

$$k\Phi_{ном} = \frac{M_{ном}}{I_{ном}} = \frac{30{,}6}{24{,}2} = 1{,}3\ \frac{Н \cdot м}{А}$$

3. Определим скорость идеального холостого хода

$$\omega_0 = \frac{U_{ном}}{k\Phi_{ном}} = \frac{220}{1{,}3} = 169\ рад/с$$

4. Определим перепад скорости на естественной характеристике при токе *Iu=25 A*

$$\Delta\omega_e = \frac{I_u R_я}{k\Phi} = \frac{25 \cdot 0{,}38}{1{,}3} = 7{,}3\ рад/с$$

5. Определим перепад скорости на искусственной характеристике при том же токе *Iu=25 A*

$$\Delta\omega_u = \omega_0 - \omega_u = 169 - 90 = 79\ рад/с$$

6. Определим сопротивление добавочного резистора

$$R_Д = R_Я\left(\frac{\Delta\omega_u}{\Delta\omega_e} - 1\right) = 0{,}38 \cdot \left(\frac{79}{7{,}3} - 1\right) = 3{,}73\ Ом$$

Занятие 11 (2 часа)
Регулирование координат электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения якоря (система преобразователь – двигатель)

11.1. Схема и электромеханические характеристики электропривода с изменением напряжения якоря.

Данный способ широко используется для регулирования любых координат ЭП при высоких требованиях к показателям его качества.

Реализация этого способа предусматривает питание якоря ДПТНВ от преобразователя, выходное напряжение которого регулируется по значению и может изменяться при необходимости по полярности.

Поскольку основным источником питания ЭП служит сеть переменного тока, то таким преобразователем является управляемый выпрямитель (УВ).

Схема ЭП при питании якоря двигателя от УВ, получившая название система УВ - Д, показана на рис. 11.1.

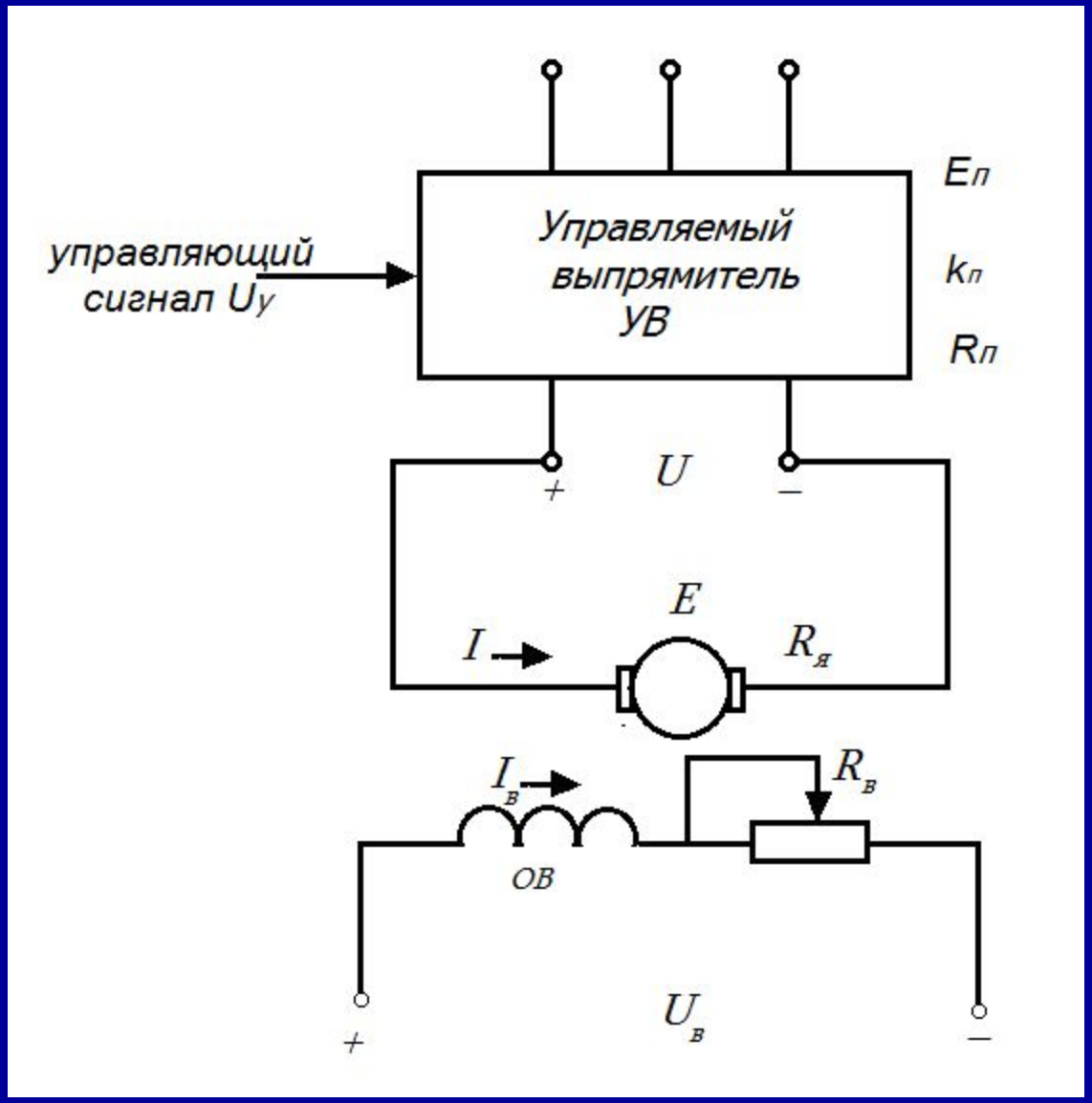


Рис.11.1. Схема электропривода при питании якоря двигателя от управляемого выпрямителя.

На рисунке:

$E_п$ - ЭДС управляющего выпрямителя;

$R_п$ - внутреннее сопротивление УВ;

$k_п$ - коэффициент усиления УВ.

Напряжение на выходе УВ вследствие наличия внутреннего сопротивления $R_п$ определяется по формуле

$$U = E_п - IR_п$$

Обмотка возбуждения ДПТНВ питается от отдельного источника постоянного тока, например от управляемого выпрямителя.

Формула для определения электромеханической характеристики :

$$\omega = \frac{E_{\text{П}}}{k\Phi} - \frac{I(R_{\text{Я}} + R_{\text{П}})}{k\Phi} = \omega_0 - \Delta\omega$$

Формула для определения механической характеристики :

$$\omega = \frac{E_{\text{П}}}{k\Phi} - \frac{M(R_{\text{Я}} + R_{\text{П}})}{(k\Phi)^2} = \omega_0 - \Delta\omega$$

Из формул видно, что при изменении $E_П$ пропорционально изменяется скорость идеального холостого хода ω_0, поэтому характеристики при изменении $E_П$ перемещаются по вертикальной оси параллельно самим себе. (прямые 2….7).

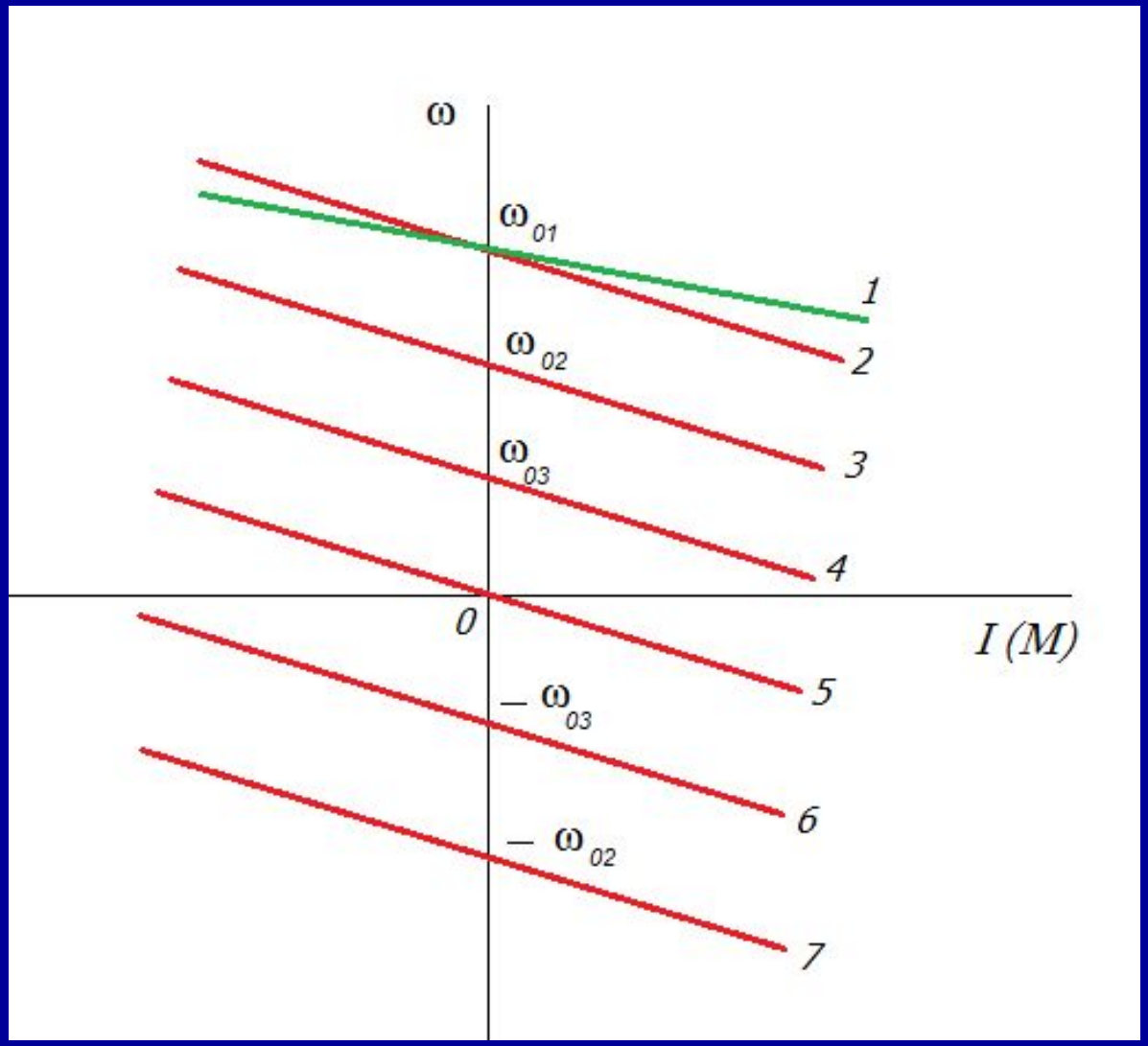


Рис.11.2. Семейство электромеханических (механических) характеристик при изменении ЭДС питания электропривода.

Искусственные характеристики (прямые 2….7) имеют больший наклон, чем естественная характеристика ДПТНВ (прямая 1). Больший наклон искусственных характеристик объясняется наличием в цепи сопротивления резистора $R_П$

При изменении полярности питающего напряжения характеристики переходят в область отрицательных значений угловой скорости. момента и тока. Это означает, что двигатель начинает вращаться в противоположном направлении, и ток в цепи также течет в другую сторону.

Управляемый выпрямитель чаще всего выполняется в виде электромашинной системы «генератор - двигатель» (Г - Д) или системы «тиристорный преобразователь - двигатель» (ТП - Д).

11.2. Система «генератор - двигатель».

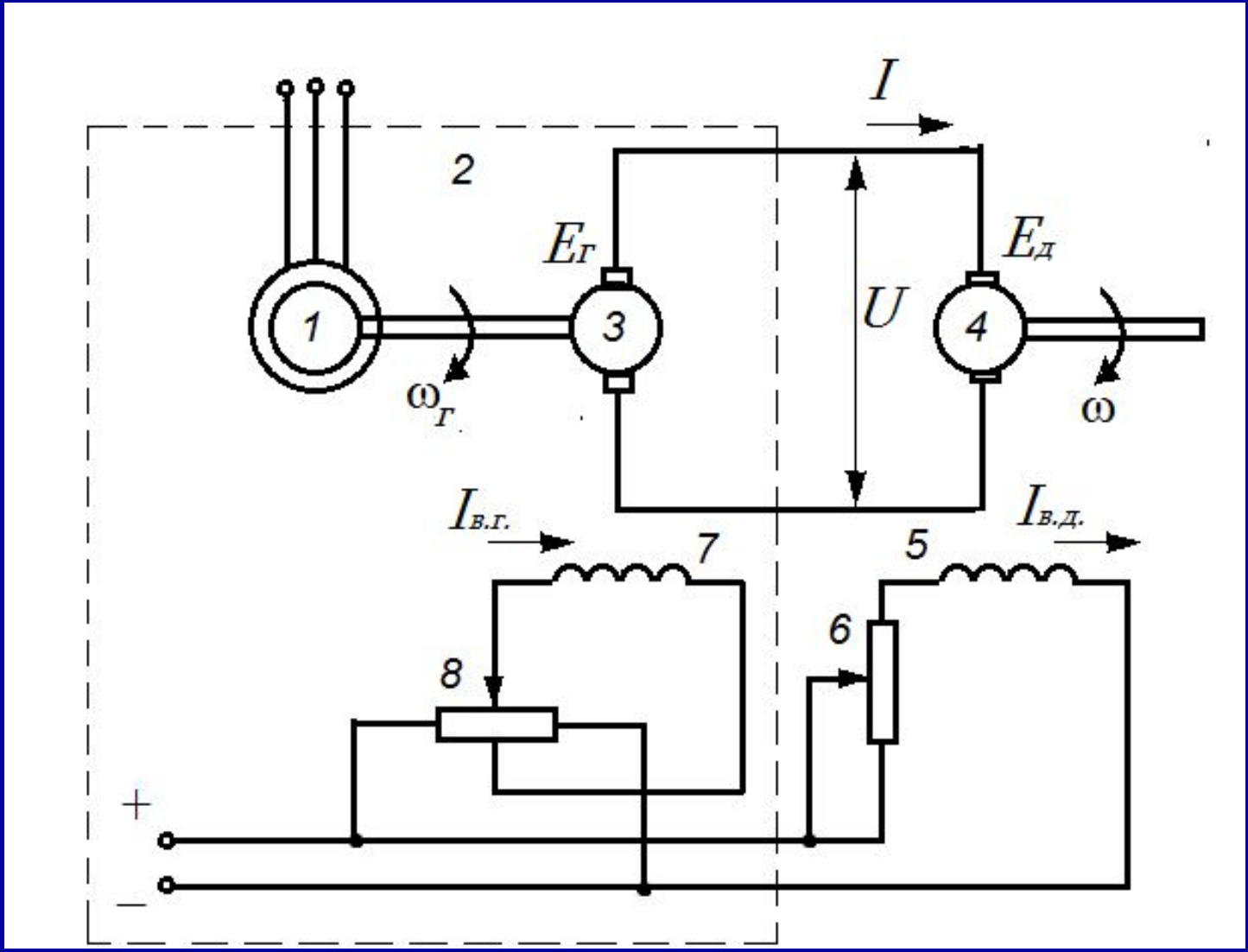


Рис.11.3. Схема электропривода по системе «Генератор – двигатель»

На рисунке:

1 – приводной электродвигатель переменного тока.

2 – электромашинный выпрямитель.

3 - генератор постоянного тока.

4 – двигатель электропривода.

5 - обмотка возбуждения двигателя привода

6 – резистор в цепи

7 – обмотка возбуждения двигателя генератора

8 – потенциометр в цепи возбуждения генератора.

В системе «Генератор – двигатель» якорь 4 двигателя непосредственно присоединяется к якорю 3 генератора, образующего вместе с приводным двигателем 1 электромашинный выпрямитель 2 трехфазного переменного тока в постоянный, вращающийся со скоростью $\omega_г$.

Регулирование напряжения на якоре двигателя происходит за счет изменения тока возбуждения генератора $I_{в.г}$. с помощью потенциометра 8. При этом изменяется ЭДС генератора $E_г$ и соответственно напряжение на якоре двигателя U.

Регулирование магнитного потока двигателя осуществляется изменением $I_{в.д}$., за счет включения в цепь обмотки 5 возбуждения двигателя резистора 6. В замкнутых ЭП питание обмотки 7 возбуждения генератора происходит от регулируемого источника постоянного тока, например полупроводникового УВ.

11.3. Система «тиристорный преобразователь - двигатель».

Основным типом преобразователей, применяемых в настоящее время в регулируемых ЭП постоянного тока, являются полупроводниковые статические преобразователи и. в первую очередь, тиристорные.

Они представляют собой управляемые выпрямители, собранные по нулевой или мостовой однофазной или трехфазной схемам.

Принцип действия, свойства и характеристики системы

ТП - Д рассмотрим на примере схемы, приведенной на рис. 11.4. , в которой использован однофазный двухполупериодный нереверсивный тиристорный выпрямитель, собранный по нулевой схеме.

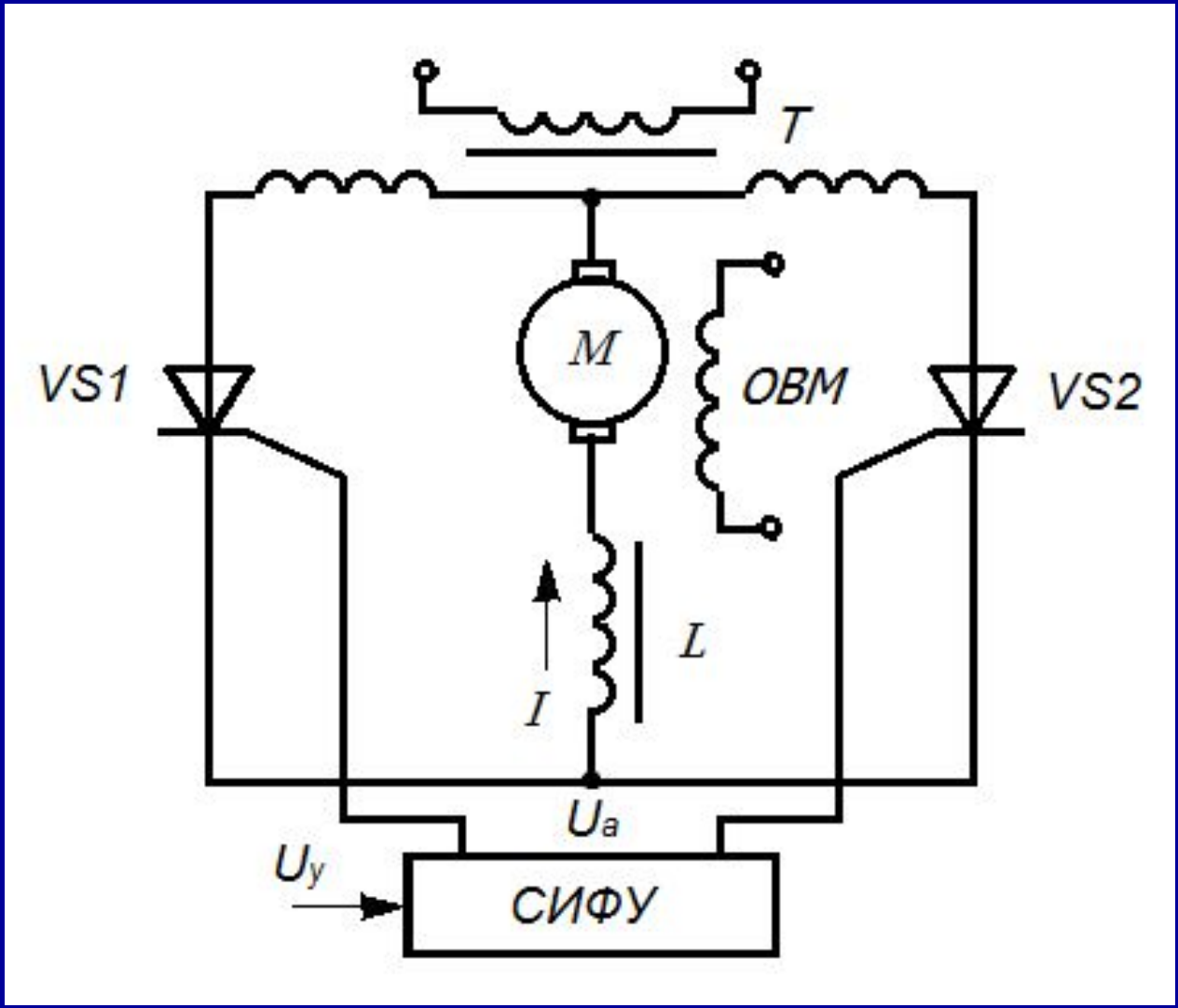


Рис.11.4. Схема электропривода по системе «Тиристорный преобразователь - двигатель».

На схеме:

Т - согласующий трансформатор

VS1, VS2 – тиристоры

L - сглаживающий реактор

СИФУ - система импульсно-фазового управления

ОВМ - обмотка возбуждения двигателя

М – якорь двигателя.

$U_у$ – сигнал управления.

Управляемый выпрямитель (преобразователь) включает в себя согласующий трансформатор Т. имеющий две вторичные обмотки, два тиристора VS1 и VS2. сглаживающий реактор с индуктивностью L и систему импульсно-фазового управления СИФУ. Обмотка возбуждения двигателя ОВМ питается от своего источника.

Если одновременно открыть тиристоры VS1, VS2 на якорь электродвигателя М подается полное напряжение.

Если с помощью СИФУ тиристоры VS1 и VS2 открывать не одновременно, с задержкой на какое – то время относительно друг друга, то ЭДС преобразователя снижается, а следовательно, уменьшается среднее напряжение, подводимое к двигателю.

Данная операция задержки времени открытия тиристоров производится по управляющему сигналу U_y

Ввиду пульсирующего характера ЭДС преобразователя ток в цепи якоря также является пульсирующим, что оказывает вредное влияние на работу двигателя, приводя к ухудшению условий работы его коллектора, дополнительным потерям энергии и нагреву.

Для уменьшения вредного влияния пульсации тока в цепь якоря обычно включают сглаживающий реактор с индуктивностью L.

Тема 5. Электроприводы с асинхронным двигателем

Занятие 12(2 часа)
Регулирование координат асинхронного двигателя с помощью резисторов

12.1. Общие определения.

ЭП с трехфазным асинхронным двигателем (АД) является самым массовым видом привода в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве.

Такое положение определяется простотой изготовления и эксплуатации АД, меньшими по сравнению с ДПТ массой, габаритными размерами и стоимостью, а также высокой надежностью в работе.

В основную общепромышленную серию 4А входят АД с мощностью от 0,06 до 400 кВт и высотами осей вращения от 50 до 355 мм, которые выпускаются самых различных модификаций и конструктивных исполнений:

- с повышенными пусковым моментом и скольжением;
- с фазным ротором;
- встраиваемые;
- малошумные;
- со встроенной температурной защитой;
- с электромагнитным тормозом;
- с подшипниками скольжения;
- химическистойкие.

АД различаются также по климатическому исполнению и категории размещения.

Для комплектации ЭП большой мощности выпускаются АД серий:

- АН-2 (мощностью до 2000 кВт),
- АВ (мощностью до 8000 кВт),
- ДАЗО (мощностью до 1250 кВт) и ряд других.

Для ЭП крановых механизмов производятся специализированные АД серий:

- MTF (с фазным ротором)
- MTKF (с короткозамкнутым ротором),

Для рабочих машин и механизмов металлургического производства выпускают АД серий:

- МТН (с фазным ротором)
- МТКН (с короткозамкнутым ротором).

Крановые и металлургические АД новой серии 4МТ отличаются улучшенными технико-экономическими показателями работы, расширенной шкалой мощностей, более высоким уровнем стандартизации.

Двигатели серии АИ с мощностью от 0,75 до 160 кВт имеют унифицированные по международным стандартам параметры.

Кроме того, электротехническая промышленность выпускает АД серий В и ВР для работы во взрывоопасных и пожароопасных средах.

12.2. Типы электроприводов с различными вариантами асинхронных двигателей.

Трехфазный АД имеет обмотку статора, подключаемую к трехфазной сети переменного тока с напряжением U_1 и частотой f_1 и обмотку ротора, которая может быть выполнена в двух вариантах.

Первый вариант предусматривает выполнение обычной трехфазной обмотки из проводников с выводами на три контактных кольца.

Такая конструкция соответствует АД с фазным ротором (рис. 12.1 а), она позволяет включать в роторную цепь различные электротехнические элементы, например резисторы для регулирования скорости, тока и момента ЭП, и создавать специальные схемы включения АД.

Второй вариант - это выполнение обмотки заливкой алюминия в пазы ротора, в результате чего образуется конструкция, известная под названием «беличья клетка».

Схема АД с такой обмоткой, не имеющей выводов и получившей название короткозамкнутой, представлена на рис. 12.1, б.

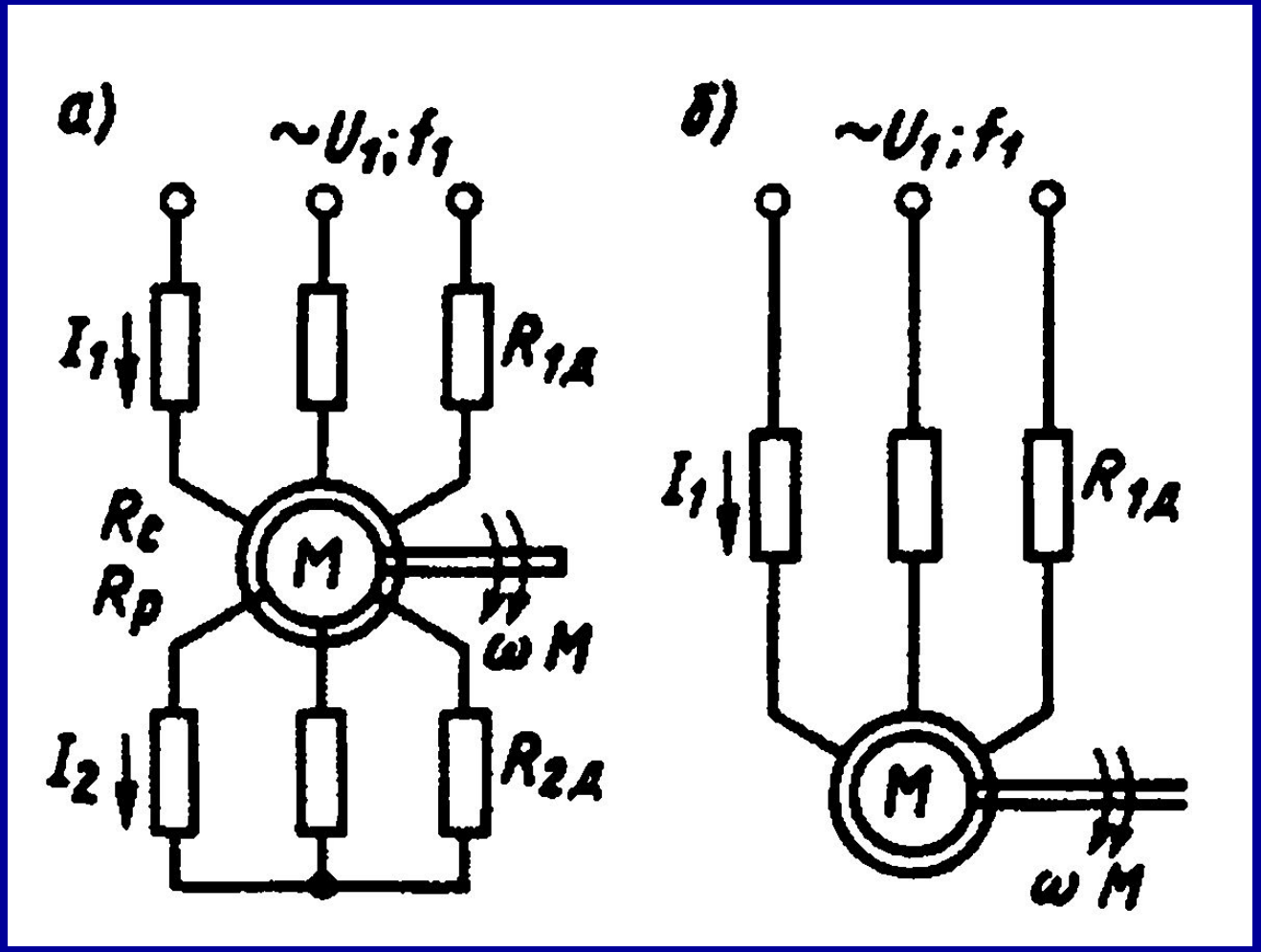


Рис.12.1. Конструктивные схемы электропривода с асинхронным двигателем

а) с фазным ротором.

б) с короткозамкнутым ротором

12.3 Механическая и электромеханическая характеристики асинхронного электропривода

Механической характеристикой электропривода называется зависимость момента на валу электропривода от угловой скорости $M(\omega)$.

Однако в асинхронных двигателях скорость вращения магнитного поля статора и скорость вращения ротора двигателя не совпадают.

Величина, характеризующая отставание вращения ротора от магнитного поля статора, называется скольжением s.

Поэтому угловая скорость ротора асинхронного двигателя связана с угловой скоростью магнитного поля статора соотношением:

$$\omega = \omega_0(1 - s).$$

Где: ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с.

ω_0 - угловая скорость вращения магнитного поля статора, рад/с.

s (0…..1) – скольжение.

В асинхронном электроприводе используют механические характеристики с зависимостью момента от скольжения M(s) (см.рис.12.2.)

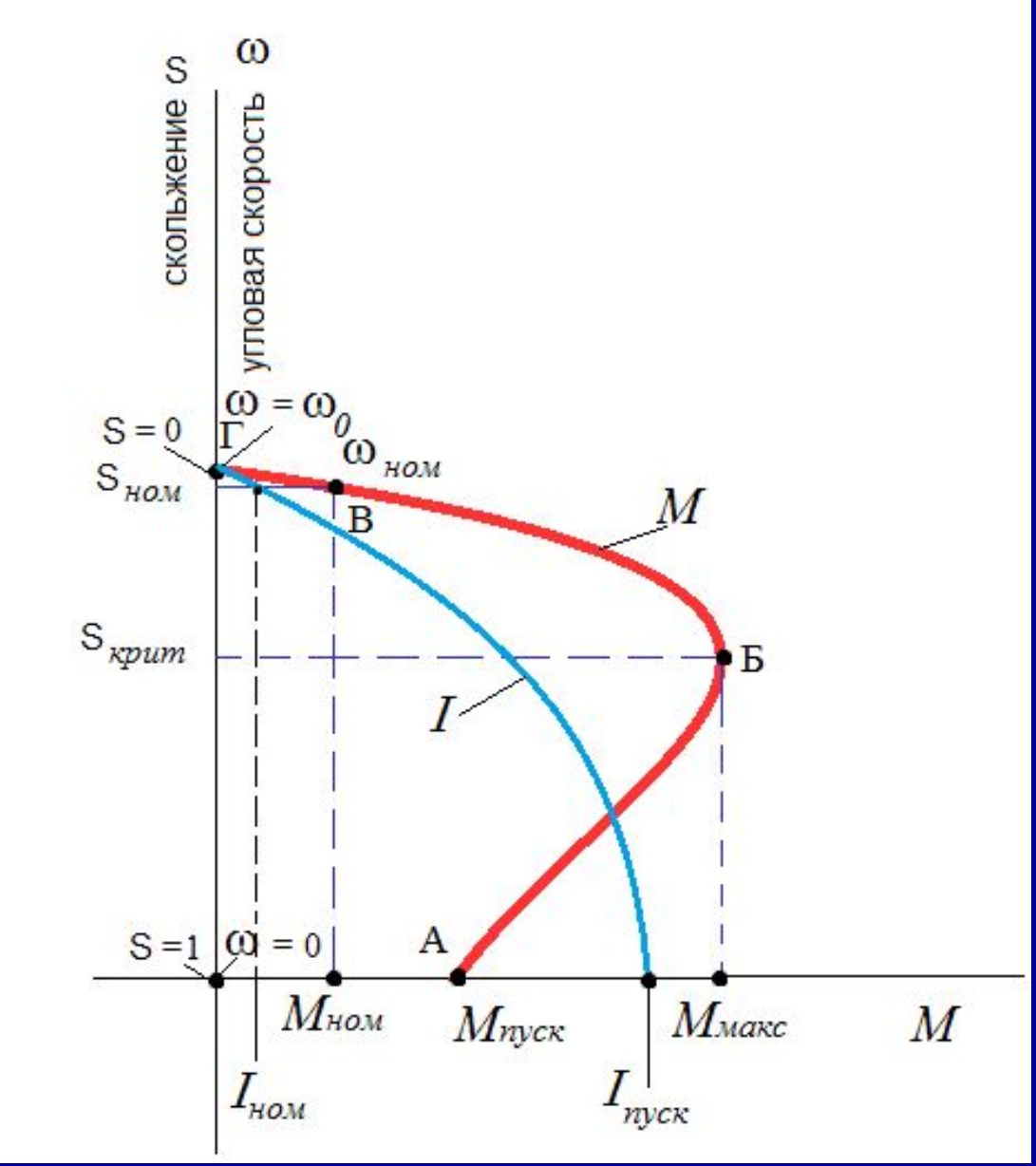


Рис.12.2. Механическая *M(s)* и электромеханическая *I(s)* характеристики электропривода с асинхронным двигателем.

На механической характеристике M(s) (красная линия) можно выделить следующие характерные точки:

т.А. – точка пуска.(точка короткого замыкания). В этой точке: $\omega=0$, $s = 1$, $M=M_{пуск}.> M_{ном}$

т.Б – точка максимального момента электропривода.(критическая точка) В этой точке $s = s_{крит}$, $M = M_{макс}$.

т. В – точка номинального режима работы электропривода. В этой точке $\omega = \omega_{ном}$, $s = s_{ном}$, $M = M_{ном}$

т.Г. – точка идеального холостого хода.

В этой точке: $\omega = \omega_0$, $s = 0$, $M = 0$

Электромеханическая характеристика $I(s)$ (синия линия) показывает зависимость тока двигателя от скольжения .

На этой характеристике можно определить:

значение пускового тока $I = I_{пуск}$

при s = 1,.

значение тока в номинальном режиме

$I = I_{ном}$ при $s = s_{ном}$.

12.4. Регулирование координат асинхронного двигателя с помощью резисторов

Данный способ регулирования координат, называемый часто реостатным, осуществляется введением добавочных активных резисторов в статорные или роторные цепи АД (см. рис. 12.1).

Включение добавочных резисторов *R* в цепь статора применяется главным образом для регулирования (ограничения) в переходных процессах тока и момента АД с короткозамкнутым ротором. (Рис.12.1.б)

Этот способ нашел применение лишь для ограничения тока при пуске асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Включение добавочных резисторов $R_{2Д}$ в цепь ротора (см. схему рис. 12.1, а) применяется как с целью регулирования тока и момента АД с фазным ротором, так и для регулирования его скорости.

Искусственные механические характеристики при включении добавочных сопротивлений в цепь ротора имеют вид, приведенный на рисунке 12.3. и могут использоваться для регулирования (ограничения) пускового тока и скорости электропривода

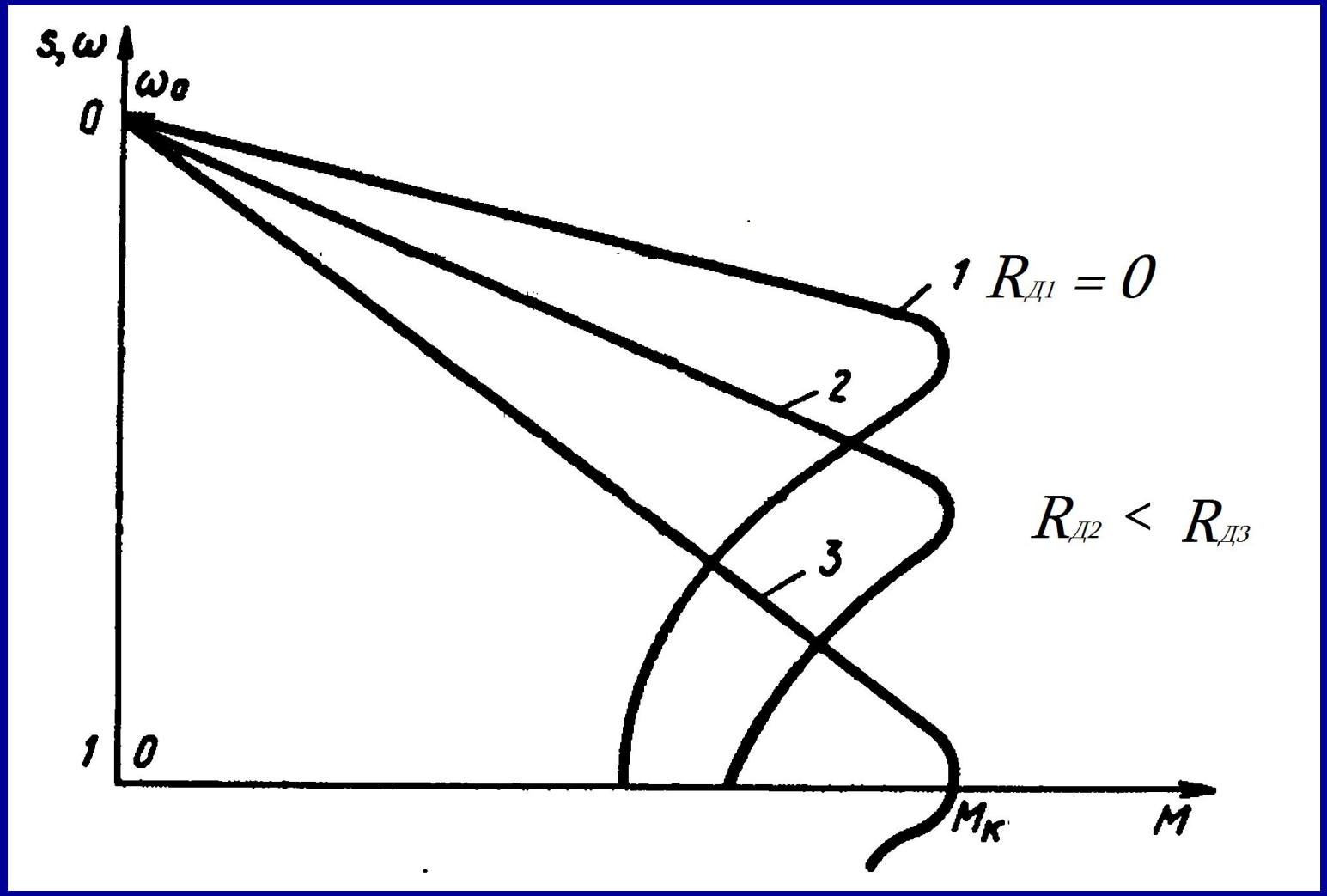


Рис. 12.3. Механические характеристики электропривода с добавочными резисторами, включенными в цепь ротора.

Анализ данных характеристик показывает, что скорость идеального холостого хода АД и его максимальный (критический) момент остаются неизменными при регулировании $R_{2д}$, а критическое скольжение, изменяется пропорционально сопротивлению этого резистора.

Выполненный анализ позволяет сделать вывод о том, что за счет изменения $\boldsymbol{R_{2д}}$ можно повышать пусковой момент АД вплоть до критического значения $\boldsymbol{M_к}$ при од новременном снижении пускового тока. Это позволяет сохранить перегрузочную способность двигателя, что весьма важно при регулировании его скорости.

12.5.Расчет резисторов в цепи ротора.

Обычно требуется определить сопротивление дополнительного резистора $R_{2д}$, при включении которого АД будет иметь заданную искусственную характеристику или же она будет проходить через заданную точку с координатами ($\omega_и$, $M_и$).

При этом предполагается, что естественная механическая характеристика АД известна (рассчитана или снята экспериментально), а требуемая искусственная характеристика задана по условиям пуска или регулирования скорости.

Расчет сопротивления добавочного резистора $R_{2д}$ может быть выполнен следующим способом.

Если искусственная характеристика задана полностью и определена точка критического момента (например, характеристика ***2*** на рис. 12.4), то в этом случае расчет основывается на формуле, с помощью которой находится отношение критических скольжений АД на естественной ***1*** и искусственной ***2*** характеристиках:

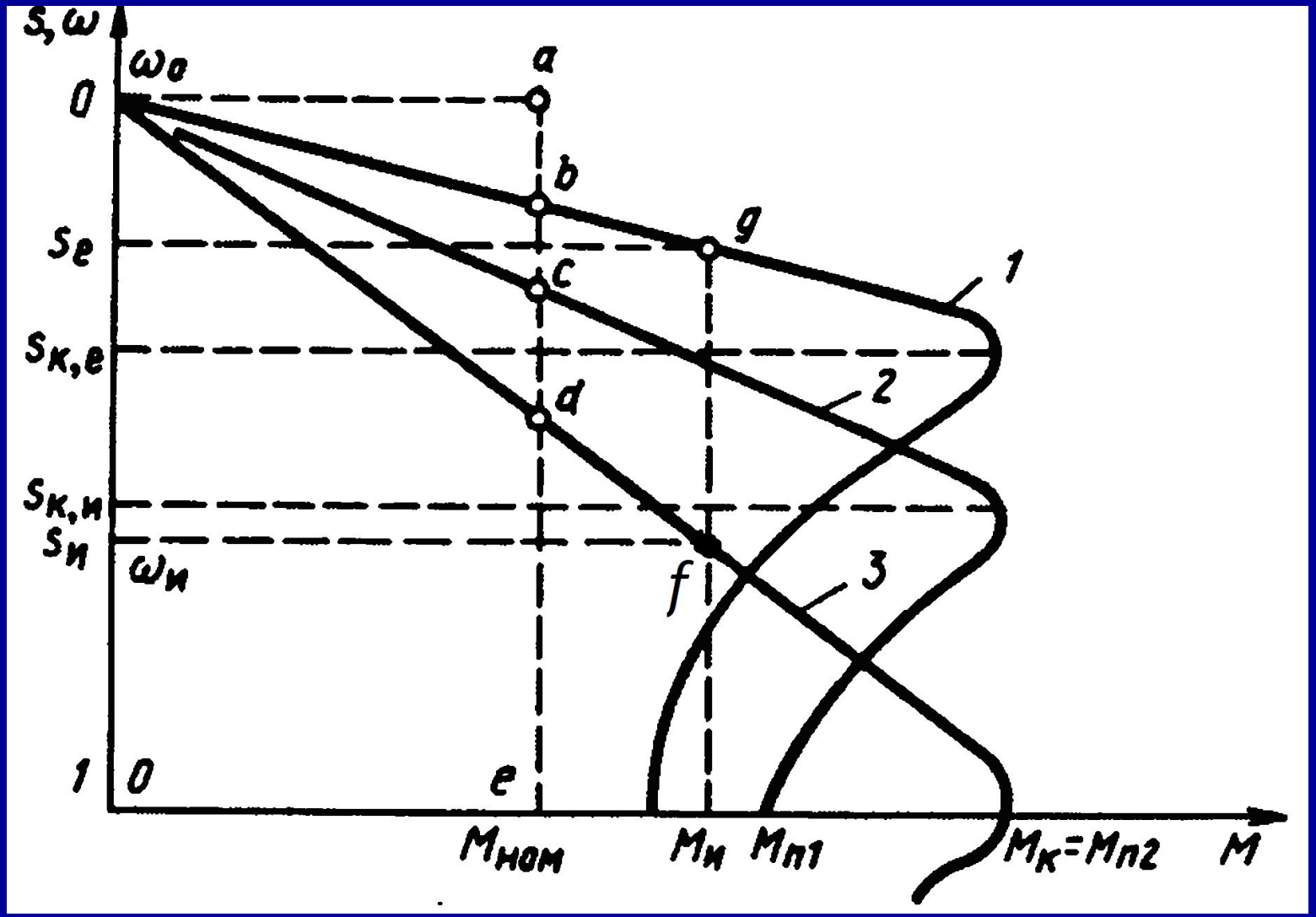


Рис. 12.4. К расчету добавочных сопротивлений в цепи ротора.

$$\frac{s_{к.е.}}{s_{к.и.}} = \frac{R_р}{R_р + R_{2Д1}}$$

где $R_р$ - сопротивление фазы обмотки ротора АД.

Из данной формулы определим искомое значение добавочного сопротивления $R_{2Д1}$

$$R_{2Д1} = R_р\left(\frac{s_{к.и.}}{s_{к.е.}} - 1\right)$$

Формула справедлива не только для критического

Таким образом, если задана некоторая точка *f* искусственной характеристики ***3*** (см. рис. 12.4.) с координатами $M_и$, $s_и$, то искомое сопротивление резистора можно найти по формуле

$$R_{2Д1} = R_p\left(\frac{S_u}{S_e} - 1\right)$$

где s_e - скольжение АД на естественной характеристике 1, соответствующее моменту $M_и$.

Задача 12.1 Для АД типа МТН-312-6 с техническими данными:

$P_{ном}$ = 17,5 кВт

$n_{ном}$ = 945об/мин;

$U_{ном}$ = 380В;

f = 50Гц;

$I_{1ном}$ = 43 А;

$R_р$ = 0,89 Ом;

(естественная механическая характеристика представлена на рис.12.5.кривая 1)

Рассчитать добавочное сопротивление $R_{2Д}$, при включении которого в цепь ротора механическая характеристика пройдет через точку с координатами

$\omega_и = 0,6\ \omega_{ном}$,

$M_и = 0,9M_{ном}$.

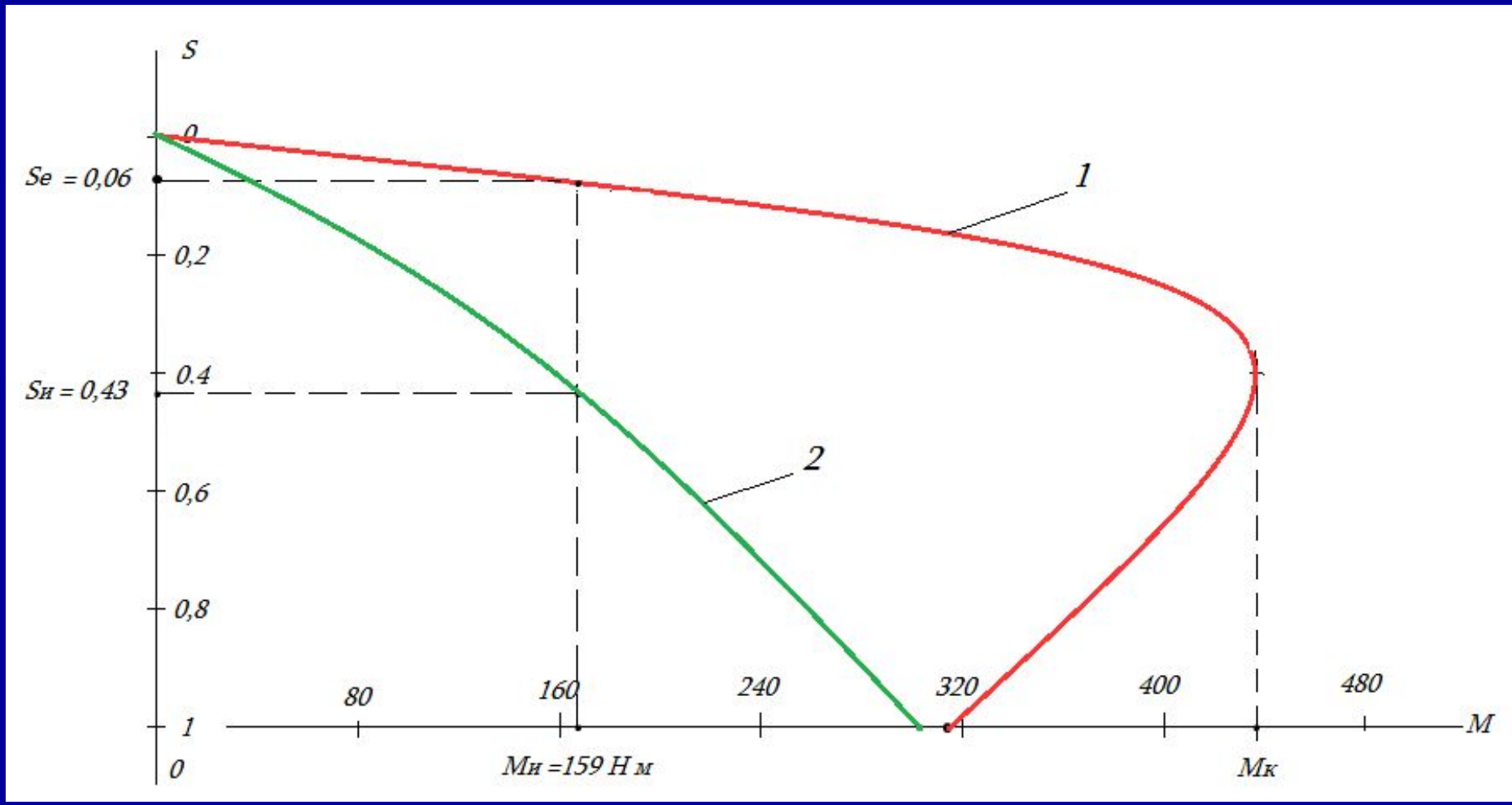


Рис.12.5. К задаче 12.1

1.Определим координаты точек номинального режима:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 945}{30} = 99 \ рад/с$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{3} = 104{,}8 \ рад/с$$

$$s_{ном} = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0} = \frac{104{,}8 - 99}{104{,}8} = 0{,}07$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{17500}{99} = 177 \ Н \cdot м$$

2.Рассчитаем координаты заданной точки, используя координаты номинальной точки

$$\omega_и = 0{,}6 \cdot \omega_{ном} = 0{,}6 \cdot 99 = 59{,}4 \ рад/с$$

$$s_и = \frac{\omega_0 - \omega_и}{\omega_0} = \frac{104{,}8 - 59{,}4}{104{,}8} = 0{,}43$$

$$M_и = 0{,}9 M_{ном} = 0{,}9 \cdot 177 = 159 \ Н \cdot м$$

и нанесем ее на плоскость механических характеристик (см. рис. 12.5).

Для момента M_u = 159 Н-м определим скольжение s_e при работе АД на естественной характеристике 1, которое оказывается равным 0,06.

По формуле определим требуемое добавочное сопротивление:

$$R_{2Д1} = R_p\left(\frac{s_u}{s_e} - 1\right) = 0{,}89 \cdot \left(\frac{0{,}43}{0{,}06} - 1\right) = 5{,}5\ Ом$$

Занятие 13(2 часа) Регулирование координат электропривода с асинхронным двигателем изменением величины и частоты напряжения

13.1. Общие определения.

В соответствии с приведенными ранее формулами можно записать, что частота вращения ротора n, об/мин, равна:

$$n_2 = n_1(1-s) = \frac{60 f_1}{p} \cdot (1-s)$$

где f_1 — частота питающей сети, Гц;

p — число пар полюсов двигателя;

s — скольжение, отн. ед.

Из формулы следует, что существуют три основных способа регулирования частоты вращения:

- изменением частоты f_1 питающего двигатель напряжения;
- изменением числа пар полюсов p;
- изменением скольжения s.

Скольжение двигателя можно изменить, если вводить в обмотку ротора дополнительное активное сопротивление.

Этот способ подробно был рассмотрен в предыдущем занятии.

Все три способа нашли широкое применение на практике.

Кроме указанных трех способов регулирования частоты вращения ротора в автоматических электроприводах иногда применяется способ изменения величины напряжения на статоре двигателя.

13.2. Регулирование координат электропривода с асинхронным двигателем изменением величины напряжения.

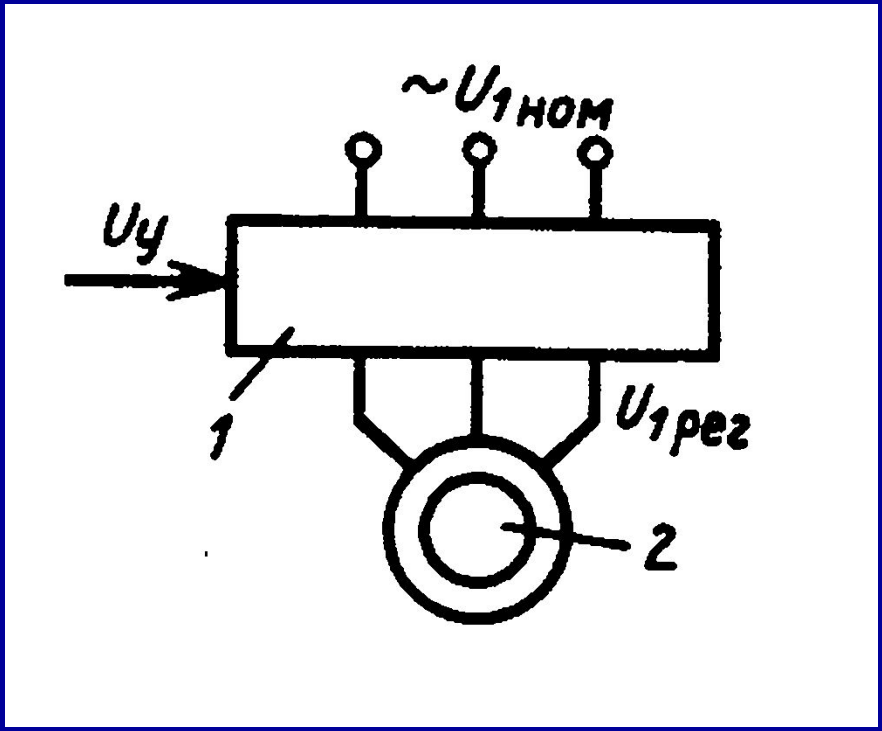


Рис.13.1. Схема управления изменением напряжения, подводимого к статору асинхронного двигателя.

На рисунке:

1 - регулятор напряжения

2 - статор двигателя

U_y - внешний сигнал управления

$U_{1\,ном}$ – сетевое напряжение

$U_{1\,рег}$ – выходное напряжение регулятора

Для регулирования координат АД между сетью переменного тока со стандартным напряжением $U_{1\,ном}$ и статором двигателя ***2*** включен регулятор напряжения ***1,*** выходное напряжение которого $U_{1\,рег}$ изменяется с помощью маломощного внешнего сигнала управления U_y в пределах от значения сетевого напряжения $U_{1\,ном}$ и практически до нуля.

При этом частота напряжения на двигателе не изменяется и равна стандартной (f_1=50 Гц).

Регулирование напряжения на статоре не приводит к изменению скорости холостого хода

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$$

и не влияет на критическое скольжение s_k ,

но существенно изменяет критический момент $M_к$.

Уменьшение $\boldsymbol{M_к}$ происходит пропорционально квадрату снижения напряжения.

В результате при изменении $U_{1\ рег}$ искусственные характеристики ***3...6,*** построенные соответственно при напряжениях (1; 0,8; 0,6 и 0,4) $\boldsymbol{U_{1}}_{\ ном}$ оказываются малопригодными для регулирования скорости, так как по мере уменьшения напряжения резко снижаются критический момент АД и тем самым его перегрузочная способность, а диапазон регулирования скорости очень мал.

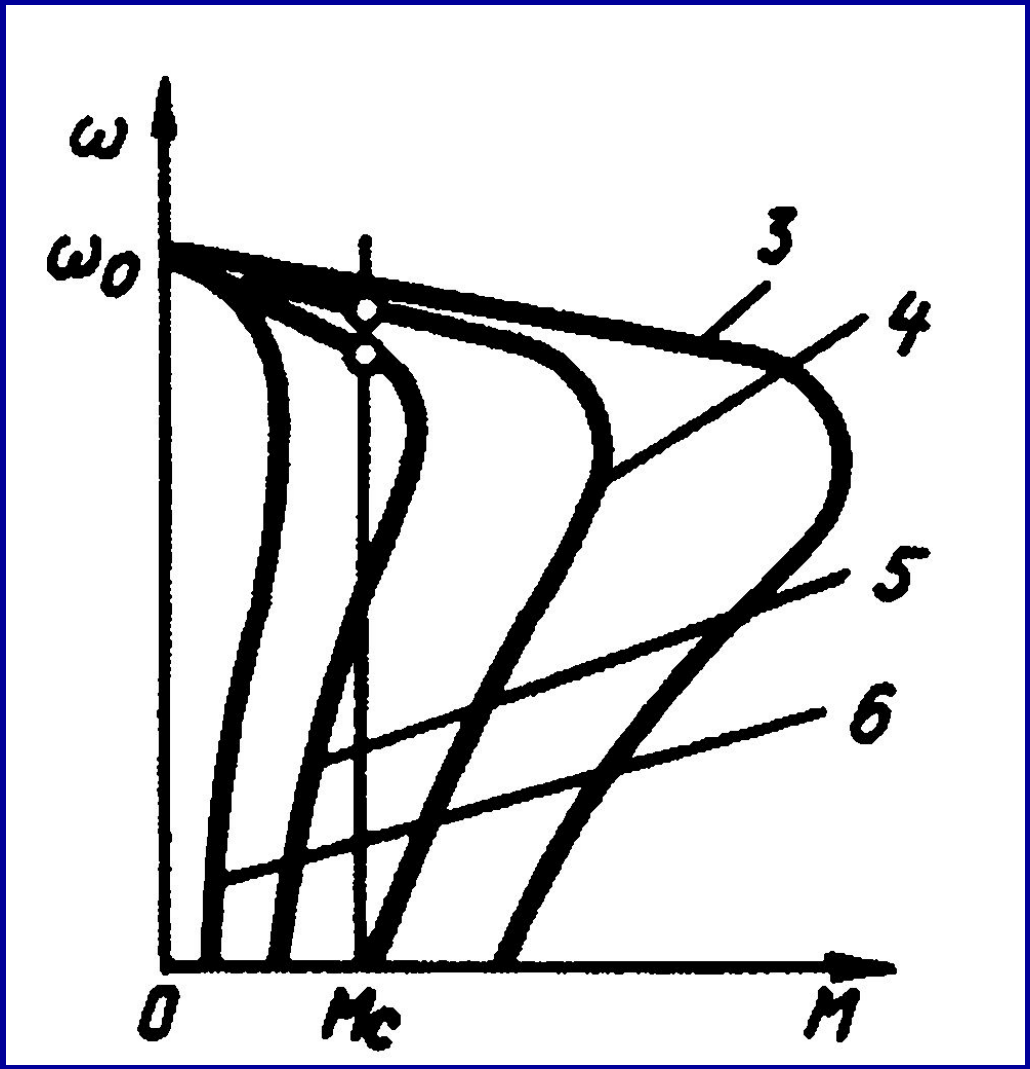


Рис.13.2. Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения на его статоре.

Разомкнутая схема, приведенная на рис. 13.1, используется лишь для воздействия в переходных процессах на момент АД, что может требоваться, например, для обеспечения заданного ускорения движения ЭП или регулирования натяжения на исполнительном органе рабочей машины.

13.3. Регулирование координат электропривода с асинхронным двигателем изменением частоты напряжения.

Данный способ, называемый иногда частотным, широко используется для качественного регулирования в первую очередь скорости АД и широко применяется в настоящее время.

Принцип его заключается том, что изменяя частоту f_1 питающего АД напряжения, можно в соответствии с выражением

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$$

изменять его скорость ω_0, получая различные искусственные характеристики.

Необходимым элементом ЭП является преобразователь частоты, на вход которого подается стандартное напряжение сети U_1 (220, 380 В и т.д.) промышленной частоты f_1 = 50 Гц, а с выхода снимается переменное напряжение $U_{1\,рег}$, регулируемой частоты $f_{1\,рег}$.

Регулирование выходной частоты осуществляется с помощью управляющего сигнала U_y, который задает требуемое значение скорости двигателя 2.

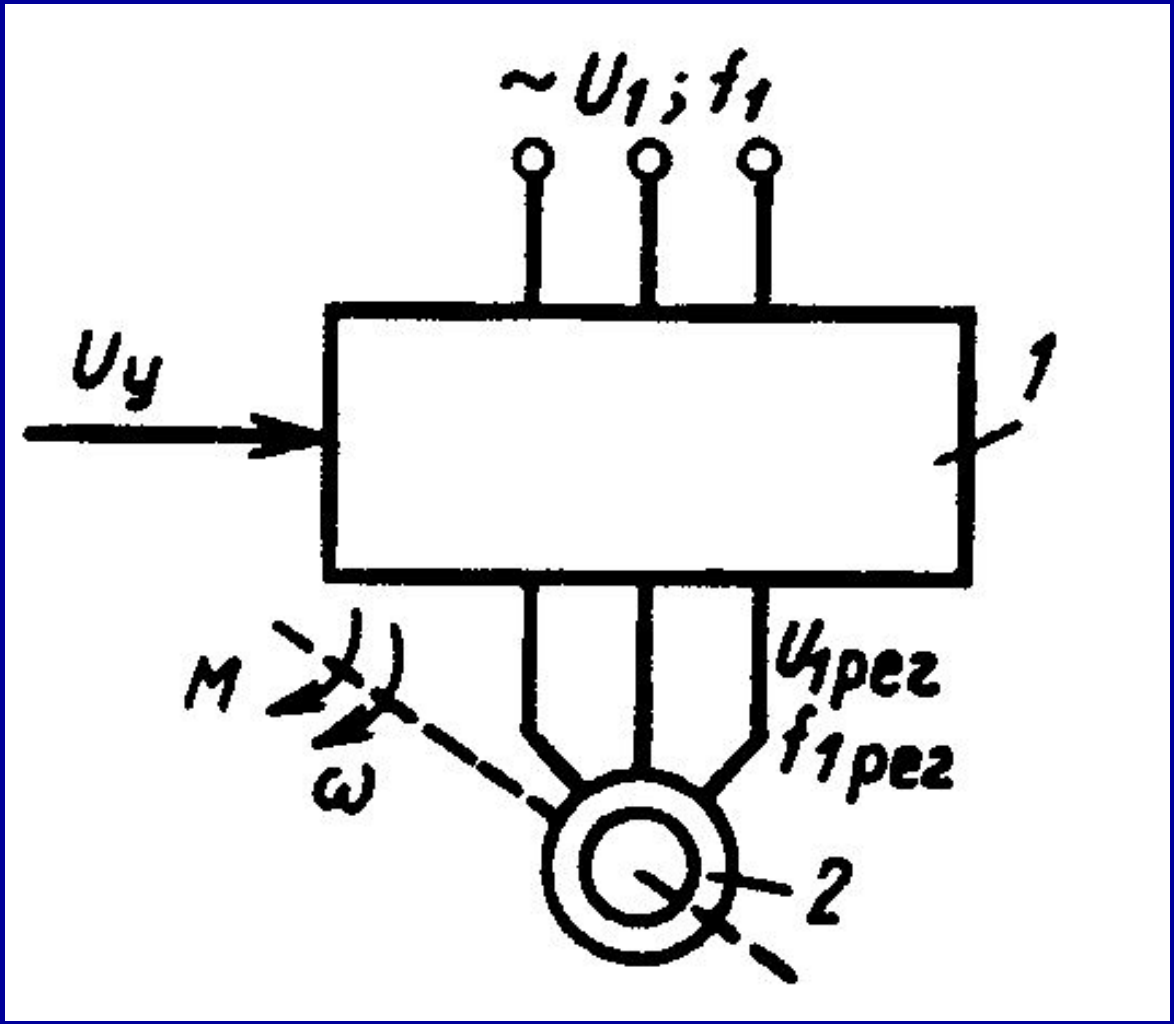


Рис.13.3. Схема управления изменением частоты напряжения, подводимого к статору асинхронного двигателя.

Анализ механических характеристик двигателя показывает, что скорость идеального холостого хода двигателя изменяется пропорционально частоте напряжения, а критический момент $M_к$ остается неизменным

Механические характеристики (см. рис. 13.4.) при частотном регулировании разделяются на характеристики, соответствующие частотам:

- ниже номинальной (сетевой) $f_{1ном}$.
- выше номинальной (сетевой) $f_{1ном}$.

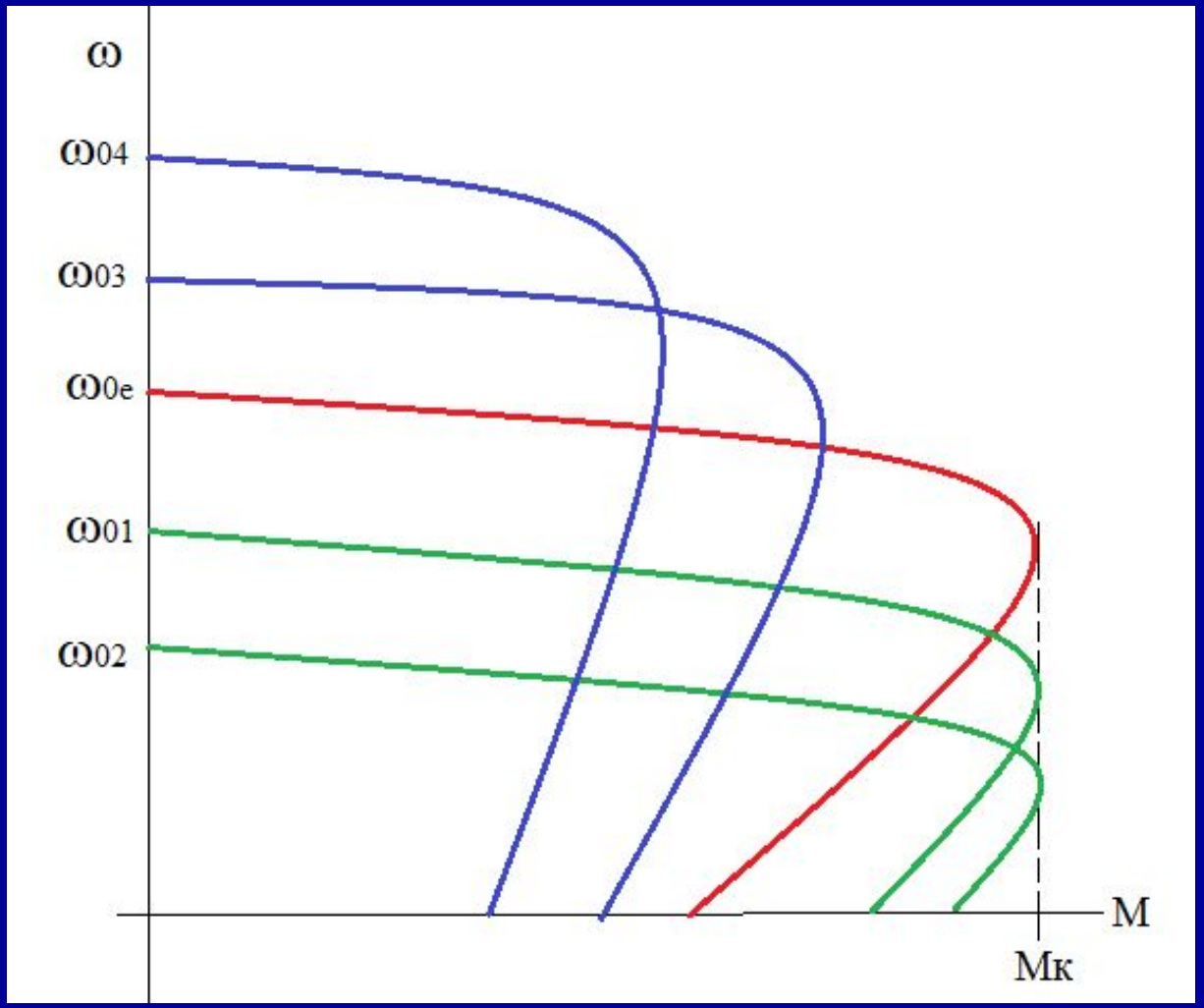


Рис.13.4. Семейство механических характеристик при изменении частоты напряжения статора

Область частот $f_1 < f_{1ном}$

В этой области частота напряжение, подводимого к АД, регулируется от номинальной (сетевой) в сторону уменьшения.

В этой области $M_к$ = const и АД имеет постоянную перегрузочную способность.

Область частот $f_1 > f_{1ном}$

В этой области частота напряжение, подводимого к АД, регулируется от номинальной (сетевой) в сторону увеличения.

В этой области критический момент $M_к$ будет уменьшаться при увеличении частоты

13.4.Принцип действия преобразователей частоты.

Различные ПЧ, которые нашли применение в частотных асинхронных ЭП, можно разделить на две группы:

- электромашинные вращающиеся преобразователи частоты.
- статические преобразователи частоты

а) Электромашинные вращающиеся ПЧ, в них для получения переменной частоты используются обычные или специальные электрические машины.

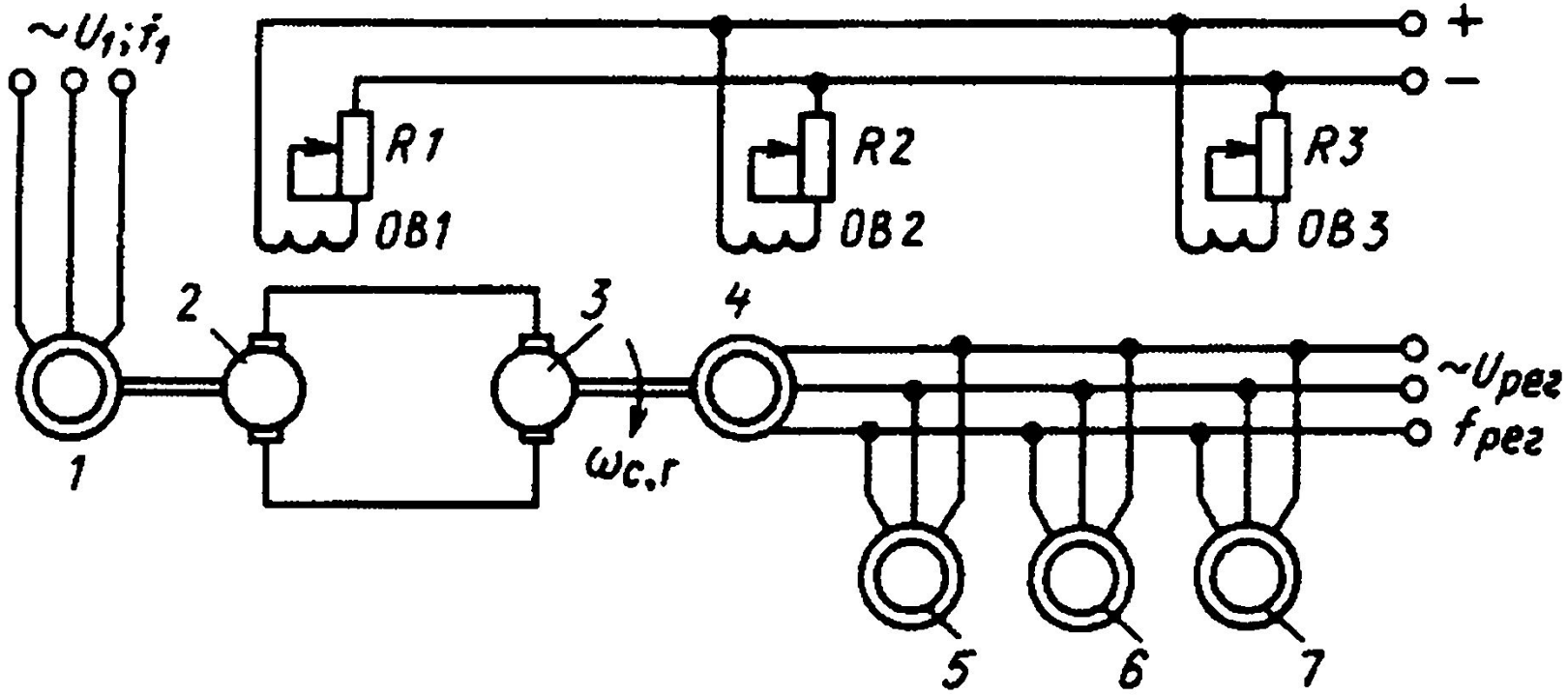


Рис.13.5. Схема электромашинного вращающегося преобразователя частоты.

На схеме:

1 – двигатель асинхронный

2 – генератор постоянного тока

3 - регулируемый двигатель постоянного тока

4 – синхронный генератор

5…7 – двигатели электроприводов

На рис. 13.5. приведена схема ПЧ с синхронным генератором 4, от которого питаются три асинхронных двигателя 5... 7.

Преобразователь состоит из двух частей:

- агрегата постоянной скорости, включающего в себя асинхронный двигатель 1 и приводимый им во вращение генератор постоянного тока 2,
- агрегата переменной скорости, состоящего из регулируемого двигателя постоянного тока 3, приводящего во вращение синхронный генератор переменной частоты.

Двигатель 1 питается от сети со стандартной частотой f_1 = 50 Гц, а на выводах синхронного генератора 4 частота и напряжение могут регулироваться. С помощью резистора R_1 в цепи обмотки возбуждения генератора 2 изменяется напряжение, подводимое к якорю двигателя 3, и тем самым его скорость и скорость генератора 4.

При этом меняется частота напряжения на выводах синхронного генератора 4, определяемая выражением

$$f_{рег} = \frac{p \cdot \omega_{с.г.}}{2\pi}$$

а значит, и на двигателях 5... 7.

Напряжение на этих двигателях регулируется с помощью резистора R_3, включенного в цепь обмотки возбуждения синхронного генератора *4.*

Применение ПЧ позволяет плавно регулировать скорость двигателей 5... 7 в широком диапазоне.

Однако процесс регулирования частоты в электромашинном ПЧ имеет существенные недостатки:

1. Для создания такого преобразователя необходимы четыре электрические машины, что определяет его громоздкость и высокую цену
2. Двойное преобразование энергии - энергии переменного тока с частотой f_1 = 50 Гц в энергию постоянного тока и затем опять в энергию переменного тока регулируемой частоты - сопровождается потерей энергии во всей цепи, определяя невысокий КПД системы.
3. Коллекторные машины постоянного тока требуют непрерывного надзора и ухода при эксплуатации, а их работа сопровождается шумом.

.

б) ***Статические ПЧ,*** названные так потому, что в них используются не имеющие движущихся частей элементы и устройства.

Существует два основных типа статических преобразователей частоты:

- с непосредственной связью
- с промежуточным контуром постоянного тока.

В первом случае выходное напряжение синусоидальной формы формируется из кусочков (участков) синусоид преобразуемого входного напряжения. При этом максимальное значение выходной частоты принципиально не может быть равным частоте питающей сети. Частота на выходе преобразователя этого типа обычно лежит в диапазоне от 0 до 25-33 Гц.

Наибольшее распространение получили преобразователи частоты с промежуточным контуром постоянного тока, выполненные на базе инверторов напряжения.

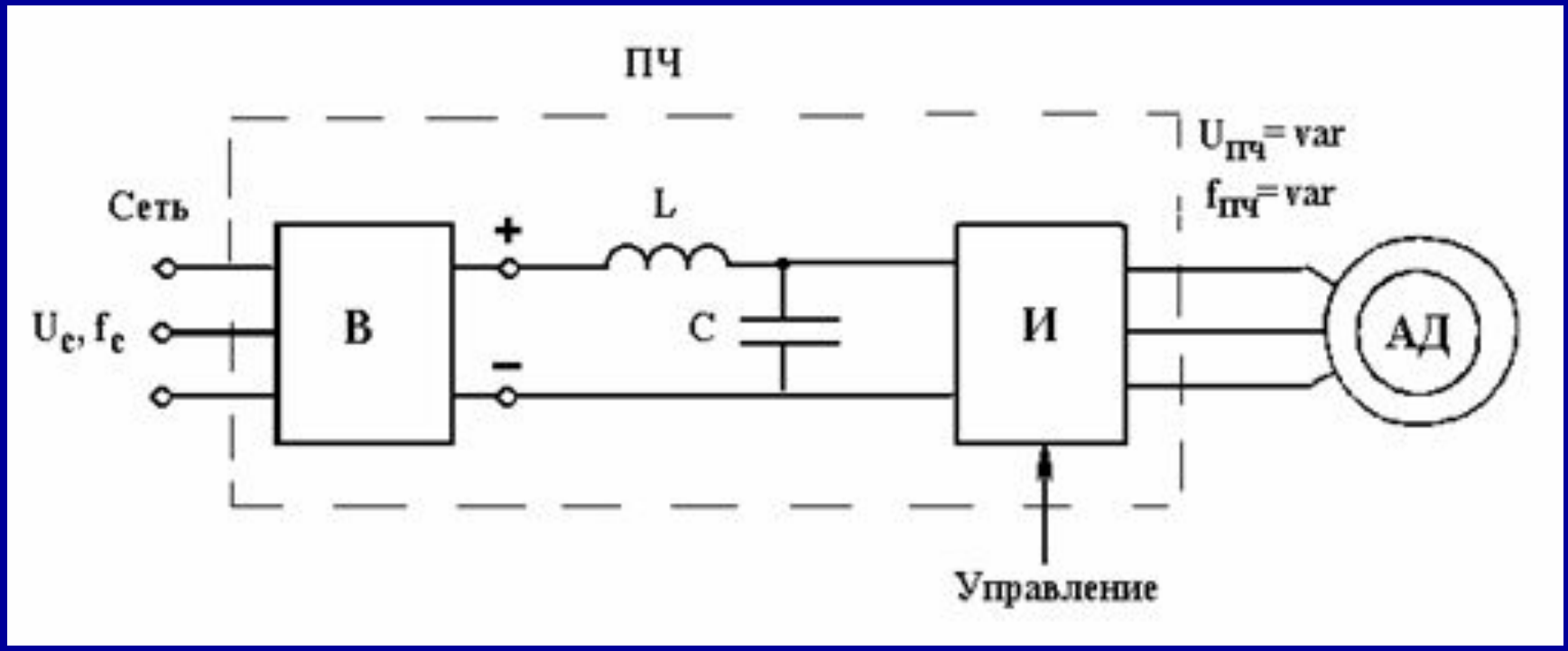


Рис.13.5. Типовая схема преобразователя частоты

Преобразователь включает:

- сеть переменного тока
- неуправляемый выпрямитель В
- конденсатор LC-фильтра
- автономный инвертор напряжения И с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ)
- асинхронный двигатель АД, к которому приложено переменное 3-фазное напряжение с регулируемой частотой f = var и амплитудой U = var ;
- управление инвертором осуществляется блоком управления БУ.

Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока (+, -).

Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей соединенных по схеме приведенной ниже.

Каждая обмотка двигателя подсоединяется через соответствующий ключ к положительному и отрицательному полюсу звена постоянного тока.

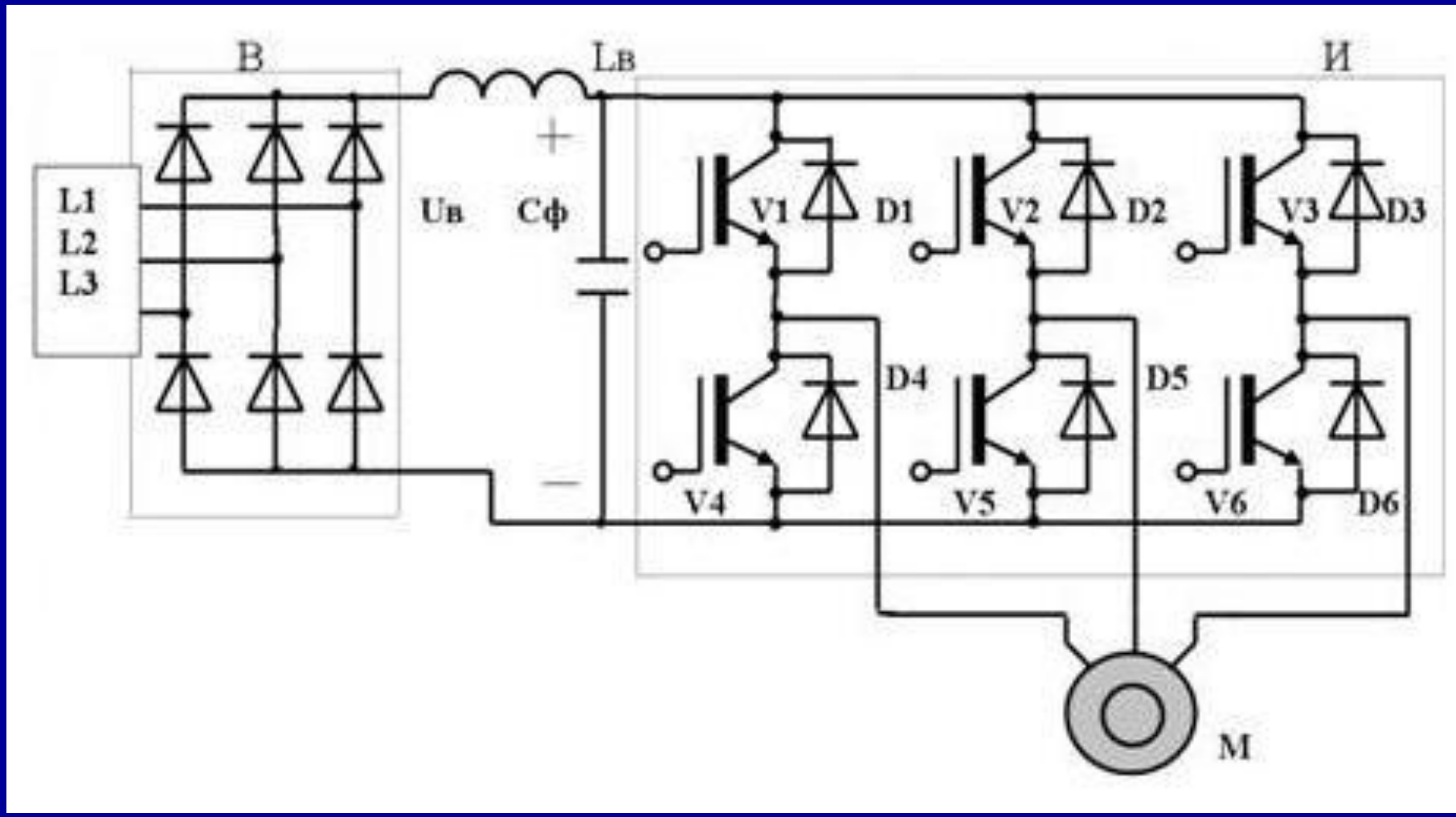


Рис.13.6. Силовой трехфазный импульсный инвертор

Система управления осуществляет управление силовым инвертором.

С помощью ключевых схем можно осуществить преобразование постоянного напряжение в синусоидальное напряжение переменной частоты и амплитуды.

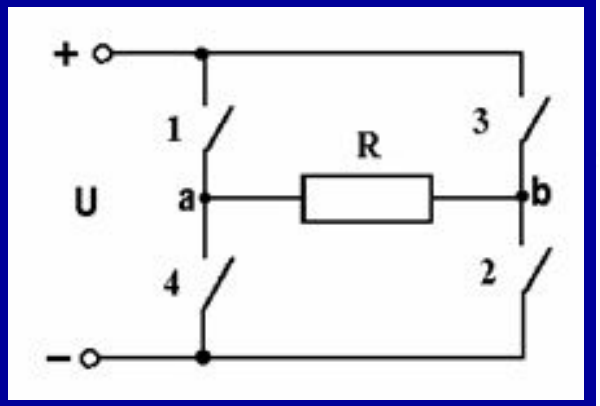
Непосредственно, приложить синусоидальное напряжение переменной частоты и амплитуды к обмоткам двигателя данная схема не позволяет, но она позволяет, используя Широтно-Импульсную Модуляцию (сокращенно ШИМ), импульсно прикладывать к обмоткам двигателя напряжение звена постоянного тока, таким образом, что эффект оказывается практически эквивалентен, приложению синусоидального напряжения, требуемой частоты и амплитуды.

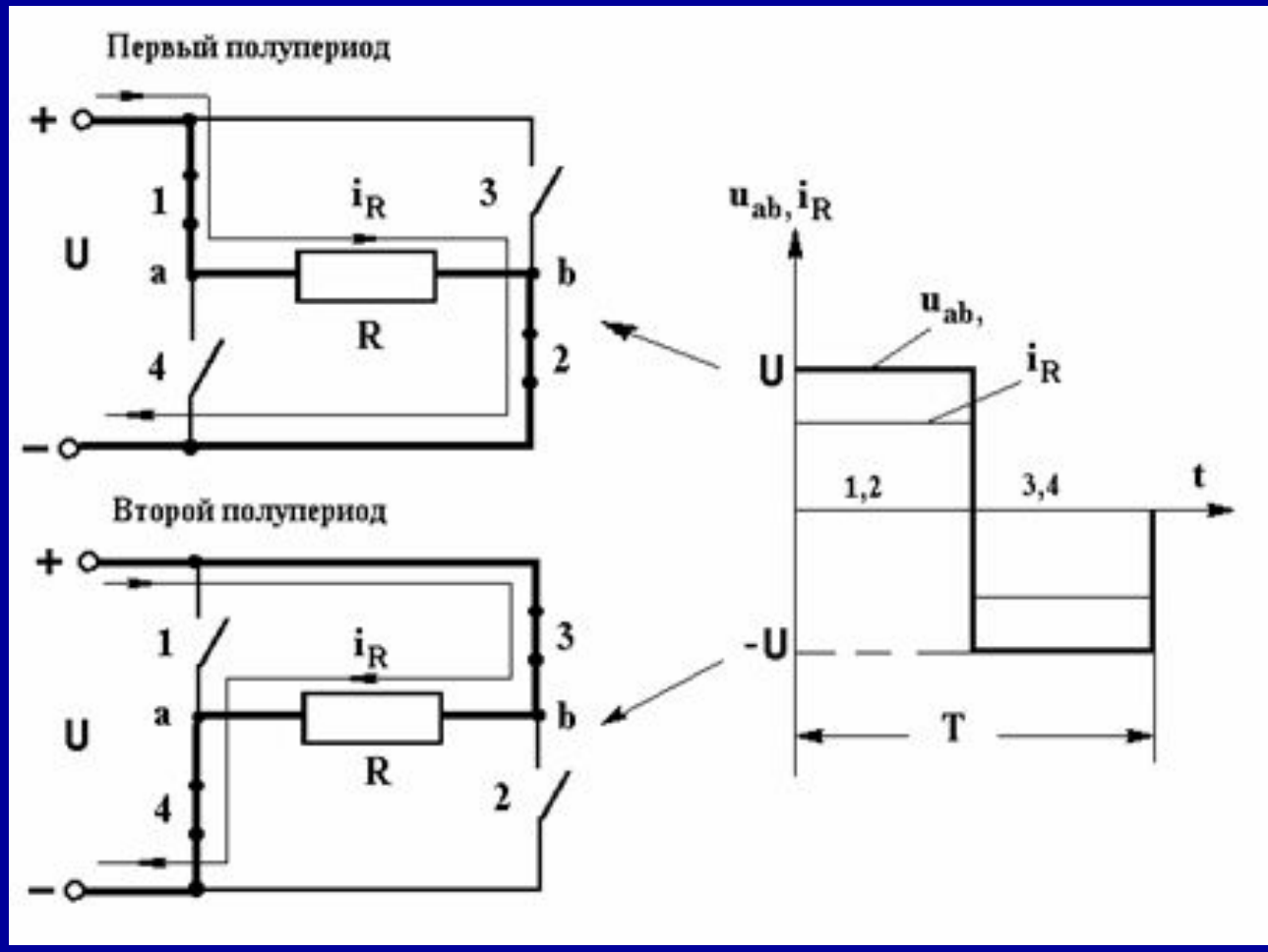
в) Принцип работы широтно-импульсной модуляции

Идею автономного инвертора напряжения (АИН) проиллюстрируем на простейшей однофазной схеме с четырьмя идеальными ключами 1, 2, 3, 4 и активной нагрузкой R – (см.рис.13 7.)

При попарной коммутации ключей 1,2 – 3,4 – 1,2 и т.д. через время T/2 (рис,б) к резистору будет прикладываться переменное напряжение u_{ab} прямоугольной формы с частотой

$$f = \frac{1}{T}$$





а) б)

Рис. 13.7. Однофазный инвертор, нагруженный активным сопротивлением (а), и диаграмма работы (б)

Ток при активной нагрузке будет повторять форму напряжения. Изменяя коммутационный промежуток T/2, можно менять частоту в любых пределах.

Таким образом, постоянное напряжение на входе инвертора с помощью электронных переключателей мы превратили в прямоугольное напряжение различной полярности.

Однако, для нормальной работы регулируемого асинхронного привода необходимо синусоидальное напряжение, частоту которого можно изменять по заданной программе.

Можно ли сформировать последовательность прямоугольных импульсов, полученных путем включения и отключения электронных ключей, в синусоидальный сигнал?

Да, можно. Для этого используют широтно-импульсную модуляцию.

Последовательность прямоугольных импульсов характеризуется скважностью, то есть отношением длительности импульса к периоду его следования

$$Скважность = \frac{\tau_{имп}}{T}$$

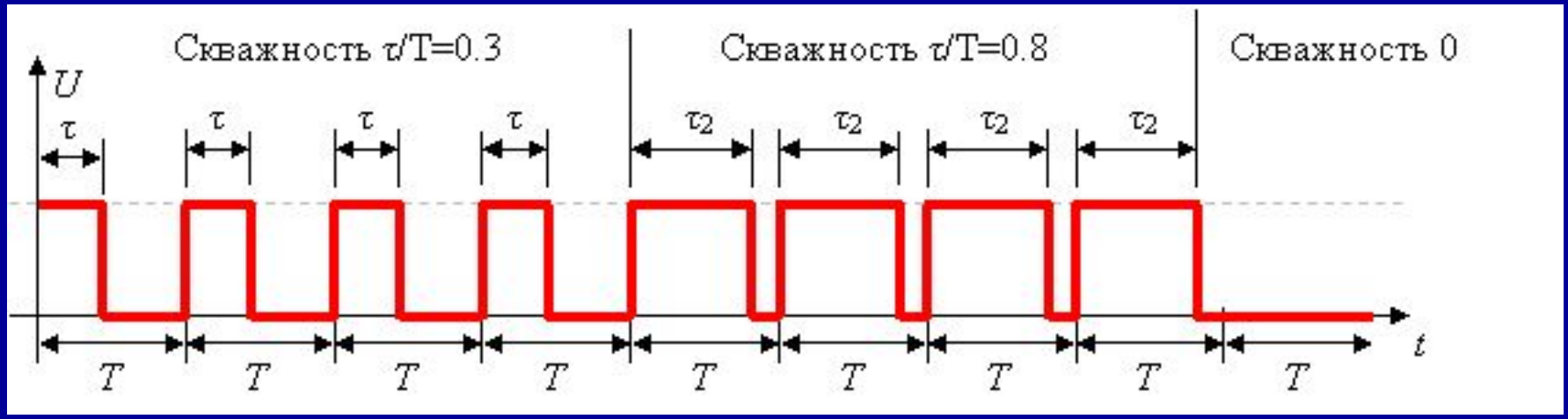


Рис.13.8. Прямоугольные импульсы различной скважности

Из графиков видно, что чем больше скважность, тем больше переданная электрическая энергия.

Если цепь с последовательностью импульсов через интегрирующую цепочку (RC или LC) подсоединить к вольтметру, то можно заметить, что напряжение на приборе тем выше, чем больше скважность импульсов.

Так как период следования импульсов все время одинаков, то можно сказать, что напряжение на вольтметре прямо пропорционально ширине прямоугольного импульса

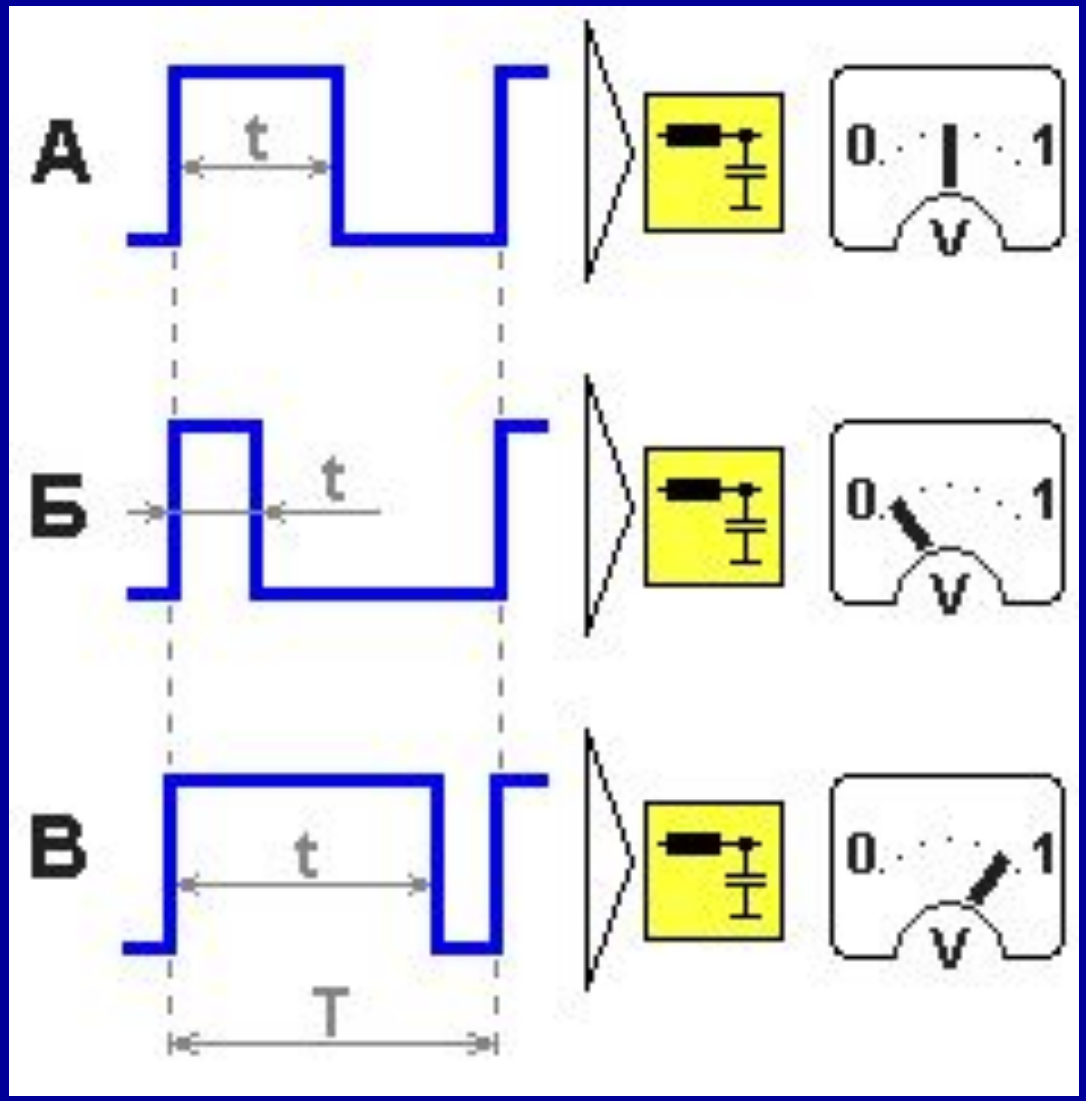
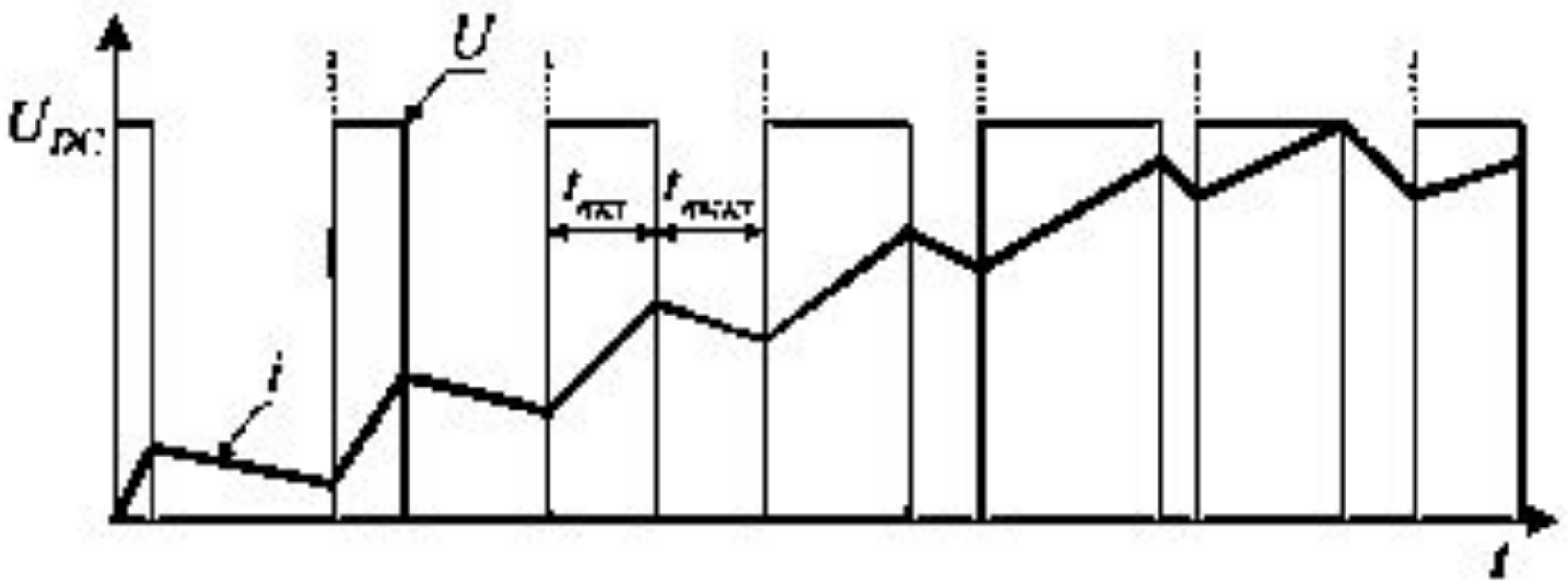


Рис.13.9. Зависимость величины напряжения на приборе от скважности импульсов.

Таким образом, если транзисторные ключи инвертора включать в определенной последовательности и открывать их на определенное время, то можно на выходе инвертора (см.рис. 13.6.) получить синусоидальный сигнал.



Широтно-импульная модуляция - это процесс формирования импульсов из постоянного напряжения, причем ширина импульсов изменяется по определенному закону.

Это означает, что ширина каждого импульса в последовательности будет определяться уровнем управляющего сигнала в данный момент времени. Таким управляющим сигналом обычно служит сигнал с системы управления асинхронным приводом.

Если такую последовательность импульсов напряжения по всем трем фазам послать на асинхронный двигатель, то ток в обмотках двигателя будет изменяться по синусоидальному закону. Изменяя период следования импульсов можно изменять частоту синусоидального сигнала и, следовательно, частоту вращения электропривода.

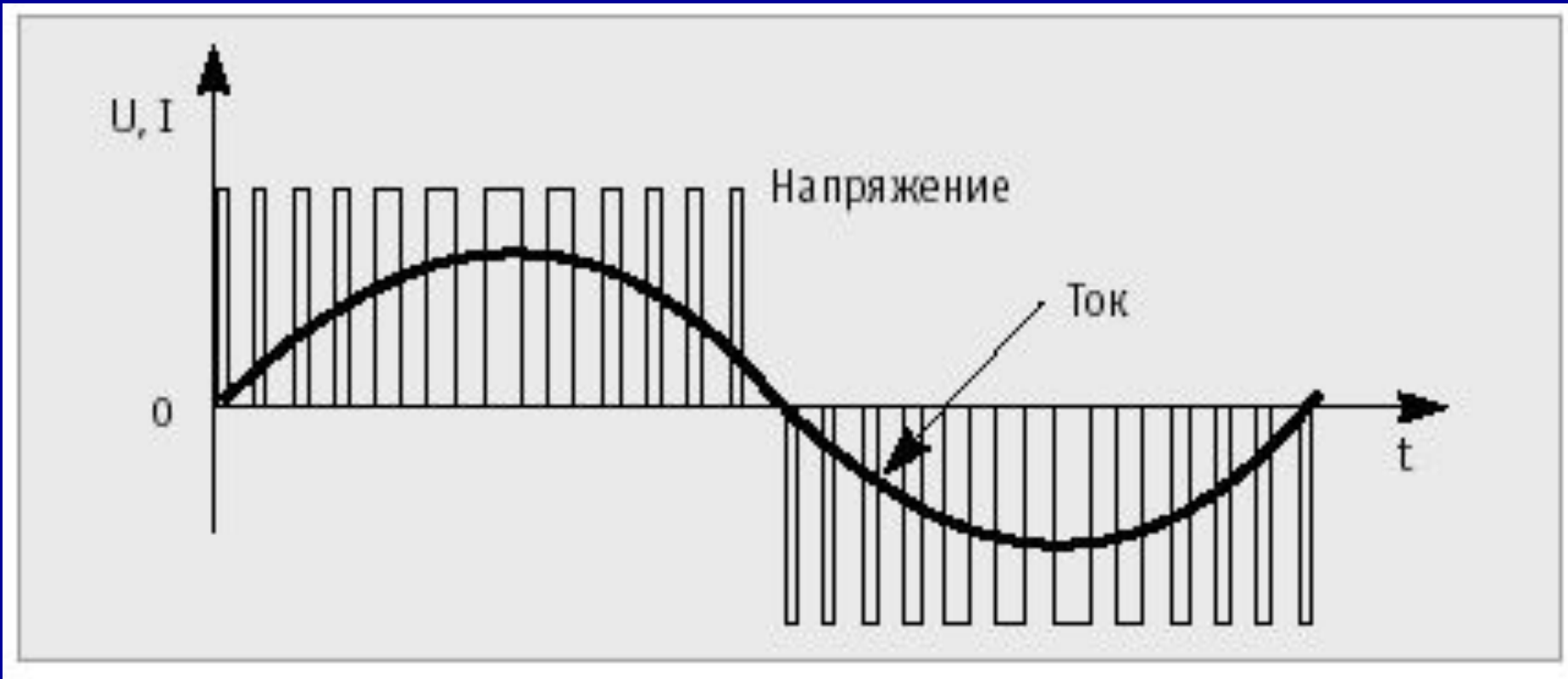


Рис.13.10. Широтно-импульсная модуляция

Занятие 14(2 часа) Регулирование скорости асинхронного двигателя изменением числа пар полюсов

Регулирование частоты вращения изменением числа полюсов в обмотке статора обеспечивается благодаря изменению частоты вращения магнитного поля статора.

При неизменной частоте питающей сети частота вращении магнитного поля и определяемая ею частота вращения ротора изменяются обратно пропорционально числу полюсов

Так как число полюсов, фиксированное ступенями, может быть равно 2, 4, 6, 8, 10

и т. д., что при частоте питающей сети, равной 50 Гц, соответствует синхронной частоте вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т. д.,

то указанным способом может быть обеспечено только ступенчатое регулирование.

Изменение числа пар полюсов обычно достигается следующими способами:

1. На статоре двигателя укладываются две электрически не связанные между собой обмотки, имеющие разное число пар полюсов, например p_1 и p_2.

При подключении одной из обмоток к сети переменного тока, например, с числом полюсов p_1 двигатель будет иметь синхронную частоту вращения, соответствующую данному числу полюсов .

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p_1}$$

Другая обмотка при этом обесточена. При необходимости получения другой частоты вращения n_2 обмотка с числом полюсов p_1 отключается и включается с числом полюсов p_2.

$$n_2 = \frac{60 f_1}{p_2}$$

Такие асинхронные двигатели получили название двухобмоточных.

2. На статоре укладывается одна обмотка, допускающая переключение на разное число полюсов.

К положительным показателям многоскоростных асинхронных двигателей следует отнести экономичность и относительно большой диапазон регулирования частоты вращения ротора.

Недостатком данного способа регулирования является невозможность плавного изменения частоты вращения.

В рамках единой общепромышленной серии асинхронных двигателей 4А выпускается модификация многоскоростиых двигателей, предназначенных для работы на двух, трех или четырех скоростях.

Однообмоточные двигатели выпускаются на следующие соотношения частот вращения: 1500/3000, 750/1500, 1000/1500. 750/1000, 500/1000 об/мин.

Двухобмоточные (трехскоростные) имеют соотношения 1000/1500/3000, 750/1500/3000, 750/1000/1500 об/мин.

двухобмоточные (четырехскоростные)—750/1000/1500/3000. 500/750/1000/1500 об/мин

Занятие15(2 часа)
Контрольная работа№3

Тема 7. Взаимосвязанный электропривод

Занятие 16 (2 часа)
Электропривод с механическим соединением валов двигателей

16.1. Общие положения.

Для приведения в движение исполнительных органов ряда рабочих машин используются не один, а два или более электродвигателей, что позволяет получить некоторые специфические механические характеристики ЭП.

Два или несколько электрически или механически связанных между собой двигателя, при работе которых поддерживается заданное соотношение их скоростей, нагрузок или положение их подвижных частей, называются взаимосвязанным ЭП.

Если два или несколько двигателей работают на общий вал (механически связаны между собой), то такой взаимосвязанный ЭП называется многодвигательным.

Взаимосвязанный ЭП, обеспечивающий совместную работу двух или нескольких двигателей, валы которых не имеют непосредственной механической связи, а их взаимодействие обеспечивается электрической схемой, называется электрическим валом.

16.2. Электропривод с механическим дифференциалом.

Одним из видов взаимосвязанных ЭП являются двухдвигательные приводы с механическим дифференциалом, которые находят применение в металлургическом производстве, крановых механизмах, установках бурения нефтяных скважин, горных и строительных машинах.

В распространенной схеме ЭП с механическим дифференциалом (рис. 16.1) двигатели ***1*** и ***6*** приводят во вращение со скоростями ω_1 и ω_2 шестерни ***2*** и ***5***, по которым обкатываются шестерни ***4,*** называемые сателлитами.

Вращение сателлитов ***4*** приводит к вращению жестко связанной с ними выходной шестерни ***3,*** от которой движение через дополнительную шестерню ***8*** передается исполнительному органу 7 рабочей машины.

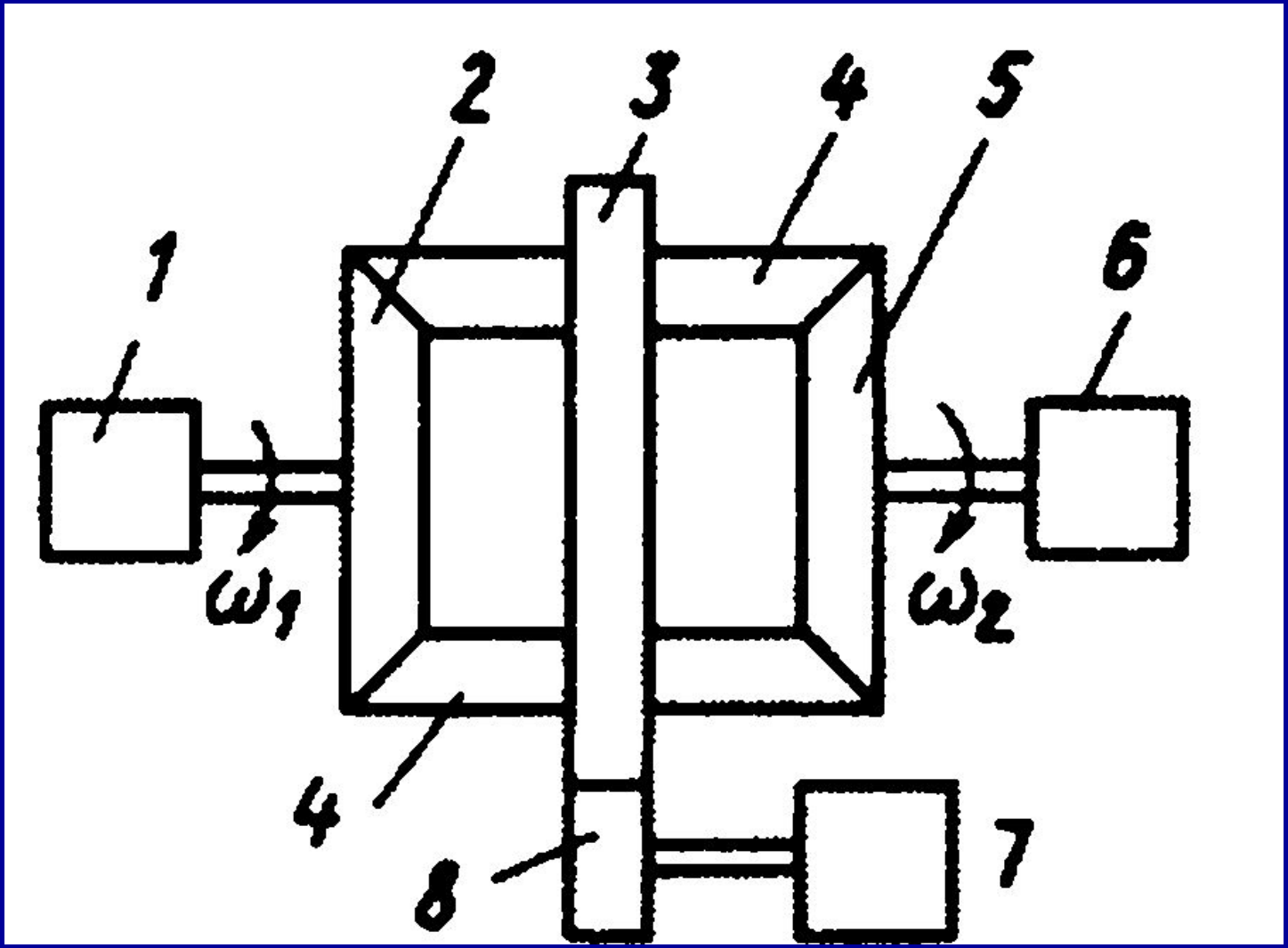


Рис.16.1. Схема электропривода с механическим дифференциалом

1 и 6 – электродвигатели

2 и 5 – шестерни

4 – шестерни – сателлиты.

3 – выходная шестерня

7 – исполнительный орган

8 – дополнительная шестерня

Движение исполнительного органа в общем случае может осуществляться либо от одного двигателя, либо от двух.

При работе одного из двигателей при неподвижном (заторможенном) другом приведенная схема будет соответствовать схеме обычного однодвигательного ЭП, в котором скорость выходной шестерни ***3*** будет определяться скоростью работающего (вращающегося) двигателя

В случае работы двух двигателей (основной режим) выходная скорость ЭП определяется значениями и направлением скоростей ω_1 и ω_2

При одинаковых диаметрах шестерен 2,5 и ***4*** скорость вращения сателлитов ***4*** относительно вертикальной оси определяется выражением

$$\omega_{cm} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$$

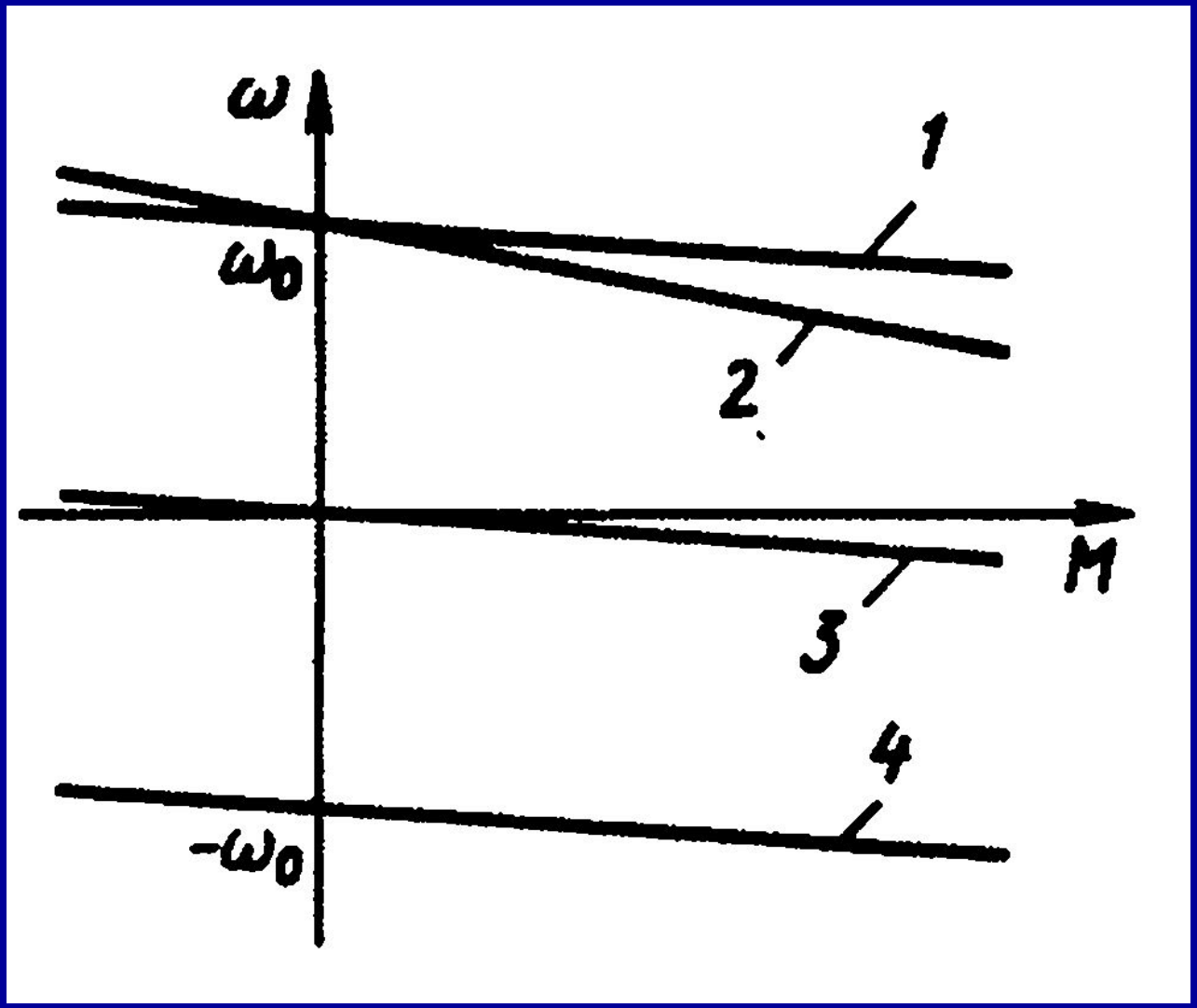
а угловая скорость шестерни ***3*** при этом

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$$

Если пренебречь потерями момента на преодоление сил трения в дифференциале, то момент на шестерне ***3*** определится суммой моментов двигателей ***1*** и ***6,*** равных по значению в установившемся режиме:

$$M = M_1 + M_2 = 2M$$

Для примера на рис. 16.2. показаны характеристики ЭП ***1*** и ***3*** при прямолинейных характеристиках двигателей.



В случае идентичности механических характеристик ***2*** обоих двигателей и одинаковом направлении их вращения характеристика ЭП ***1*** имеет вдвое более высокую жесткость по сравнению с характеристиками двигателей. При вращении одного из двигателей в противоположном направлении (характеристика ***4)*** ЭП будет иметь характеристику ***3,*** являющуюся характеристикой динамического торможения. Используя другие искусственные характеристики двигателей, можно формировать различные искусственные характеристики ЭП с дифференциалом.

Занятие 17(2 часа) Электропривод с электрическим валом

17.1. Общие положения.

В ряде случаев между отдельными механизмами одного и того же агрегата, требующими согласованного движения и расположенными на значительном расстоянии, трудно осуществить механическую связь .

Иногда конструктивно производственный механизм такой, что механическая передача движения его рабочим органам становится практически невозможной.

Взамен громоздкой механической передачи может быть использована электрическая передача для согласованного вращения отдельных механизмов, которую называют электрическим валом.

Помимо упрощения кинематической схемы механизма электрический вал упрощает управление механизмом.

Электрический вал находит применение для привода таких механизмов, как разводные мосты, затворы шлюзов, мостовые краны, крупные токарные станки и т. п.

Можно выделить три основные схемы:

1) с уравнительными машинами, или уравнительный электрический вал;

2) с основными рабочими машинами и общими резисторами — рабочий электрический вал;

3) с асинхронным преобразователем частоты — дистанционный электрический вал.

17.2. Система электрического вала с уравнительными асинхронными машинами.

Принципиальная схема электрического вала с уравнительными асинхронными машинами приведена на рис. 17.1.

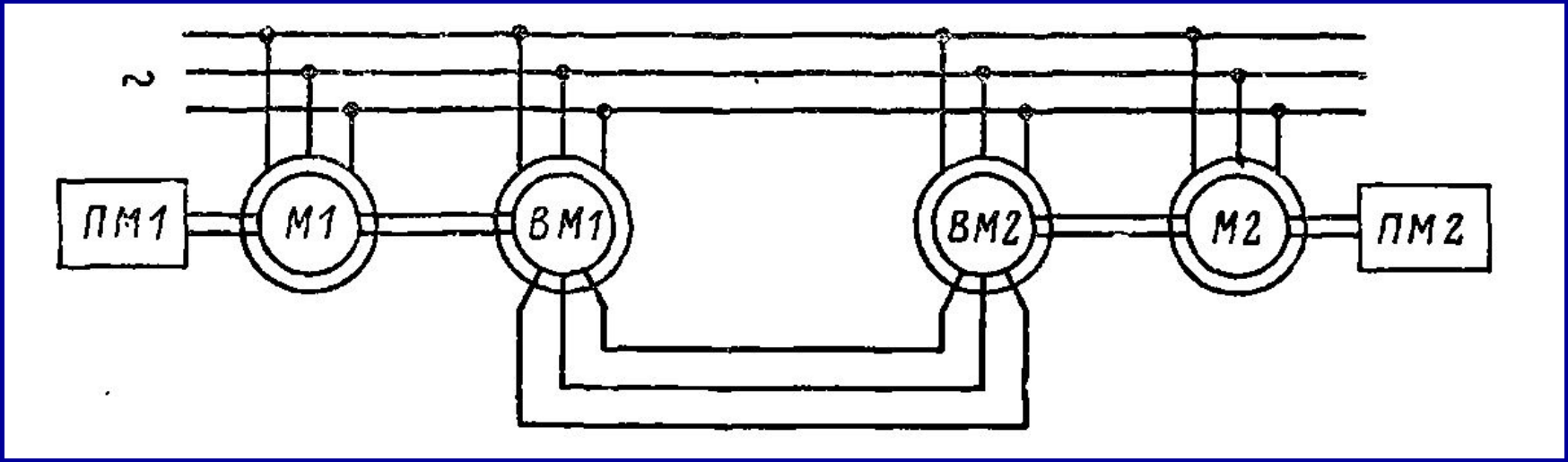


Рис. 17.1.Принципиальная схема электрического вала с уравнительными асинхронными машинами.

Каждый элемент привода состоит из основного (рабочего) двигателя *М1 (М2)*, механически связанного с производственным механизмом *ПМ1 (ПМ2),* а также со вспомогательной уравнительной машиной *ВМ1 (ВМ2)*.

Уравнительные машины — это обычные асинхронные двигатели с фазным ротором с одинаковыми числом фаз, напряжением, обмотками и числом полюсов; статорные обмотки их параллельно присоединяются к сети переменного тока, роторные соединяются между собой.

При одинаковом относительном положении обмоток статора и ротора в обмотках ротора будут наводиться равные по амплитуде и совпадающие по фазе ЭДС.

Поворот ротора одной из машин на определенный угол ϑ, вызовет под влиянием разности ЭДС уравнительный ток , который, взаимодействуя с магнитными полями

статора одной и другой машин, создаст вращающие моменты, стремящиеся повернуть ротор в исходное положение.

Одна из уравнительных машин развивает положительный момент, т. е. работает в двигательном режиме, тогда как другая развивает отрицательный момент, работая в генераторном режиме.

Синхронизирующий момент поддерживает согласованное вращение за счет передачи вращающего момента от одной машины к другой.

В рассмотренной системе электрического вала уравнительные машины могут развивать асинхронный момент только при $\vartheta \neq 0$ и различных нагрузках на валах отдельных элементов системы;

Основной ее особенностью является образование синхронизирующего момента, обеспечивающего согласованное вращение валов уравнительных машин.

17.3. Схема с основными рабочими машинами и общими резисторами — рабочий электрический вал.

Вместо двух уравнительных машин можно создать такую систему, в которой одна и та же машина выполняла бы задачу приводного двигателя и синхронизирующего устройства. Такой является система электрического вала, состоящая из двух одинаковых асинхронных машин с фазными роторами, статорные цепи которых подключены параллельно к питающей сети, а роторные обмотки соединены встречно и параллельно этим соединениям включены во все три фазы регулируемые резисторы. Иногда эту систему называют рабочим электрическим валом потому, что в ней одна и та же машина выполняет рабочую и синхронизирующую функции.

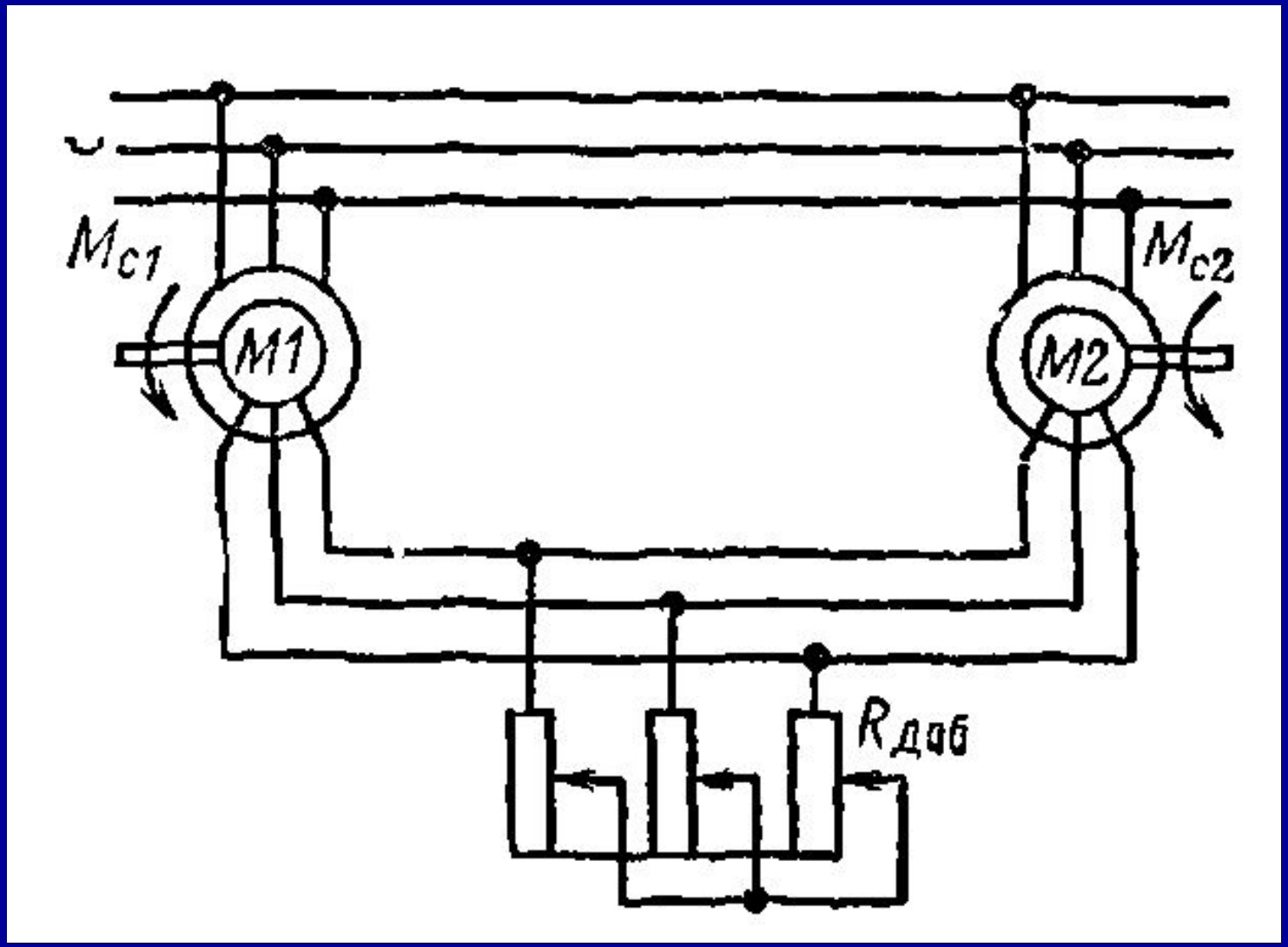


Рис.17.2. Схема с основными рабочими машинами и общими резисторами

Влияние регулируемых добавочных резисторов весьма существенно;

при $R_{доб} = 0$ электрический вал превращается в обычные, независимо работающие асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Если $R_{доб} = \infty$, электрические машины работают в режиме передачи угла поворота ротора.

При $R_{доб} > 0$, если нагрузки на валах машин окажутся разными, то уравнительный момент будет разгружать машину с большей нагрузкой и подгружать менее нагруженную машину.

17.4.Дистанционный электрический вал.

Для обеспечения согласованной работы вспомогательного привода с главным приводом приобрел особо важное значение дистанционный электрический вал.

Например, для точного нарезания резьбы в токарных станках часто требуется, чтобы скорость подачи резца (суппорта) находилась в постоянном соответствии с угловой скоростью главного привода, вращающего обрабатываемую деталь.

Так как мощности главного привода и привода суппорта сильно различаются, то вся необходимая для перемещения суппорта мощность передается через дистанционный электрический вал.

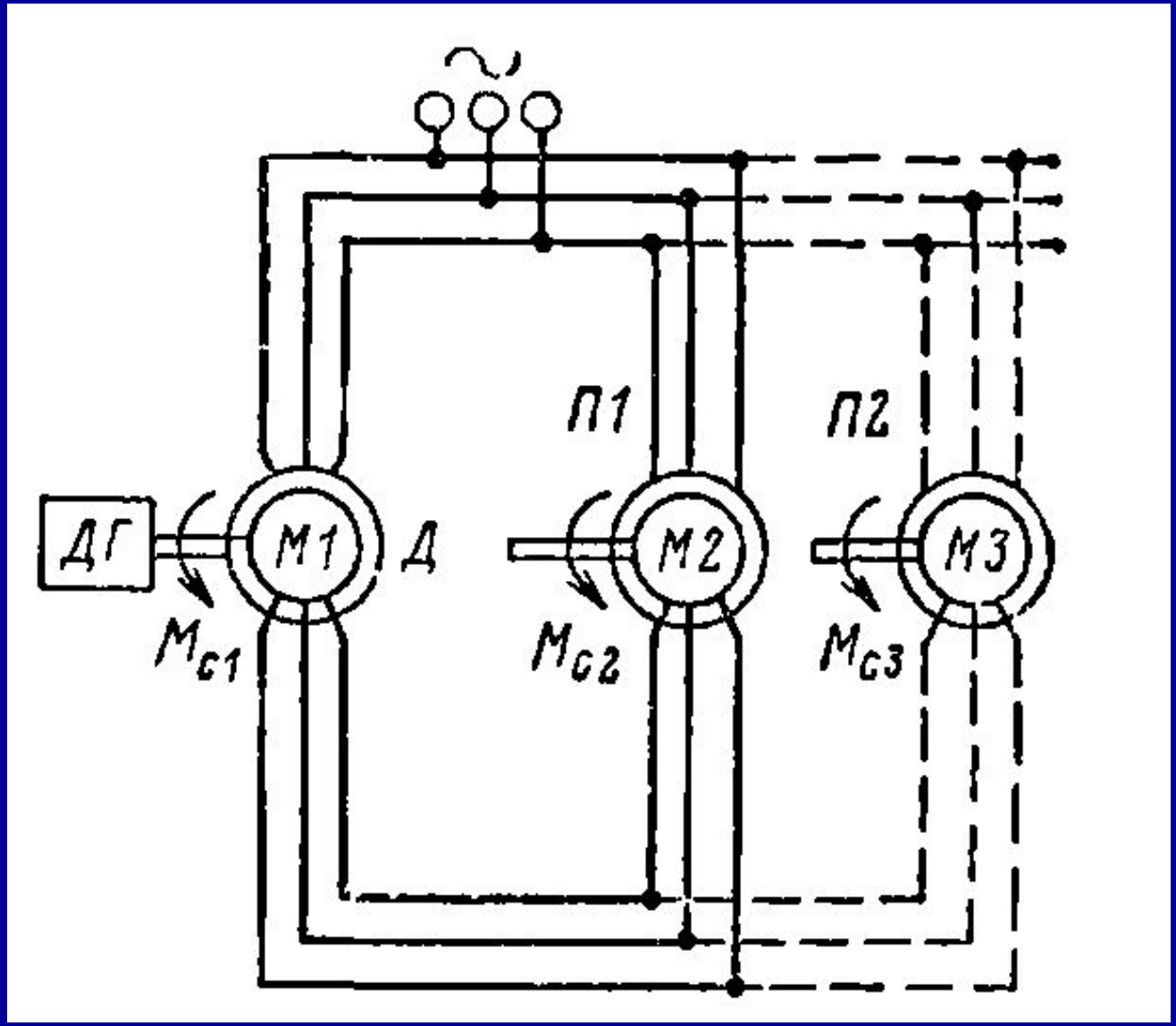


Рис. 17.3. Система «Дистанционный электрический вал.»

На рис.17.3. представлена схема дистанционного электрического вала.

Одна из машин *М1* вала (датчик *Д)*— соединена с главным приводным двигателем *ДГ,* а другая *М2* (приемник *П1)* — соединена с производственным механизмом (*Мс2*).

К одному датчику могут быть присоединены два приемника и больше с различными нагрузками. Датчик получает необходимую мощность в основном от главного привода.

Приемник как двигатель вращает нагрузку Мс2. Датчик работает в режиме асинхронного преобразователя частоты, а приемник как машина двойного питания — в синхронном режиме.

Тема 8. Энергетика электропривода

Занятие 18(2 часа)
Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности электропривода

Основное назначение электропривода – преобразовывать электрическую энергию в механическую и управлять этим процессом.

В связи с этим энергетические показатели и характеристики электропривода имеют первостепенное значение, тем более, что электропривод потребляет около 60-65% электроэнергии, производимой в стране.

Любой процесс передачи и преобразования энергии сопровождается ее потерями, т.е. входная мощность $P_{вх}$ всегда больше выходной $P_{вых}$ на величину потерь ΔP, и очень важно, сколь велики эти потери.

Энергетическую эффективность процесса в данный момент обычно оценивают посредством коэффициента полезного действия (КПД), определяемого как

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \frac{P_{вых}}{P_{вых} + \Delta P} = \frac{P_{вх} - \Delta P}{P_{вх}} = 1 - \frac{\Delta P}{P_{вх}}.$$

Важными энергетическими характеристиками изделия – двигателя, преобразователя, редуктора или электропривода в целом – служит номинальный КПД

$$\eta_н = \frac{P_н}{P_н + \Delta P_н},$$

Где: *Рн*, *ΔРн* – номинальная выходная мощность и номинальные потери,

В случаях, когда в линии, питающей электропривод, напряжение и ток не совпадают по фазе и имеют несинусоидальную форму, используется еще одна энергетическая характеристика – коэффициент мощности, определяемый как

$$\chi = \frac{P}{UI} = \nu \cos \varphi_{(1)},$$

где P – активная мощность;

$\nu = I/I_{(1)}$ – коэффициент искажений;

$U, I, I_{(1)}$ – действующие значения напряжения, тока, первой гармоники тока;

$\phi_{(1)}$ – угол сдвига между первыми гармониками напряжения и тока.

При небольших искажениях $\nu \approx 1$, т.е.

$$\chi \approx \cos\phi$$

При передаче по линии с некоторым активным сопротивлением $R_л$ активной мощности P

при $\cos\phi \neq 1$ потери $\Delta P_{\sim}$ вырастут в сравнении с потерями при передачи той же мощности постоянным током $\Delta P_{=}$ в отношении

$$\frac{\Delta P_{\sim}}{\Delta P_{=}} = \frac{1}{\cos^2 \varphi}.$$

Тема 9. Выбор и проверка двигателей для электропривода

Занятие 19(2 часа)
Расчет мощности и выбор двигателей

19.1. Общие положения

Основным требованием при выборе электродвигателя является его соответствие условиям технологического процесса рабочей машины.

Выбор электродвигателя производится обычно следующим образом:

- рассчитывается требуемая мощность,
- по справочнику выбирается необходимый двигатель
- выбранный двигатель проверяется по условиям пуска, перегрузке и нагреву.

Если двигатель удовлетворяет условиям проверки, то на этом выбор заканчивается, если же не удовлетворяет, то выбирается другой двигатель (как правило, большей мощности) и проверка повторяется.

Мощность двигателя для электроустановок в зависимости от их принципа действия и функциональных особенностей рассчитывается по разным формулам.

19.2. Расчет мощности электродвигателей для насосов:

Рассчитываем мощность электродвигателя по формуле:

$$P = \frac{k_з \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_н \cdot \eta_п}$$

Где: P - мощность электро

$к_з$=1,1....1,4 - коэффициент запаса по мощности

γ = 9810 - плотность прокачиваемой жидкости. (Н/м^3)

Q- производительность насоса (м^3/с)

H - напор насоса (м)

$\eta_н$ = 0,3...0,7 -кпд насоса

$\eta_п$ = 1 - кпд передачи "насос-двигатель" (при закреплении насоса на валу двигателя)

19.3. Расчет мощности электродвигателей для металлообрабатывающих станков

Вычисляем мощность электродвигателя по формуле:

$$P = \frac{F_c \cdot g \cdot U_p}{1000 \cdot \eta_c}$$

Где: P - мощность электродвигателя (кВт)

F_c - удельное сопротивление резанью (Н/м)

g - сечение стружки ($м^2$)

U_p - скорость резанья (м/с)

η_c = 0,6...0,7 - кпд станка

примечание: F_c = 2,5...5,5 $F_{разр}$.

$F_{разр}$ - сопротивление разрыва (Н/м)

для стали: $F_{разр} = (300...1200) \cdot 10^6$ (Н/м)

19.4. Расчет мощности электродвигателей для грузоподъемных механизмов:

Рассчитываем мощность электродвигателя по формуле:

$$P = \frac{k_з \cdot H \cdot Q}{1000 \cdot \eta_м}$$

Где:

P - мощность электродвигателя (кВт)

$К_з$ = 1,2...1,5 – коэффициент запаса по мощности

H - высота подъема груза (м)

Q - производительность машины (Н/м)

$\eta_м$ =0,3...0,45 - кпд машины

19.5. Расчет мощности электродвигателей для вентиляторов:

Рассчитаем мощность электродвигателя по формуле:

$$P = \frac{k_з \cdot H \cdot Q}{1000 \cdot \eta_в \cdot \eta_п}$$

Где:

P - мощность электродвигателя (кВт)

$К_з$ = 1,2...1,5 - коэф. запаса по мощности

Q - производительность вентилятора (м3/с)

H - давление (Па)

$\eta_в$ = 0,4...0,7 - кпд вентилятора

$\eta_п$ = 0,92...0,94 - кпд передачи

Определив мощность двигателя и зная требования, предъявляемые к конструкции электроустановки по справочнику электрических машин определяем тип, серию и конструктивное исполнение электрического двигателя.

Тема 10. Разомкнутые схемы управления электропривода

Занятие 20(2 часа)
Электрические аппараты ручного и дистанционного управления

20.1. Общее описание разомкнутых схем управления электроприводом.

К разомкнутым относятся электрические схемы, в которых для управления ЭП не используются обратные связи по его координатам или технологическим параметрам приводимых в движение рабочей машины или производственного механизма.

Эти схемы, отличаясь простотой своей реализации, широко применяются там, где не требуется высокое качество управления движением ЭП, например, для пуска, реверса и торможения двигателей.

Разомкнутые схемы, осуществляя управление ЭП, обеспечивают и защиту самого ЭП, питающей сети и технологического обору дования при возникновении различных ненормальных режимов работы - коротких замыканий, перегрузок двигателей, исчезновения питающего напряжения или обрыва фазы питающей сети и др.

Для такой защиты применяются соответствующие аппараты и устройства, находящиеся во взаимодействии с устройствами управления двигателями.

В разомкнутых схемах управления главным образом используется релейно-контакторная аппаратура, в состав которой входят командные маломощные аппараты, силовые коммутационные аппараты с ручным и дистанционным управлением, а также реле управления и защиты.

20.2. Электрические аппараты ручного управления.

К аппаратам ручного управления относятся:

- командные маломощные устройства - кнопки и ключи управления,
- командоаппараты и силовые коммутационные аппараты (рубильники, пакетные выключатели и силовые контроллеры).

Кнопки управления предназначены для подачи оператором управляющего воздействия на ЭП.

Они различаются

- по размерам -нормальные и малогабаритные,
- по числу замыкающих и размыкающих контактов,
- по форме толкателя.

Две, три или более кнопок, смонтированных в одном корпусе, образуют кнопочную станцию.

Выпускаются кнопки серий КУ 120 и КЕ, предназначенные для работы в цепях переменного тока с напряжением до 500 В и постоянного тока с напряжением до 220 В и токами до 4 А.

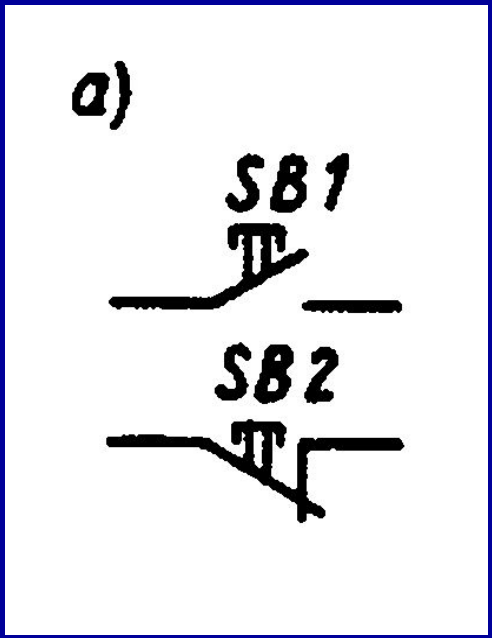


Рис. 20.1. Обозначение контактов кнопок

Рис.20.2. Кнопки управления и кнопочные станции

Ключи управления (универсальные переключатели) предназначены для подачи управляющего воздействия на ЭП и имеют два или более фиксированных положений рукоятки и несколько замыкающих и размыкающих контактов .

В среднем положении рукоятки (позиция 0) замкнут контакт *SM1,* что обозначается точкой на схеме, а контакты *SM2* и *SM3* разомкнуты.

В положении *1* рукоятки замыкается контакт *SM2* и размыкается *SM1*

Число контактов ключей и диаграмма их работы могут быть самыми различными.

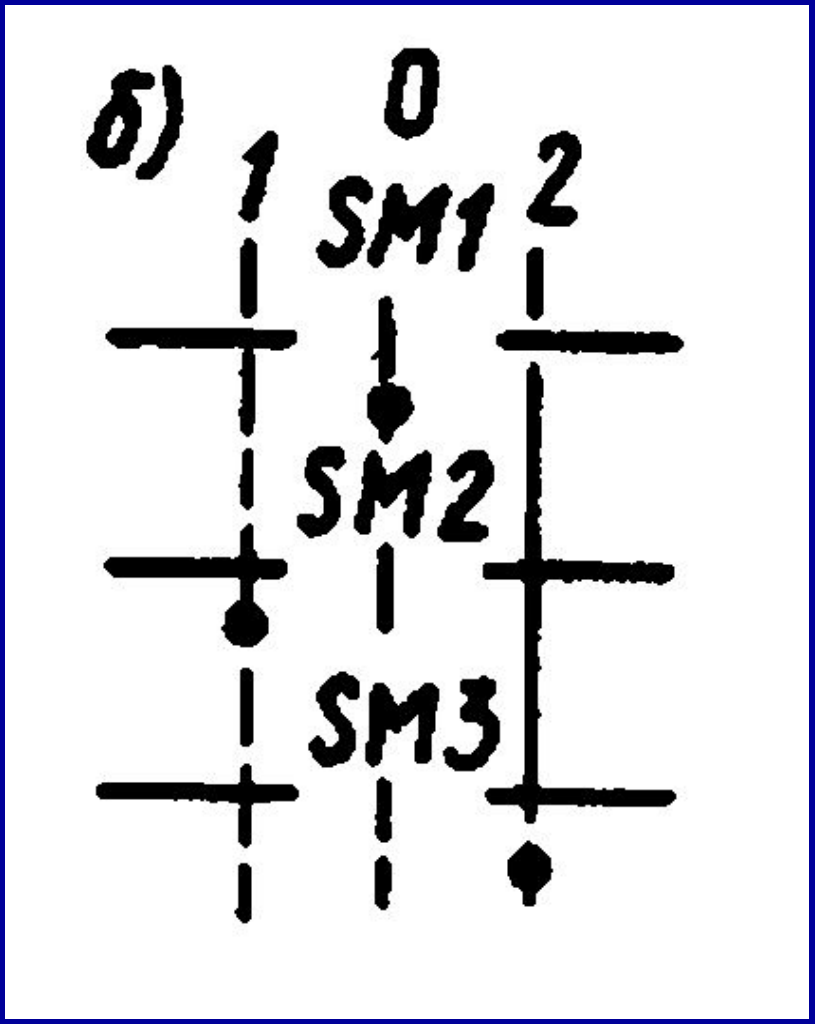


Рис. 20.3. Обозначение контактов ключа управления

Рис. 20.4. Ключи и переключатели

Командоконтролллеры (командоаппараты) служат для коммутаций нескольких маломощных (ток нагрузки до 16 А) электрических цепей. Эти аппараты, имеющие ручное управление от рукоятки или педали с несколькими положениями, находят широкое применение в схемах управления ЭП крановых механизмов, металлургического оборудования, на транспорте.

Командоаппараты классифицируются

- по числу коммутируемых цепей,
- по виду привода контактной системы,
- по числу рабочих положений рукоятки (педали),
- по диаграммам включения и выключения контактов.

Их электрическая схема изображается аналогично схеме ключей управления и переключателей

Рис. 20.5. Командноконтроллеры

Рубильники - это простейшие силовые коммутационные аппараты, которые в основном предназначены для неавтоматического нечастого замыкания и размыкания силовых электрических цепей двигателей постоянного и переменного тока напряжением до 500 В и током до 5000 А.

Они различаются:

- по силе коммутируемого тока,
- по числу полюсов (коммутируемых цепей),
- по виду привода рукоятки
- по числу положений рукоятки (два или три).

Рис. 20.6. Рубильники

Пакетные выключатели - это разновидность рубильников.

Их контактная система набирается из отдельных пакетов по числу полюсов (коммутируемых цепей).

Пакет состоит из изолятора, в пазах которого находятся неподвижный контакт с винтовыми зажимами для подключения проводов и пружинный подвижный контакт с устройством искрогашения.

Рис. 20.7. Пакетные выключатели.

Контроллеры - это многопозиционные электрические аппараты с ручным или ножным приводом для непосредственной коммутации силовых цепей двигателей постоянного и переменного тока.

В ЭП используются контроллеры двух видов:

- кулачковые
- магнитные.

В кулачковых контроллерах размыкание и замыкание контактов обеспечивается смонтированными на барабане кулачками, поворот которых осуществляется с помощью рукоятки, маховичка или педали.

За счет профилирования кулачков обеспечивается необходимая последовательность коммутации контактных элементов.

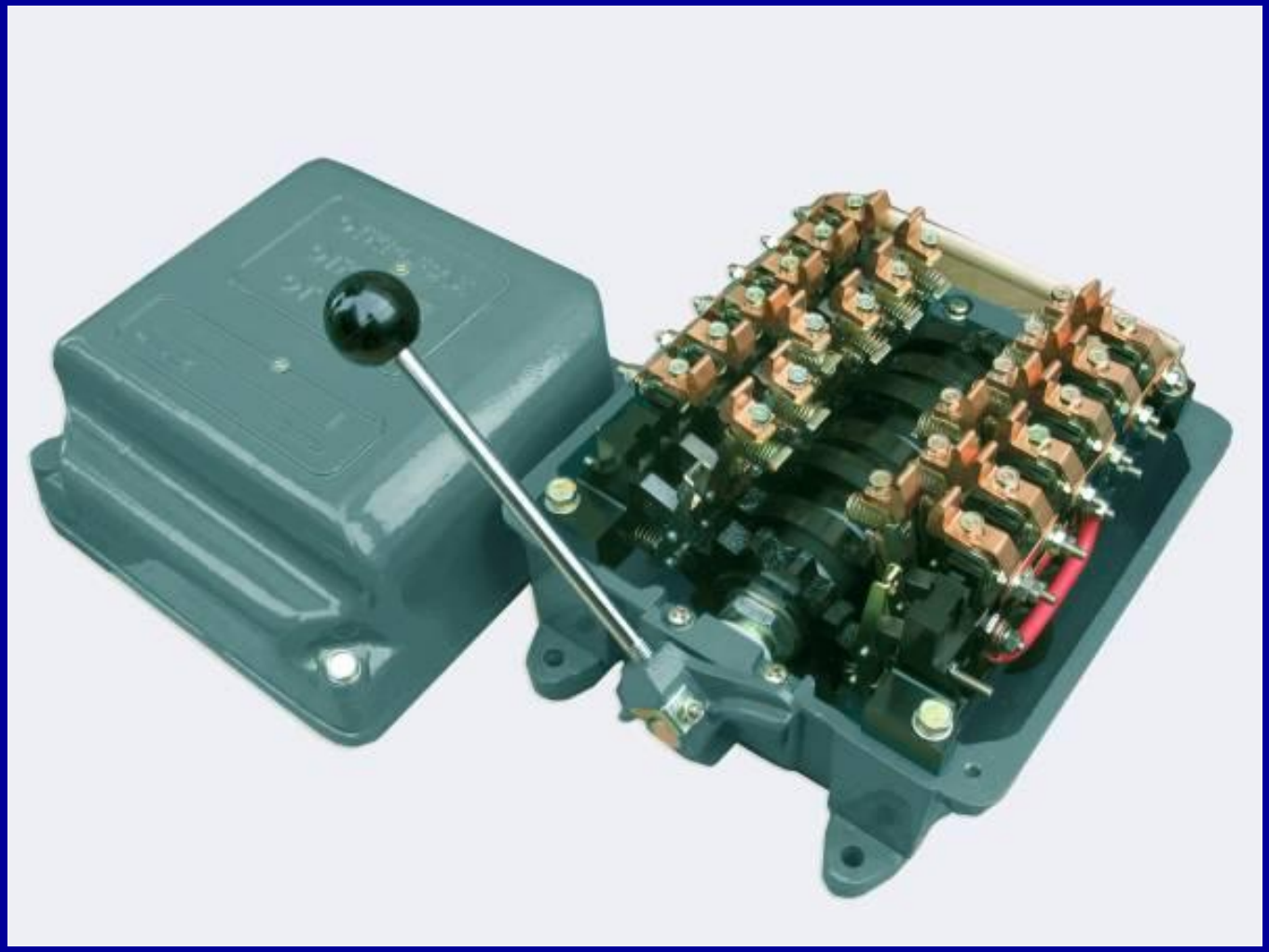


Рис.20.8. Кулачковый контроллер

Магнитные контроллеры представляют собой коммутационные устройства, в состав которых входят командоконтроллер и силовые электромагнитные аппараты - контакторы. Командоконтроллер с помощью своих контактов управляет катушками контакторов, которые в свою очередь осуществляют коммутацию силовых цепей двигателей. Применение такого контроллера вместо кулачкового позволяет повысить степень автоматизации ЭП, а следовательно, и производительность рабочей машины или механизма, и улучшить условия труда оператора.

Рис.20.9. Промышленный программируемый контроллер

20.3. Электрические аппараты дистанционного управления.

К аппаратам дистанционного управления относятся:

- контакторы,
- магнитные пускатели и реле,

Коммутация контактов контакторов и магнитных пускателей осуществляется при подаче на их катушки электрического сигнала (напряжения или тока) и снятии этого сигнала..

Контактор

представляет собой электромагнитный аппарат, предназначенный для частых дистанционных коммутаций силовых цепей двигателей.

Контакторы различаются

- по роду тока коммутируемой цепи,
- числу главных контактов
- роду тока цепи катушки
- номинальным току и напряжению коммутируемых цепей,
- конструктивному исполнению и другим признакам.

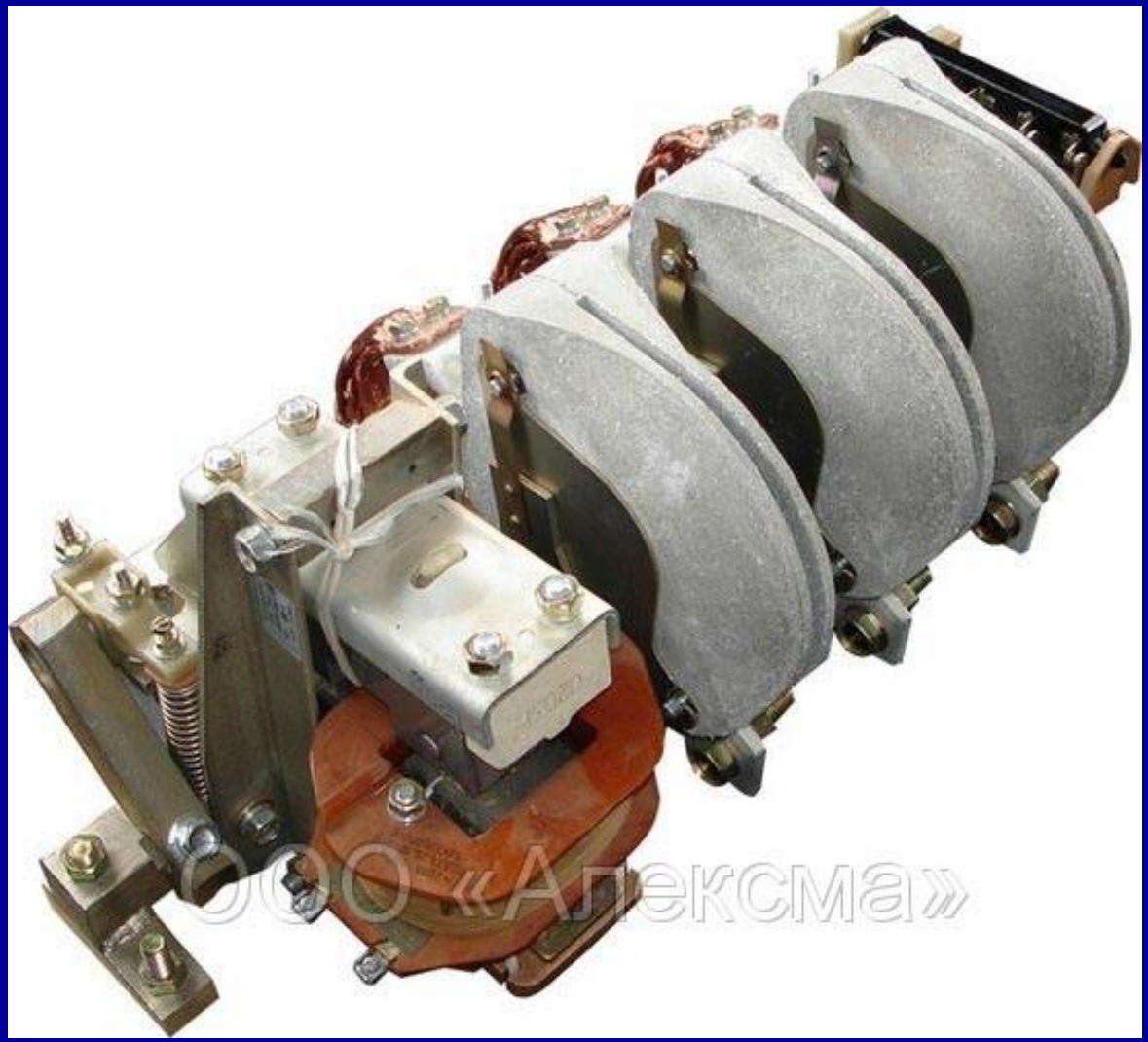
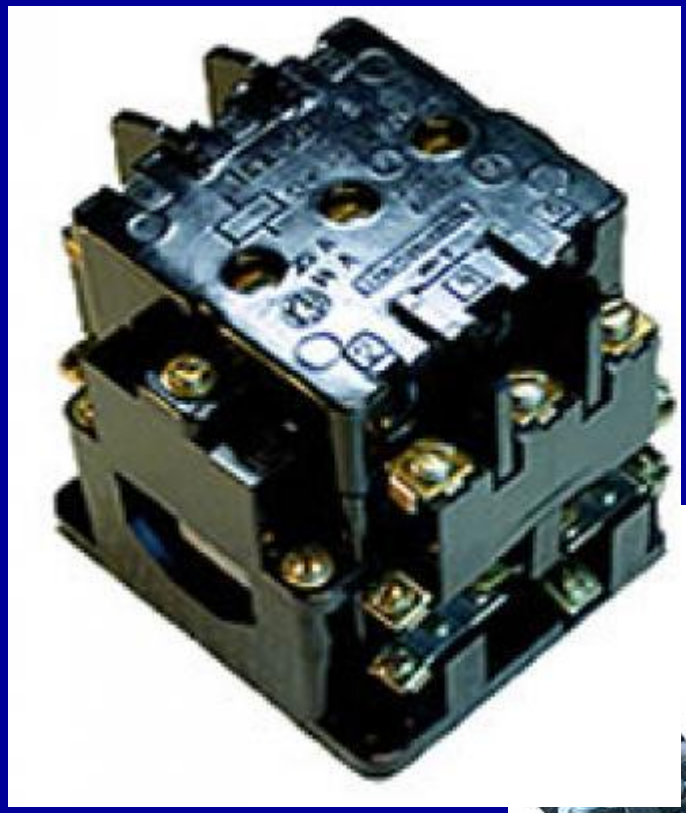


Рис.20.10. Контактор

Магнитный пускатель представляет собой аппарат, предназначенный для управления трехфазными асинхронными двигателями, т. е. для их подключения к сети, отключения, обеспечения тепловой защиты и сигнализации о режимах работы.

В соответствии с функциями пускателя в него могут входить контактор, кнопки управления, тепловые реле защиты, сигнальные лампы, размещаемые в одном корпусе.

Магнитные пускатели различаются по назначению (нереверсивные и реверсивные), наличию или отсутствию тепловых реле и кнопок управления, степени защиты от воздействия окружающей среды, уровням коммутируемых токов, рабочему напряжению главной цепи.



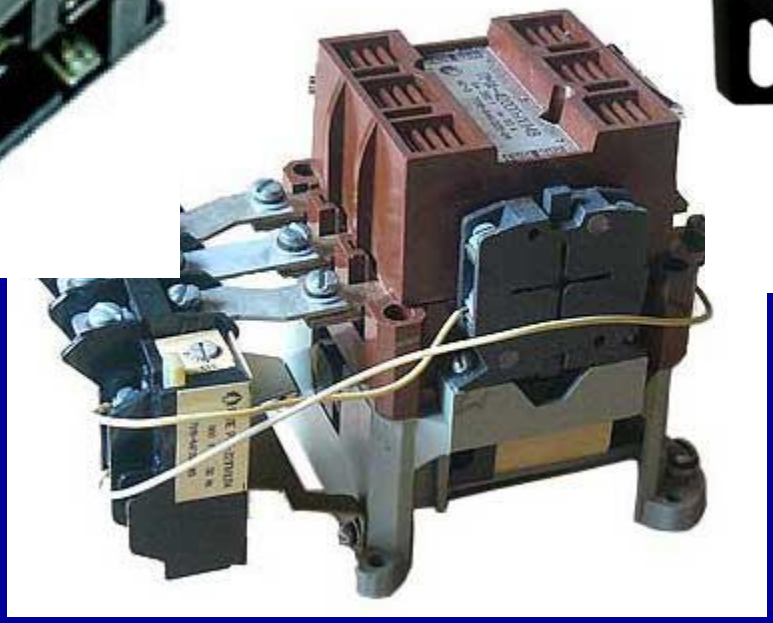
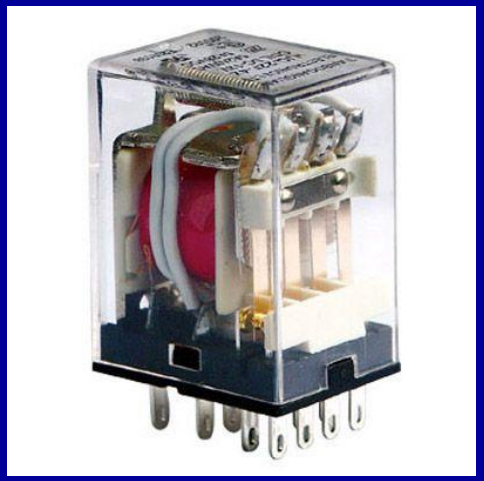
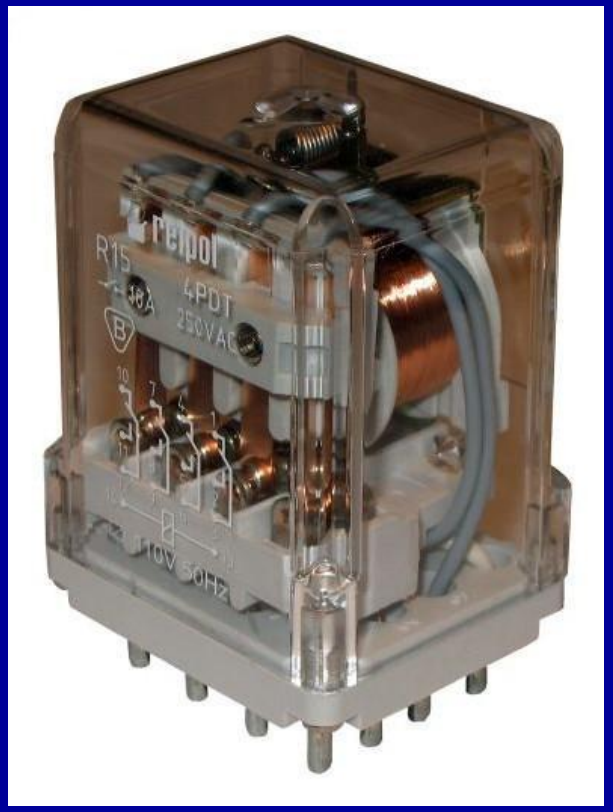


Рис.20.11. Магнитные пускатели

Электромагнитное реле представляет собой аппарат, предназначенный для коммутации слаботочных цепей управления ЭП в соответствии с электрическим сигналом, подаваемым на его катушку.

Область применения реле очень широкая. Они используются в качестве датчиков тока и напряжения, а также как промежуточные элементы для передачи команд из одной цепи в другую и размножения сигналов, как датчики времени, выходные элементы различных датчиков координат ЭП и датчики технологических параметров рабочих машин и механизмов.





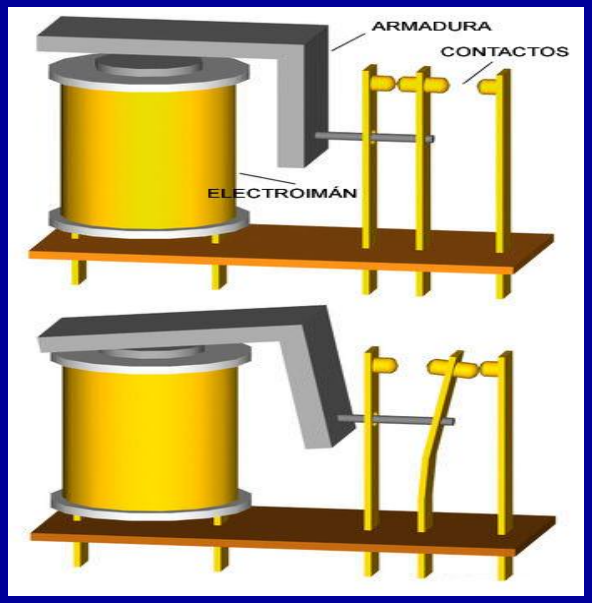


Рис.20.12. Электромагнитные реле.

Занятие 21(2 часа) Схемы управления двигателями производственных механизмов.

Каждый многодвигательный автоматизированный электропривод имеет механические и электрические блокировки, необходимые для осуществления заданной взаимосвязи отдельных узлов механизма или различных механизмов и обеспечения высокой надежности работы.

В схемах управления двигателями широко применяется электрическая блокировка, которая обеспечивает требуемую по условиям технологии и техники безопасности последовательность пуска нескольких двигателей.

Пример управления двигателями ленточного транспортера.

В ленточных транспортерах лента из прорезиненной хлопчатобумажной ткани или тонкая стальная лента натянута между двумя барабанами, из которых один вращается приводным двигателем , а другой служит для натяжения ленты.

Рама ленточного транспортера может с помощью электродвигателя наклоняться на некоторый угол, обеспечивая транспортировку грузов в высоту относительно уровня установки транспортера

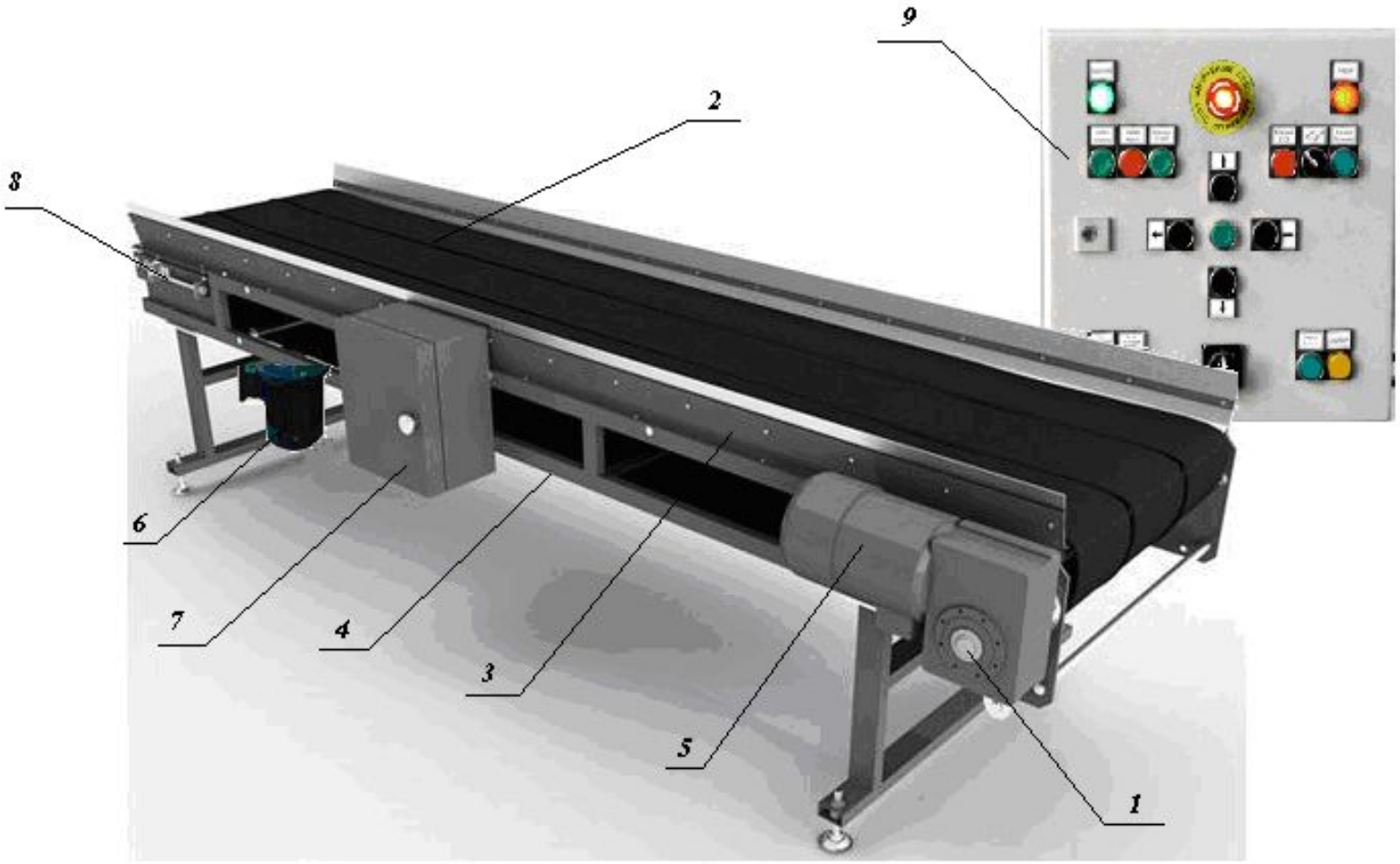


Рис. Ленточный конвейер с управляемым наклоном рамы

В состав ленточного конвейера входят следующие конструктивные элементы:

1. направляющие барабаны;
2. грузонесущая лента;
3. подвижная рама;
4. основание конвейера;
5. электродвигатель перемещения ленты;
6. электродвигатель наклона рамы;
7. шкаф с пуско-регулирующей аппаратурой;
8. фиксатор подвижной рамы;
9. пульт управления;

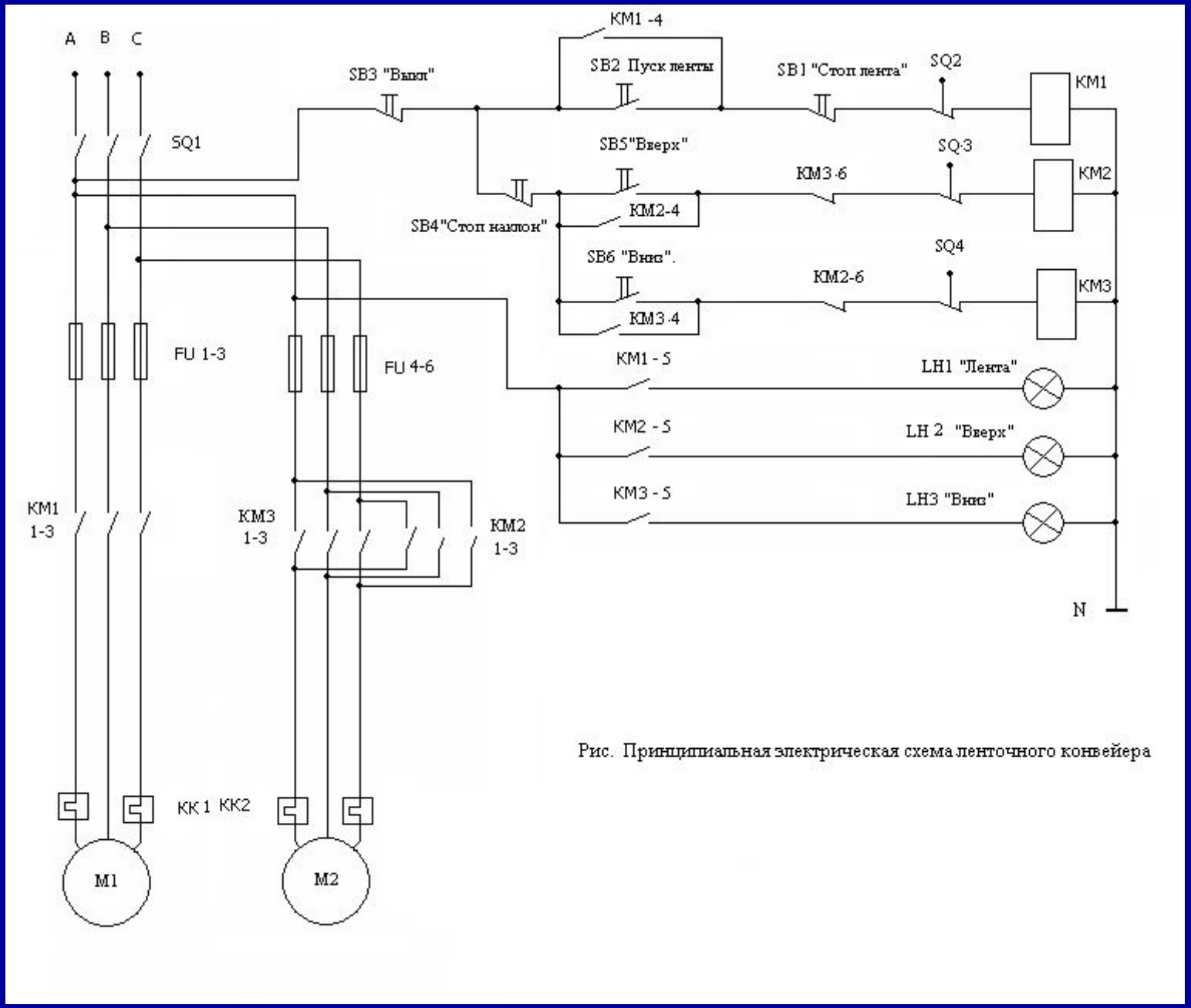


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

21.1.Состав электросхемы.

Электрическая схема ленточного транспортера включает следующие элементы:

- Электродвигатель **М1** - двигатель перемещения ленты.
- Электродвигатель **М2** - двигатель наклона рамы.
- Сетевой выключатель **SQ1;**
- Магнитные пускатели **КМ1,КМ2** и **КМ3;**
- Кнопки **SB1"Стоп лента", SB2 "Пуск ленты", SB3" Выкл" SB4"Стоп наклон", SB5"Вверх", SB6"Вниз"**
- Тепловые реле **КК1**, **КК2;**
- Конечный выключатель **SQ2, SQ3;SQ4.**
- Предохранители **FU1 - FU6**,
- Сигнальные лампы **LH1 "Лента", LH2"Вверх"; LH3" Вниз"**

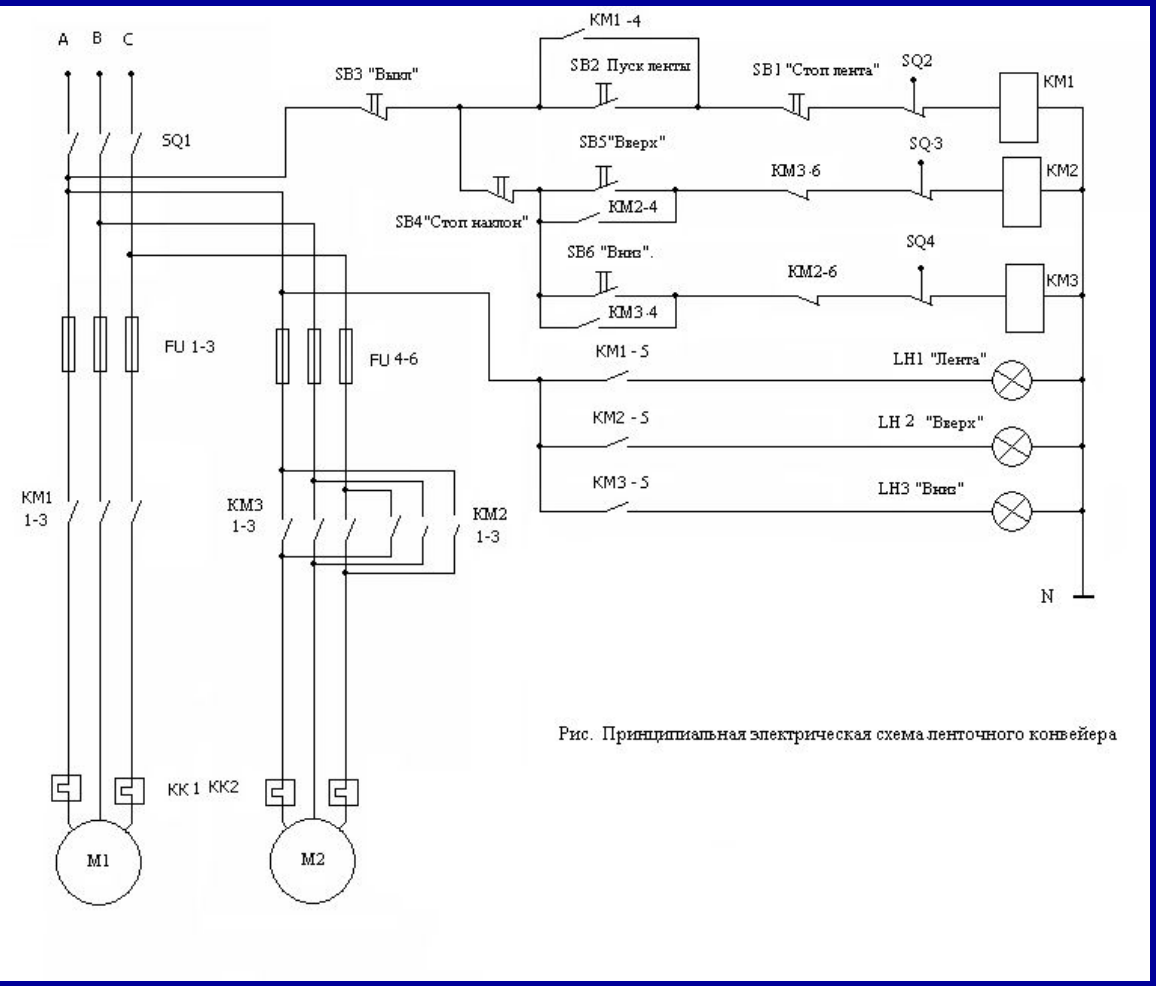


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

21.2.Работа электросхемы.

При отключенном электрооборудовании ленточного транспортера и отсутствии материала на ленте концевые выключатели перегрузки и пределов наклона находятся в следующих положениях: конечный выключатель **SQ2** замкнут, конечный выключатель **SQ3** замкнут, конечный выключатель **SQ4** разомкнут.

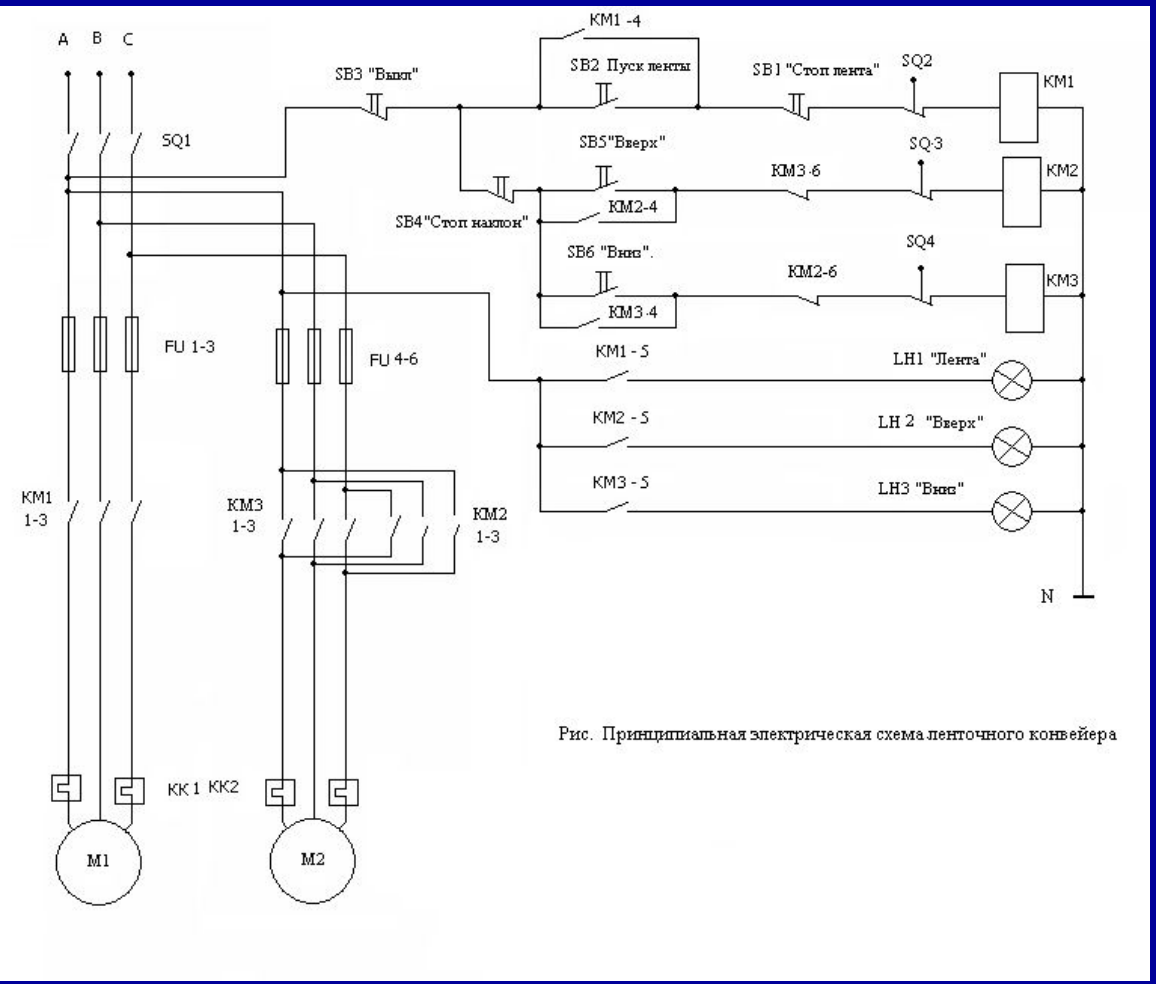


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

Для включения транспортера необходимо включить сетевой выключатель **SQ1 "Сеть" .** При этом трехфазное напряжение подается на разомкнутые силовые контакты магнитных пускателей **КМ1,КМ2,КМ3,** а с фазы **А** - на схему управления конвейером.

Для запуска ленты транспортера необходимо нажать на кнопку **SB2 "Пуск ленты".** При этом срабатывает катушка магнитного пускателя **КМ1.** В силовой цепи замыкаются контакты **КМ1 (1-3)** и напряжение поступает на двигатель питателя.

Он начинает вращать вал ленточного транспортера и падающий на ленту сыпучий материал перемещается в зону работ. это нормальный режим работы транспортера. Однако, если подача сыпучего груза будет велика или на ленту попадет тяжелый кусок породы, то под действием предельной массы материала сработает конечный выключатель **SQ2.** При его срабатывании размыкаются его контакты **SQ2** в цепи питания катушки магнитного пускателя **КМ1 .** Катушка обесточивается и размыкает контакты **КМ1 (1-3)** в силовой цепи. Двигатель привода ленты останавливается.

Этот момент является аварийным, так как грозит перегрузкой транспортера и его опрокидыванием.

В случае возникновения такой ситуации необходимо вручную разгрузить ленту транспортера.

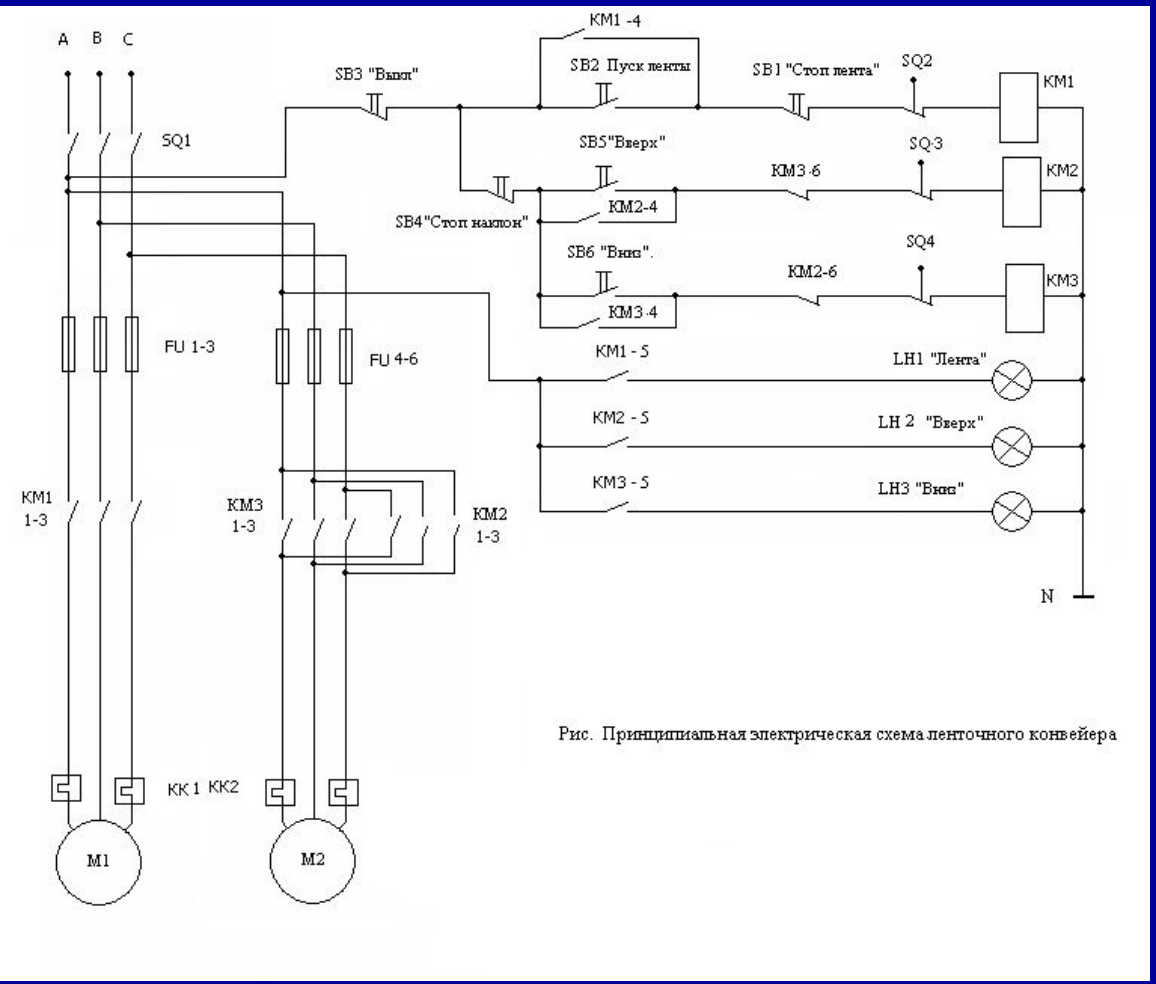


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

По мере расходования материала на ленте, его масса уменьшается и в какой-то момент сработает конечный выключатель **SQ2** . Это вновь приведет к возникновению возможности включения магнитного пускателя **КМ1** кнопкой **SB2"Пуск ленты"** и запуску двигателя привода ленты.

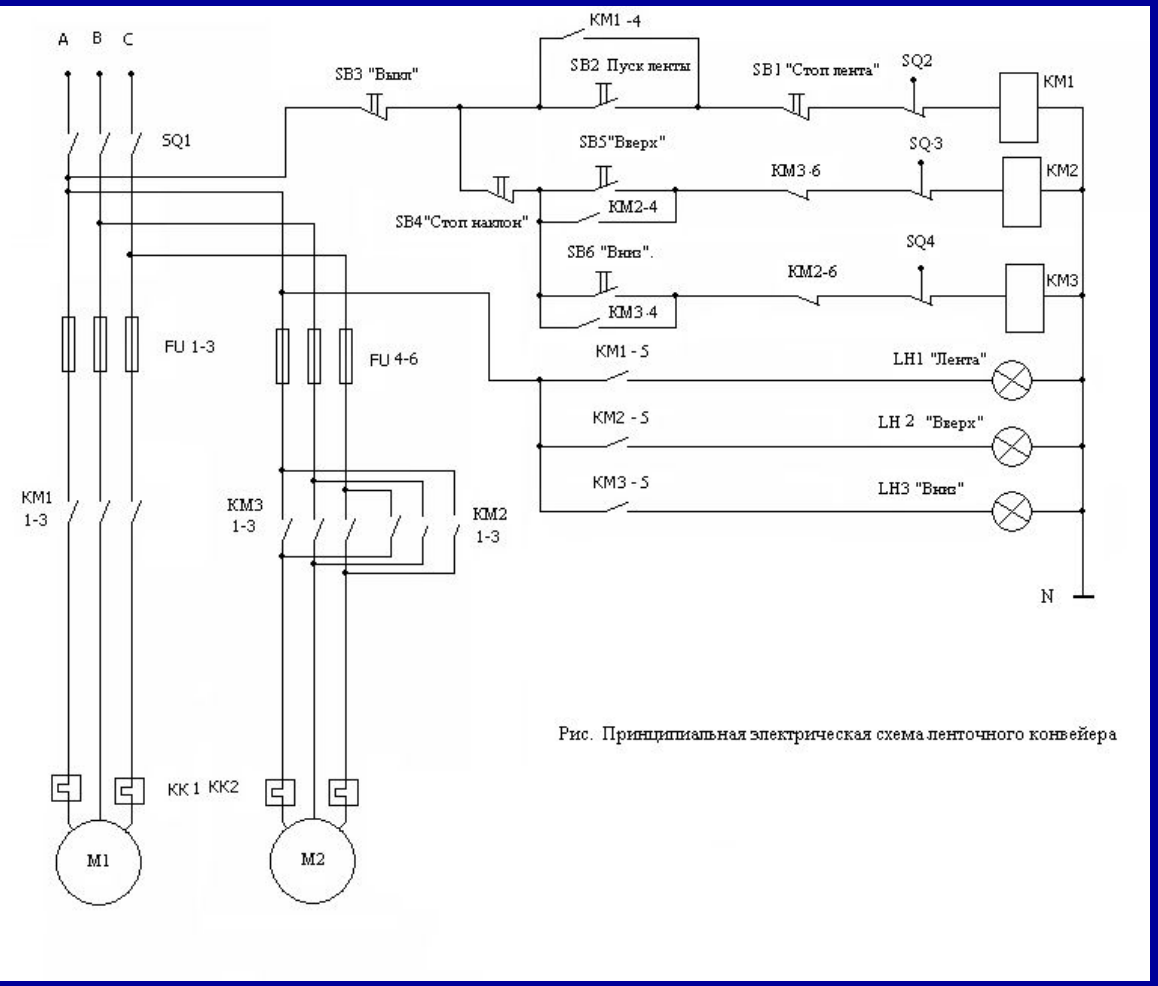


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

Одновременно в схеме управления происходят следующие переключения:

- замыкается контакт **КМ1-5,** загорается сигнальная лампочка **LH1 "Лента",** сигнализируя оператору ленточного транспортера о включении двигателя привода ленты;

- замыкается контакт **КМ1-4** и блокирует кнопку **SB2" Пуск ленты"**. Теперь ее можно отпустить;

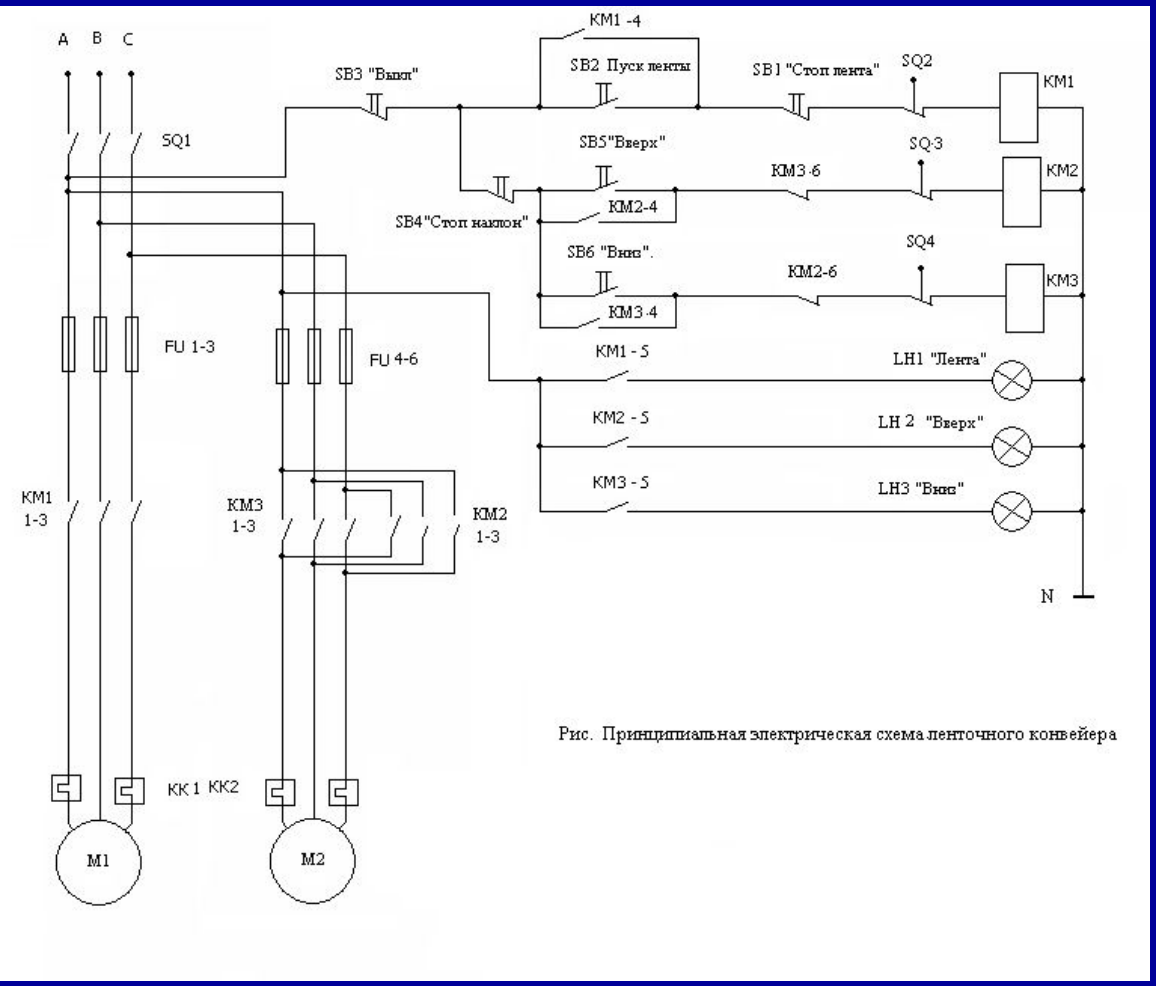


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

Для включения двигателя наклона рамы необходимо нажать кнопку **SB5 "Вверх".** При этом замыкается цепь питания катушки магнитного пускателя **КМ2,** она срабатывает и замыкает в силовой цепи контакты **КМ2 (1-3),** Двигатель привода наклона рамы приходит во вращение и начинает перемещать раму транспортера вверх.

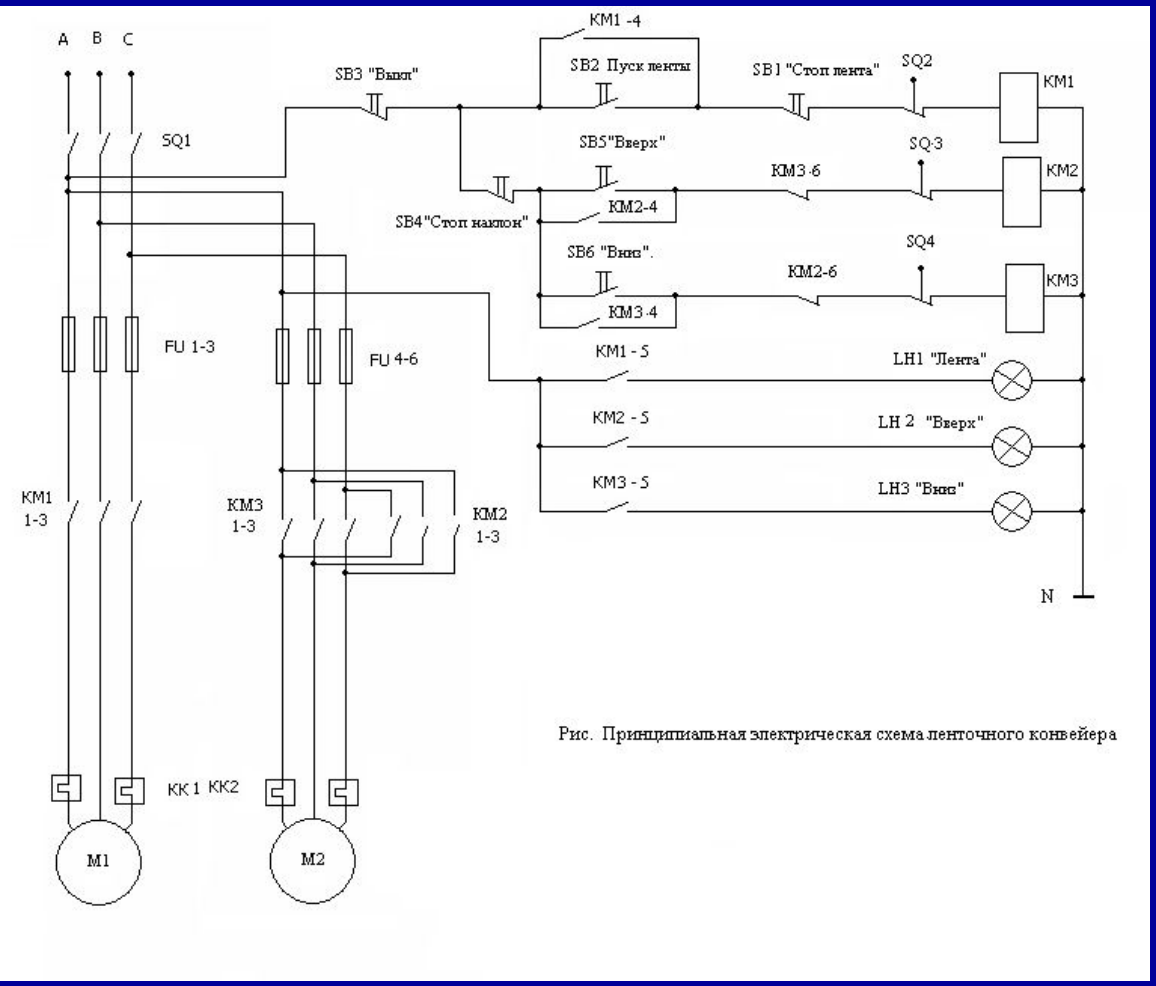


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

Одновременно со срабатыванием катушки магнитного пускателя **КМ2,** замыкаются контакты **КМ2-4,** блокируя кнопку **SB5 "Вверх"** . замыкаются контакты **КМ2-5** включая сигнальную лампу **LH "Вверх",** размыкаются контакты **КМ2-6** предотвращая ложное срабатывание магнитного пускателя **КМ3.**

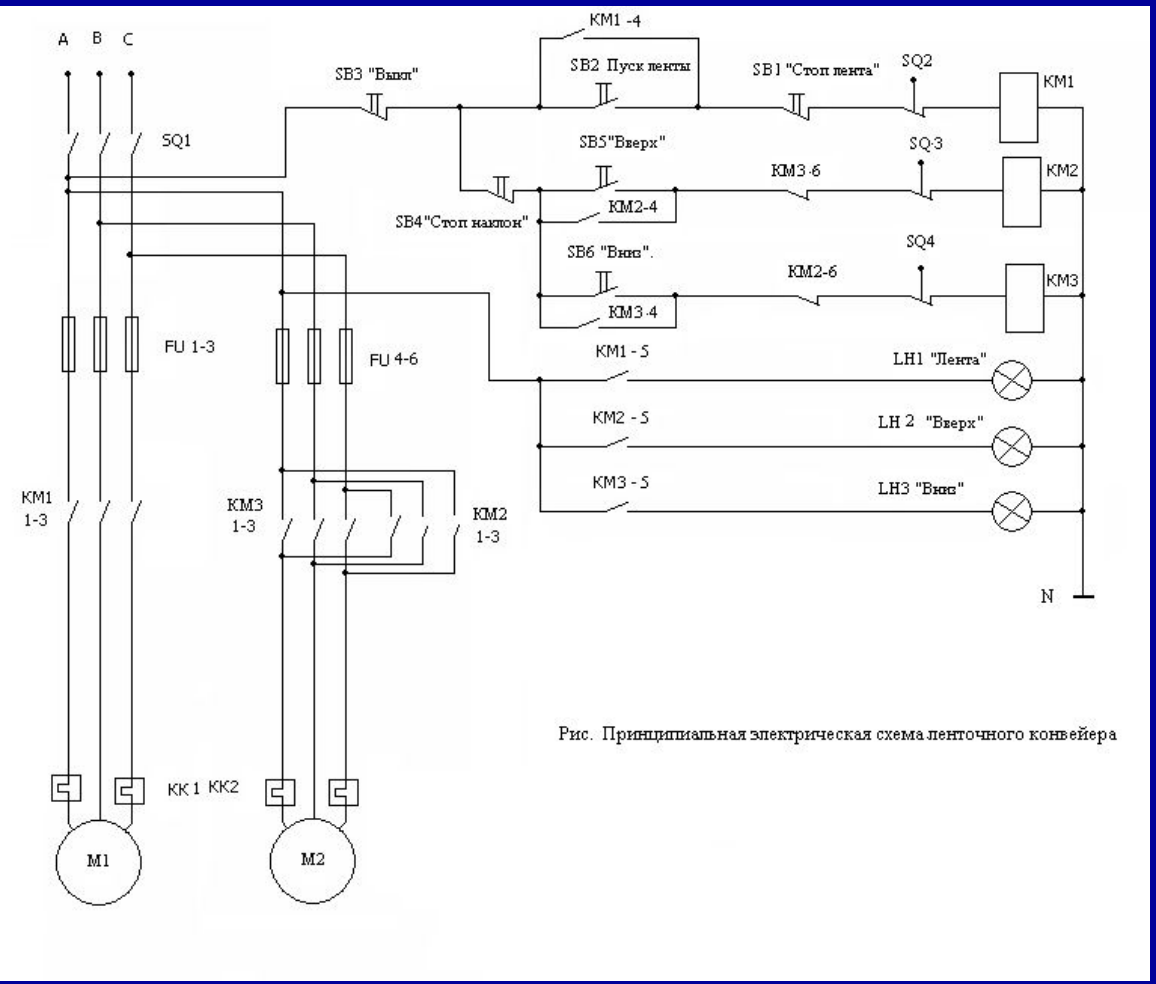


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

Этот процесс продолжается до тех пор, пока оператор не нажмет кнопку **SB4"Стоп наклон"** или не разомкнутся контакты конечного выключателя **SQ3**, установленного в конце пути максимального подъема рамы.

При размыкании контактов **SQ3,** катушка магнитного пускателя **КМ2** обесточивается , контакты **КМ2 (1-3)** размыкаются и двигатель наклона останавливается.

Для включения движения рамы транспортера вниз необходимо нажать на кнопку **SB6 "Вниз"**.При этом сработает магнитный пускатель **КМ3,** замкнутся его контакты **КМ3 (1-3)** в силовой цепи.

В цепи питания двигателя **М2** происходит переброс фаз и двигатель начинает вращаться в другую сторону. Рама движется вниз, пока не разомкнутся контакты конечного выключателя **SQ4.**

Одновременно со срабатыванием катушки магнитного пускателя **КМ3,** замыкаются контакты **КМ3-4,** блокируя кнопку **SB6"Вниз"** . замыкаются контакты **КМ3-5** включая сигнальную лампу **LH3 "Вниз",** размыкаются контакты **КМ3-6** предотвращая ложное срабатывание магнитного пускателя **КМ2.**

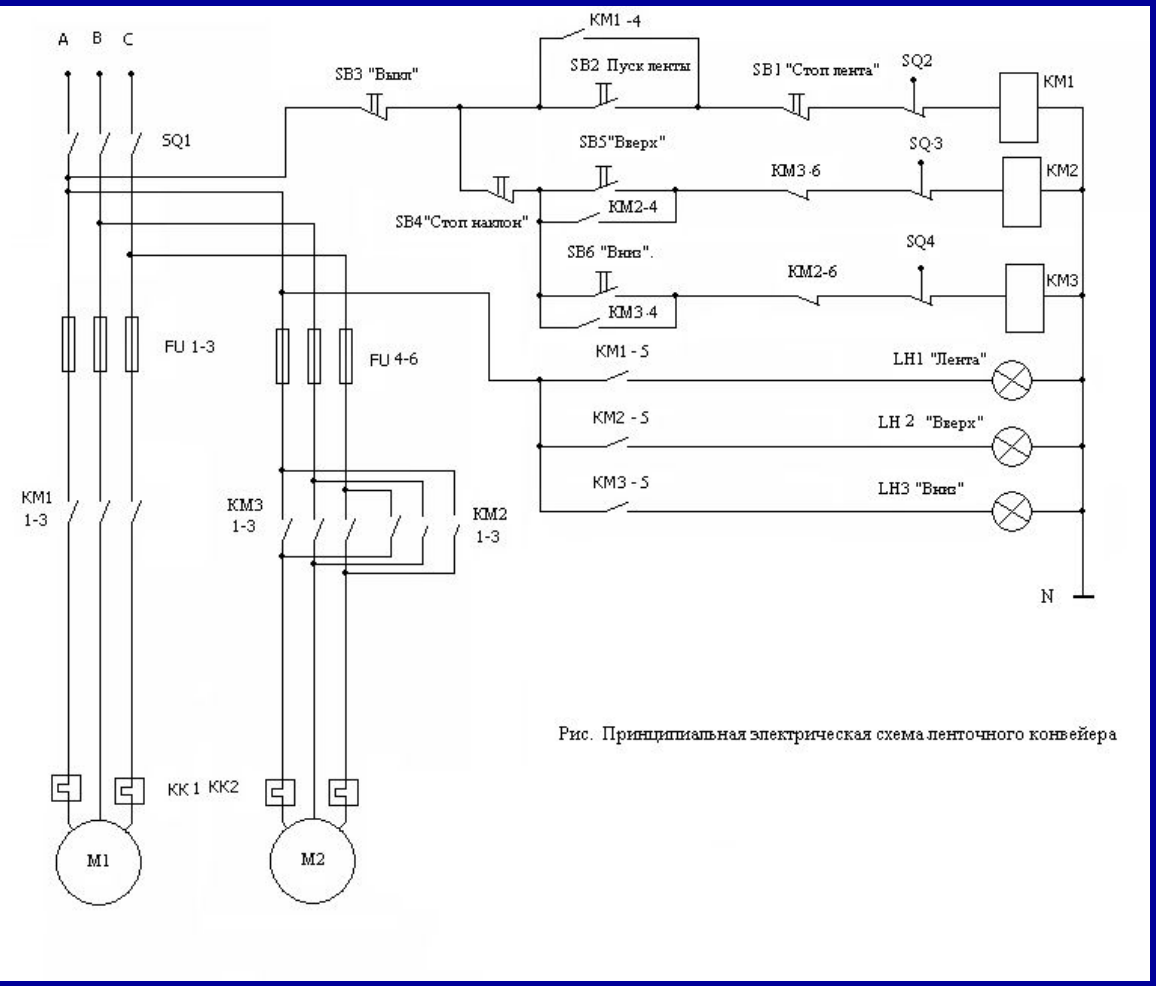


Рис. Принципиальная электрическая схема ленточного конвейера

Если необходимо остановить раму, то необходимо нажать кнопку **SB4"Стоп наклон",** если необходимо выключить двигатель ленты, необходимо нажать на кнопку **SB1 "Стоп лента" .** Чтобы отключить схему управления транспортера , необходимо нажать и удерживать кнопку **SB3 "Выкл".** Чтобы полностью отключить электрооборудование ленточного транспортера, необходимо выключить выключатель **SQ1"Сеть"**

21.3.Защита электродвигателей от токов короткого замыкания и перегрузок.

Защита электроцепей от короткого замыкания производится с помощью предохранителей . Предохранители **FU1-3** установлены в цепи питания двигателя **M1,** предохранители **FU4-6** в цепи питания двигателя **M2 .** От перегрузок электродвигатели **M1, M2** защищены тепловыми реле, сущность работы которых заключается в следующем: при перегрузке двигателя вследствие повышения противодействующего момента на валу свыше номинального или из-за электрических неисправностей (пробой на корпус или межвитковое замыкание) величина тока в фазах сети значительно возрастает.

Это приводит к повышенному нагреву чувствительного элемента теплового реле. Если сила тока в фазе превышает величину уставки теплового реле, то оно срабатывает и размыкает свои контакты **КК1** или **КК2** в цепи управления магнитными пускателями. Катушка магнитного пускателя обесточивается , его контакты размыкаются и электросхема приходит и исходное состояние.

Аварийное отключение двигателей при перегрузках и коротких замыканиях в сети обеспечивает сохранность дорого стоящего оборудования

Занятие 22
Контрольная работа №4

Тема 11
Замкнутые схемы управления электроприводом

Занятие 23 .
Схемы замкнутых структур электропривода

23.1. Общие определения.

Современные регулируемые электроприводы управляются преимущественно по замкнутому принципу.

Замкнутые схемы приводов образуются посредством разных обратных связей.

Назначение обратных связей состоит в том, чтобы автоматически поддерживать определенное соотношение между входной и выходной величинами при наличии возмущающих воздействий (например, изменении нагрузки).

Применение обратных связей в электроприводах позволяет значительно расширить диапазон регулирования скорости, повысить жесткость механических характеристик, улучшить качество переходных процессов и устойчивость работы.

В зависимости от физической величины, передаваемой на вход, обратные связи делятся:

- передача информации о скорости,
- передача информации положении объекта,
- передача информации о токе,
- передача информации о напряжении,
- передача информации о вращающем моменте.

По относительному знаку передаваемой величины

- положительная обратная связь
- отрицательная обратная связь

В зависимости от области, в которой проявляется обратная связь

- жесткая, действующая в установившемся и в переходном режимах;
- гибкая — только в переходных режимах;
- с отсечкой— работающая, когда переменная отклоняется от заданного значения.

По устройству обратные связи подразделяются на:

- параметрические (статические электрические цепи)
- электромеханические (тахогенераторы),
- пассивные, без собственных источников энергии
- активные с источниками энергии.

23.2. Принцип работы системы автоматического управления и регулирования.

Любая система автоматического управления (САУ) включает:

- объект управления;
- исполнительный механизм;
- регулятор;
- датчик;

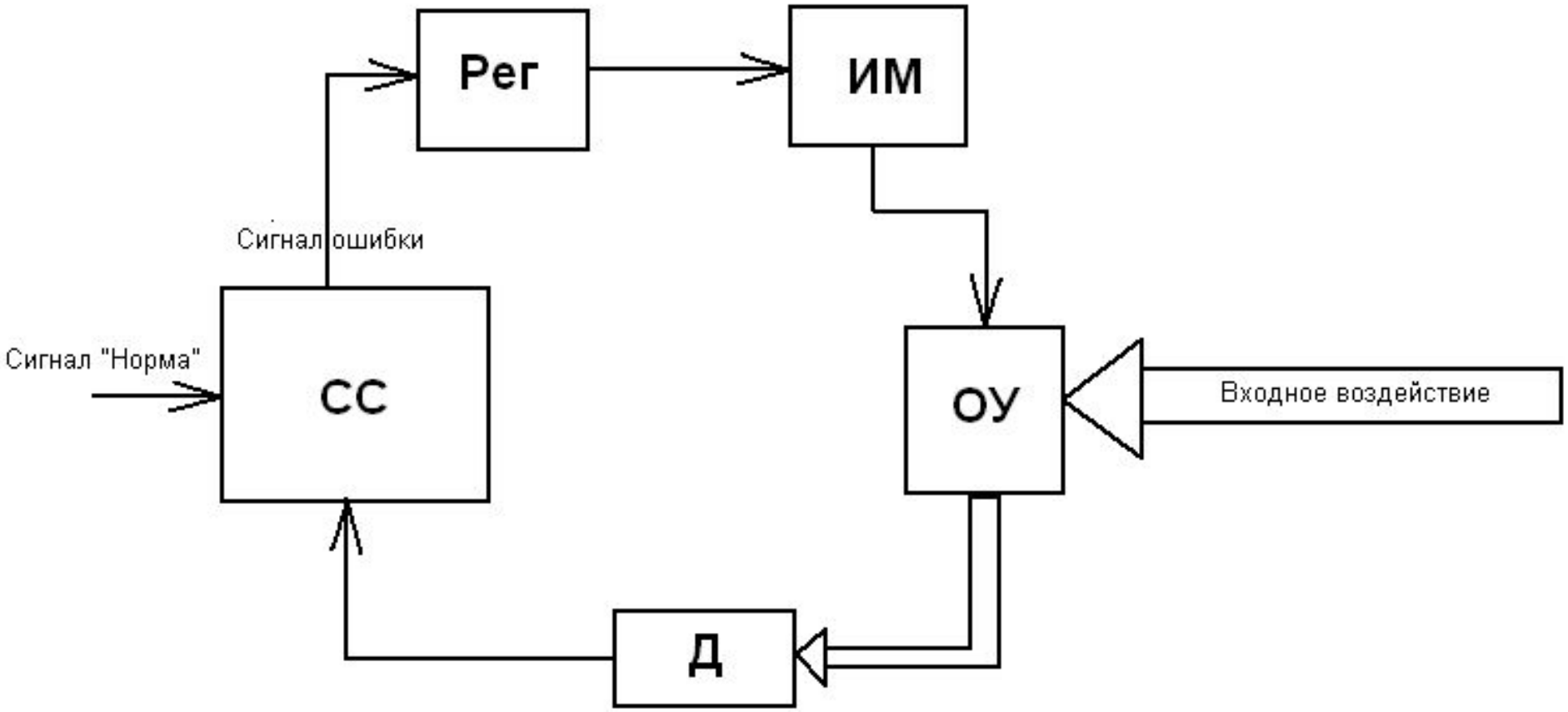


Рис. 23.1. Функциональная схема системы автоматического управления и регулирования.

ОУ - объект управления, агрегат, в котором происходит технологический процесс

ИМ - исполнительный механизм, устройство оказывающее управляющее воздействие на объект управления.

РЕГ - регулятор, устройство, подающее команду на исполнительный механизм в зависимости от сигнала приходящего со схемы сравнения;

СС - схема сравнения , сравнивающая два сигнала - один с датчика объекта управления, другой сигнал "НОРМА".

В - внешнее воздействие на объект управления;

Д - датчик - преобразователь, преобразует неэлектрический параметр объекта управления в электрический сигнал, поступающий на схему сравнения.

Система автоматического управления представляет собой замкнутую цепь с обратной связью "выхода" и "входа".

Современные САУ основаны на широком применении в процессе управлении элементов вычислительной техники.

Сбор данных о состоянии технологического процесса, наблюдение за его ходом, регулирование параметров технологического процесса с высокой скоростью обработки информации возможно только с применением ЭВМ.

23.3. Датчики-преобразователи

Датчики-преобразователи являются одним из основных элементов автоматической системы управления и контроля ,от которых зависит чувствительность и точность работы системы.

Датчик устанавливается непосредственно в рабочей зоне технологического процесса, параметры ,которого необходимо контролировать и ими управлять.

Такими рабочими зонами могут быть трубопроводы, баро и термокамеры , котлы, топки, контролируемые зоны перемещения изделий и т.п.

На чувствительный элемент Датчика воздействует внешний неэлектрический параметр технологического процесса (давление, температура и пр.) с помощью которого формируется будущая продукция.

Если этот параметр выходит за пределы допусков то продукция окажется бракованной. Поэтому Датчик является контролирующим органом автоматической системы контроля и управления.

Кроме того Датчик с помощью исполнительного механизма возвращает параметр технологического процесса в заданный допуск предотвращая выпуск бракованной продукции.

Все команды в автоматических системах представляют собой электрические сигналы (изменение тока и напряжения). Причем закон изменения электрического сигнала должен точно повторять изменение неэлектрического параметра в технологическом процессе.

Это значит, что если в технологическом процессе , к примеру, начинает расти давление ,то на выходе Датчика появляется электрическое напряжение повышающееся точно также как растет давление

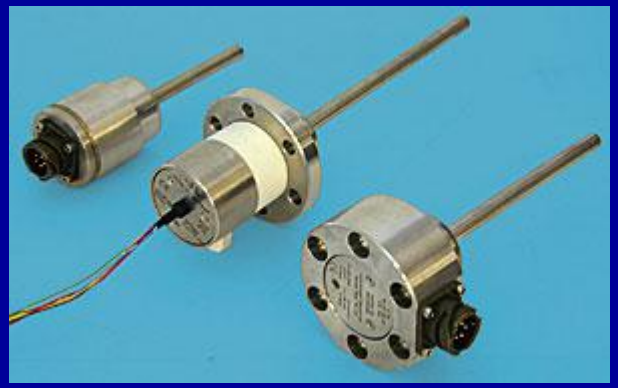
Электрический сигнал с выхода Датчика анализируется в специальных устройствах, где происходит его сравнение с допуском и вырабатывается "сигнал ошибки ", в соответствии с которым система самостоятельно принимает решение о включении исполнительного механизма на уменьшение давления. Исполнительный механизм работает до тех пор, пока сигнал ошибки не станет равным нулю.

Электрический сигнал с датчика может быть преобразован в импульсный код для дальнейшего использования в ЭВМ, кроме того усиленный сигнал может быть использован для визуального контроля за параметрами технологического процесса со стороны оператора.

Датчики - преобразователи

Датчик давления

Датчик температуры



Датчик перемещения

Датчик освещенности

Занятие 24(2 часа)
Аналоговые системы управления электроприводом

Рассмотрим работу системы автоматического управления на примере схемы, приведенной на рис.24.1.

В качестве технологического процесса возьмем процесс сгорания топлива в камере сгорания авиационного двигателя при полете самолета с заданной постоянной скоростью

Объектом управления является самолет, исполнительным механизмом - камера сгорания двигателя самолета, регулятором - устройство подачи топлива в форсунки двигателя. Остальные элементы входят в бортовую систему автопилота.

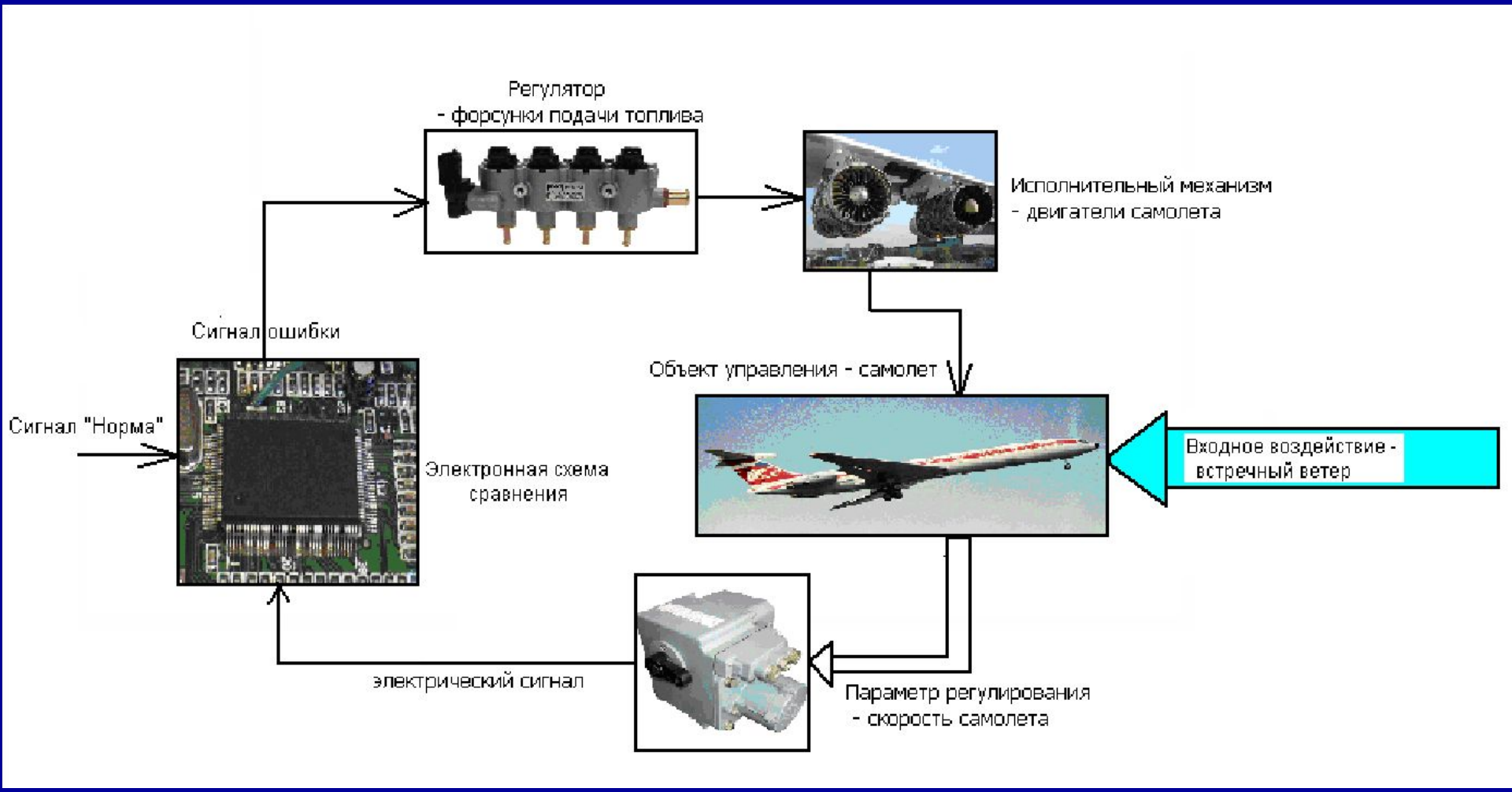


Рис.24.1. Автоматическая система управления скоростью самолета

При включении автопилота самолет должен продолжить полет на заданном курсе с заданной скоростью.

Рассматриваемая система обеспечивает полет самолета с заданной постоянной скоростью.

Но в полете на самолет воздействует встречный, боковой или попутный ветер, изменяя скорость полета самолета.

Задача системы автоматического управления не допустить изменения скорости самолета при внешнем воздействии ветра.

Система работает следующим образом:

Допустим на самолет действует встречный ветер. В результате этого воздействия скорость самолета начинает уменьшаться.

Датчик - преобразователь выдает электрический сигнал пропорциональный скорости полета, который подается на схему сравнения.

Одновременно по другому каналу на схему сравнения подается электрический сигнал соответствующий заданной автопилоту скорости.

В схеме сравнения производится анализ

двух поступающих сигналов и вырабатывается "сигнал ошибки " или, иначе, сигнал рассогласования.

В рассматриваемом случае сигнал с датчика будет меньше сигнала "НОРМА". т.е.

$$U_{норма} - U_{датчик} = \Delta$$

Сигнал ошибки имеет положительный знак.

Он подается на регулятор подачи топлива. Регулятор открывает клапан подачи топлива в форсунки двигателя. Двигатель увеличивает тягу и самолет, преодолевая встречное воздействие ветра, увеличивает скорость до заданной.

По мере увеличения скорости самолета сигнал ошибки уменьшается и регулятор призакрывает клапан тяги.

Таким образом, система сама следит за скоростью самолета и поддерживает ее в заданных пределах.

Иногда такие системы называют следящими.

Если на вход схемы сравнения подавать по каналу "НОРМА" программно изменяющийся сигнал, то система будет отрабатывать заданную программу изменения параметра.

Основным условием правильной работы такой системы является строгое соответствие соотношения между входным механическим воздействием на систему и электрическим сигналом воздействующим на исполнительный механизм.

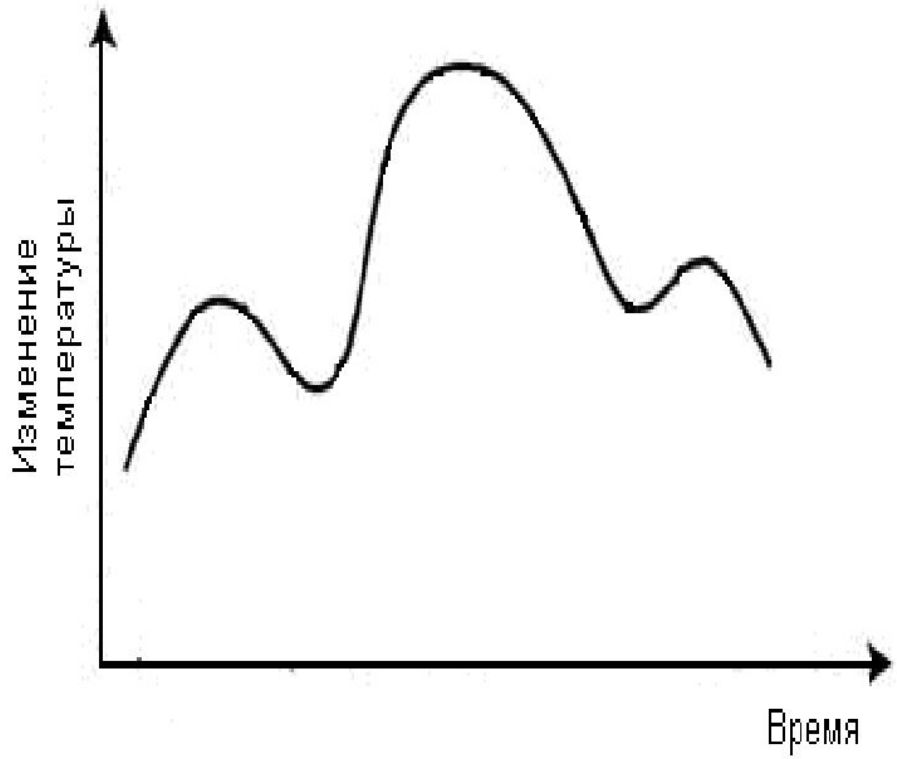
Электрический сигнал в системе управления должен изменяться по закону изменения входного воздействия, то есть аналогично.

Системы и их элементы, работающие на таком принципе, называются аналоговыми.

Такой способ представления параметров процесса называется аналоговым .

Аналогичный значит одинаковый, т.е. каждому значению параметра соответствует свое значение тока или напряжения в цепи.

На рисунке 24.2. показано в виде графика изменение температуры в технологическом процессе. Точно также (по такому же закону) должен изменяться и ток в аналоговой системе управления.



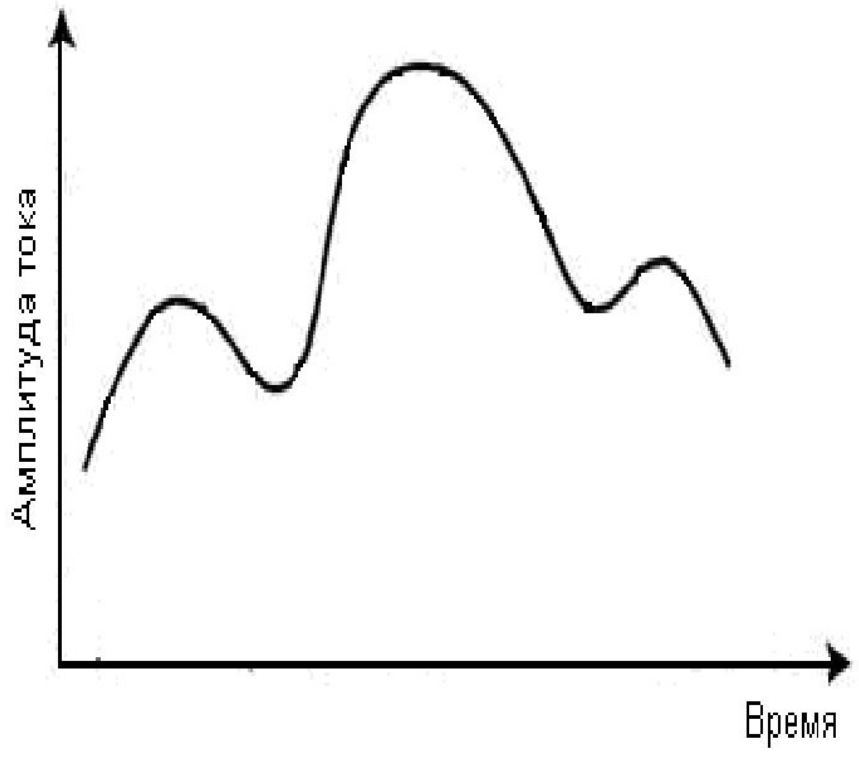


Рис.24.2. Аналоговое предоставление параметров технологического процесса.

Допустим, что в системе управления произошел сбой. Например, когда температура в технологическом процессе стала понижаться, величина тока, в результате сбоя системы, резко возросла.

Аналоговая система воспримет этот скачек тока как повышение температуры технологического процесса и примет меры к понижению температуры.

Но на самом деле никакого повышения температуры не было и такие действия аналоговой системы управления могут привести к нарушению технологического процесса в целом и выпуску бракованной продукции

Таким образом, можно сделать вывод, что аналоговые системы управления слабо защищены от внешних электрических помех.

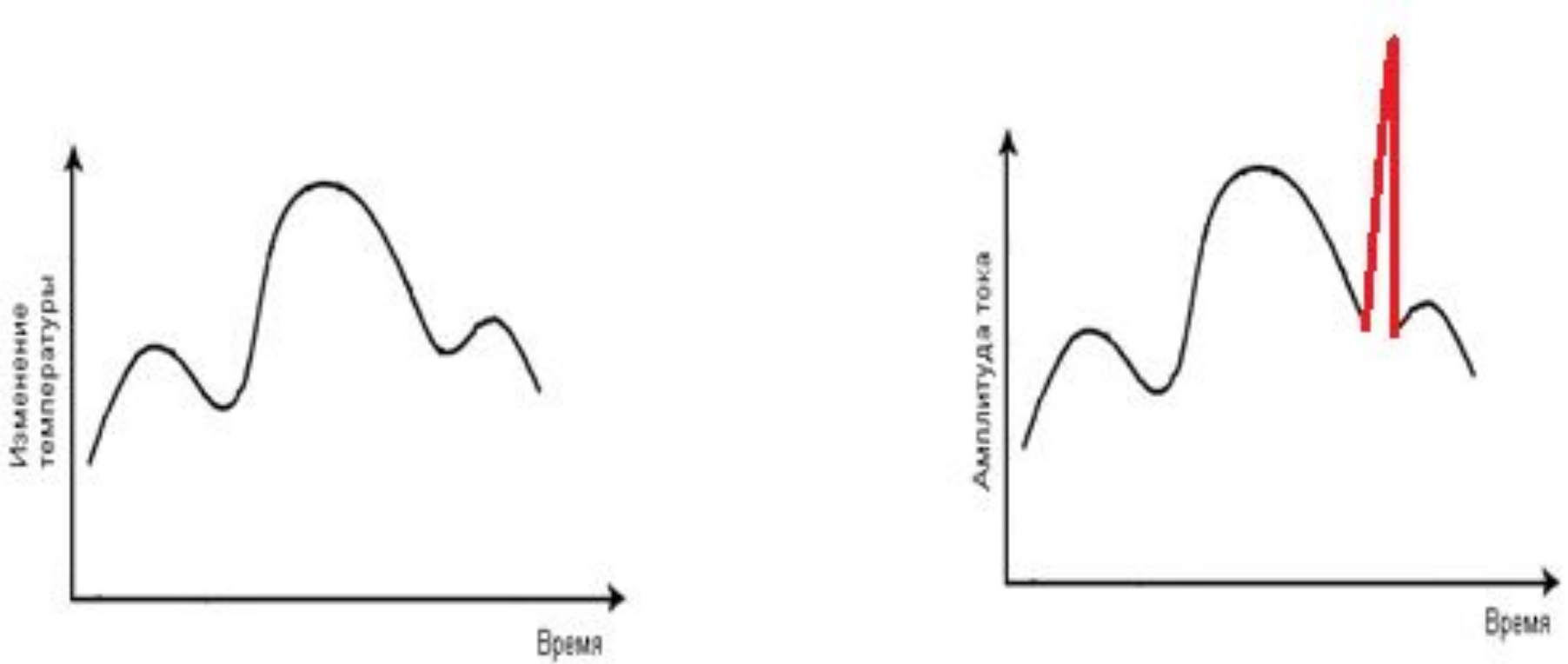


Рис.24.3. Ложное представление о параметре технологического процесса в следствие сбоя в системе управления.

Занятие 25(2 часа)
Дискретные (цифровые) системы управления электроприводом

25.1. Дискретизация аналоговых сигналов

Анализ работы систем автоматического управления показывает, что система в процессе своей работы должна производить логические и арифметические операции: сравнение величин, сложение и вычитание, запоминание команд, выдачу команды при определенных условиях и т.п.

Технологические процессы представляют собой изменение неэлектрических величин: температуры, давления, скорости перемещения объектов, угла поворота, времени действия параметра и т.п.

Для того , чтобы производить математические операции с различными неэлектрическими величинами их представляют в виде чисел.

Но число - это символ несущий определенную информацию, но не имеющий физической сущности.

Аналоговый способ не нашел широкого применения т.к. даже незначительное изменение напряжения в цепи приводило к большой погрешности в управлении

Если представлять величину параметра технологического процесса как определенное количество электрических импульсов, точность работы системы значительно повышается, потому, что для такой системы важна не величина импульса напряжения, а сам факт его наличия.

В системах автоматического управления все параметры и команды преобразуются в последовательность электрических импульсов.

Такой способ представления информации о параметре называется цифровым.

Для представления параметра в цифровом виде аналоговый электрический сигнал разбивают на одинаковые временные промежутки и затем в каждый из промежутков времени производят измерение параметра.

Каждой амплитуде тока будет соответствовать свое число, которое переводят в соответствующее количество импульсов.

Это количество импульсов запоминается в памяти системы. Устойчивость цифровой системы значительно выше, так как система регистрирует любой, даже искаженный импульс.

Для системы важна не амплитуда импульса, а сам факт его наличия.

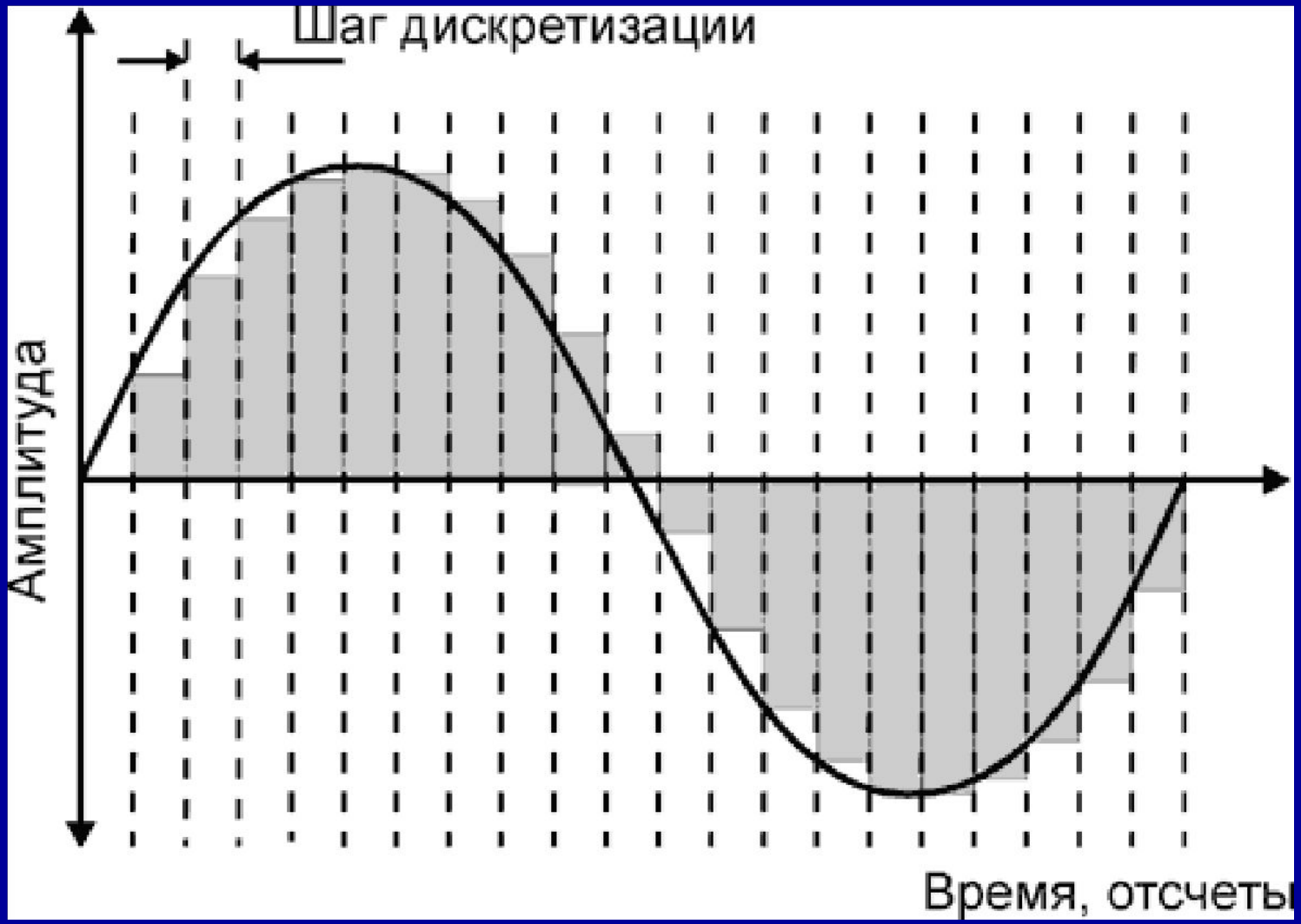


Рис.25.1. Дискретизация аналогового сигнала

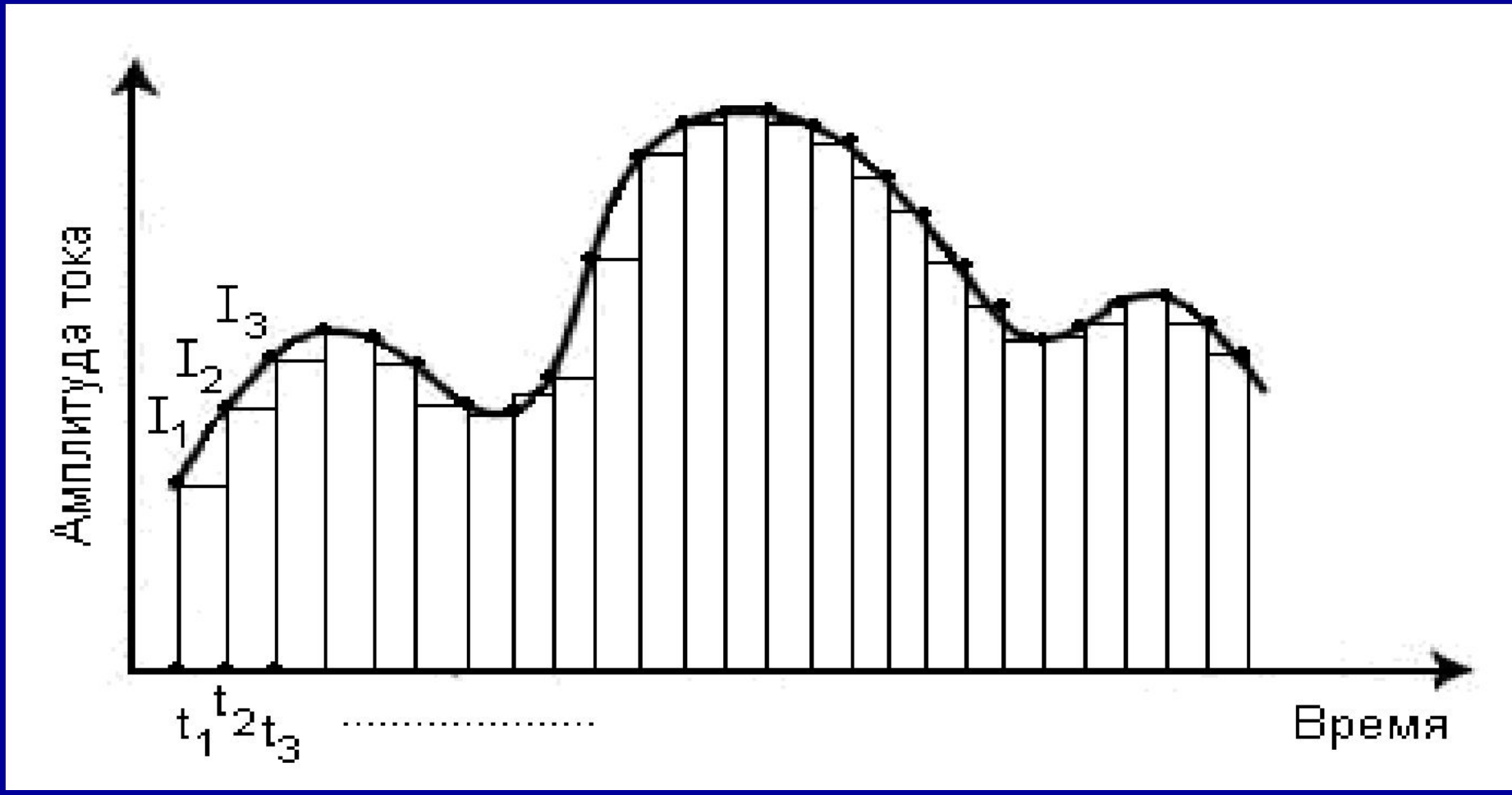


Рис.25.2. Дискретное измерение величины аналогового сигнала

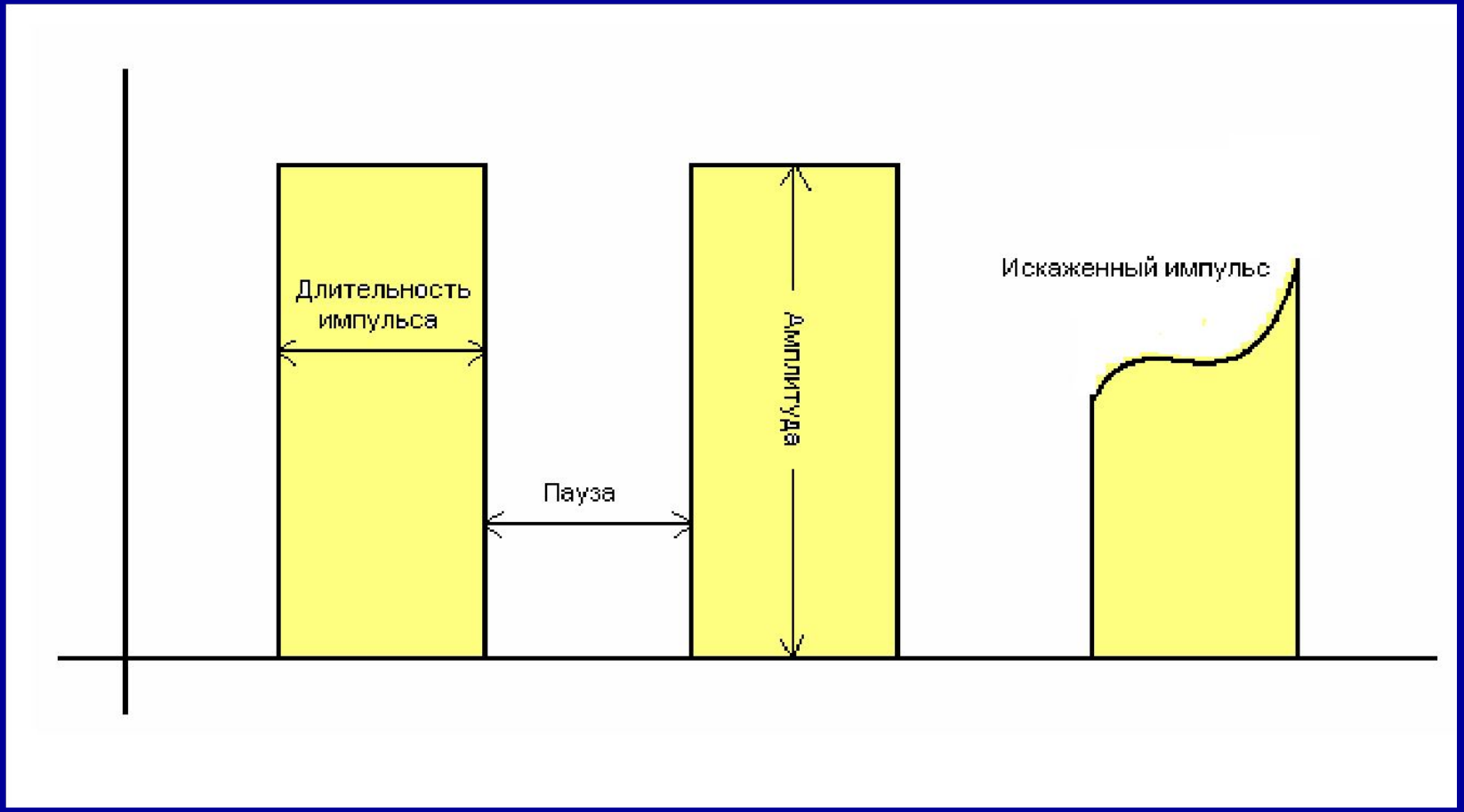


Рис.25.3. Искажение формы импульса не приводит к потере информации при цифровом представлении параметра.

Мы привыкли выражать числа сочетанием десяти цифр от нуля до девяти. Это значит, что для запоминания однозначного числа система должна иметь элемент с десятью устойчивыми электрическими состояниями.(десятичная система счисления). Основание такой системы счисления равно 10

Но наиболее простыми с точки зрения технической реализации являются так называемые двухпозиционные элементы ,способные находится в одном из двух устойчивых состояний. Например: электромагнитное реле - эамкнуто-разомкнуто; лампочка включена-выключена; полупроводниковый диод- проводит-не проводит; транзисторный ключ открыт-закрыт; Такие элементы являются надежными и простыми. В основе их работы лежит исключительно простой принцип действия - " ДА " или " НЕТ " .

Одно из этих устойчивых состояний может представлять цифру " 0 ", а другое цифру " 1 ".

По этой причине наибольшее распространение в ЭВМ и автоматических системах получила двоичная система счисления.

Основание этой системы равно 2, в ней используются только две цифры 0 и 1.

Но при любой системе счисления параметр необходимо преобразовать в последовательность импульсов. Прямоугольный импульс напряжения представляет собой скачок напряжения ,который действует строго определенное время затем исчезает на строго определенное время.

Импульс характеризуется амплитудой А, длительностью $T_{имп}$. и паузой между импульсами $T_{п}$.

25.2. Классификация цифровых средств управления, используемых в ЭП:

Цифровые узлы и устройства по своему функциональному назначению делятся на:

- вычислительные;
- логические;
- устройства памяти;
- элементы согласования;
- временные устройства;
- цифроаналоговые преобразователи;
- устройства ввода — вывода данных;

Вычислительные устройства.

Эти устройства предназначены для выполнения различных арифметических операций. Вычислительные операции выполняются в цифровых узлах на основе двоичной системы счисления.

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

Логические цифровые узлы. В этих узлах осуществляются различные логические операции над дискретными электрическими сигналами. В основе логических цифровых узлов лежат логические схемы «И», «ИЛИ», «НЕ», и их комбинации. К ним относятся распределители импульсов, шифраторы, дешифраторы и мультиплексоры.

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).

Временные устройства. К ним относятся генератор эталонной частоты, служащий для выработки тактовых импульсов частотой 100—500 кГц (I исполнение) или 1—5 мГц (II исполнение), а также мультивибратор универсальный с частотой выходного сигнала до 200 кГц.

Цифроаналоговые устройства.

В их состав входят: преобразователь код—напряжение (ПКН), преобразующий двоичный или двоично-десятичный код в напряжение постоянного тока; преобразователи частоты напряжение (ПЧН) и

аналого-цифровые преобразователи, осуществляющие преобразование частоты следования импульсов в напряжение постоянного тока и обратное преобразование.

Устройства согласования.

Они обеспечивают согласование сигналов узлов и устройств дискретного управления с релейно-контакторной аппаратурой управления ЭП, усиление выходных сигналов логических узлов и гальваническую (потенциальную) развязку электрических цепей.

Кроме того, в состав этих устройств входят вспомогательные узлы ввода—вывода информации и блоки питания.

25.3. Логические элементы систем автоматического управления и регулирования.

В системах автоматического управления информация подвергается не только арифметической , но и логической обработке.

В основе работы логических схем и устройств лежит специальный математический аппарат, называемый математической логикой, в которой изучаются вопросы применения математических методов для решения различных логических задач.

В алгебре логики интересуются не содержанием логического высказывания , а лишь утверждением истинно оно или ложно. Никакие другие признаки высказывании в алгебре логики не рассматриваются.

Если высказывание истинно, то говорят, что его значение равно 1; если высказывание ложно, то его значение равно 0.

Это приводит к точному соответствию между логическими высказываниями и двоичными цифрами в двоичной системе.

Устройства реализующие в системах управления решение логических задач называются логическими элементами.

Логический элемент представляет собой электронную схему, на входы которой поступают двоичные переменные, а на выходе образуется двоичный сигнал в соответствии с логической функцией элемента.

К числу основных логических элементов относятся элементы: "И", "ИЛИ", "НЕ".

Логический элемент " И "

Логическим элементом " И " называется элемент ЭВМ , электронная схема которого выдает сигнал на выходе только при наличии сигналов на всех его входах одновременно. Если хотя бы на одном входе сигнала нет, то на выходе сигнала не будет. В простейшем виде реализовать такое устройство можно при помощи нескольких кнопочных

выключателей , включенных последовательно

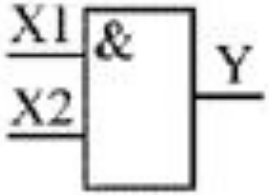
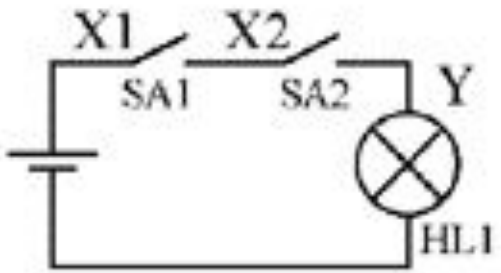
Название элемента	Условное обозначение элемента	Таблица истинности			Контактно-релейная схема
		X2	X1	Y	
2И		0	0	0	
		0	1	0	
		1	0	0	
		1	1	1	

Рис.25.4. Функциональная схема логического элемента "И".

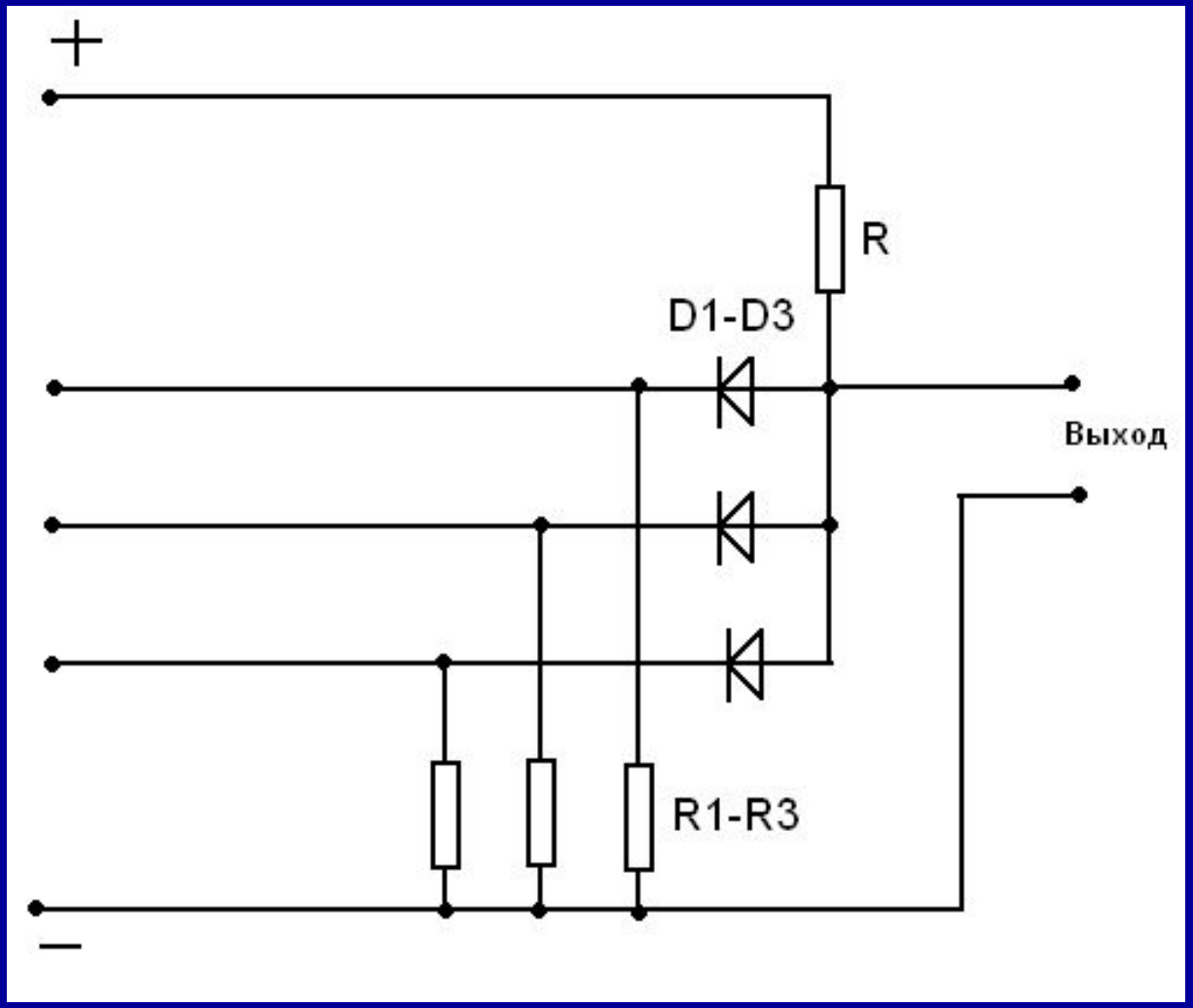


Рис.25.5. Принципиальная схема логического элемента "И"

Электронная схема «И» работает следующим образом:

Сопротивления резисторов R1,R2,R3 значительно меньше сопротивления резистора R. При отсутствии положительного импульса хотя бы на одном из входов схемы , один из диодов будет открыт (его сопротивление будет очень малым.)

Падение напряжения на диоде будет очень малым , а так как диоды включены параллельно выходным клеммам схемы, то и на них также практически не будет импульса напряжения.

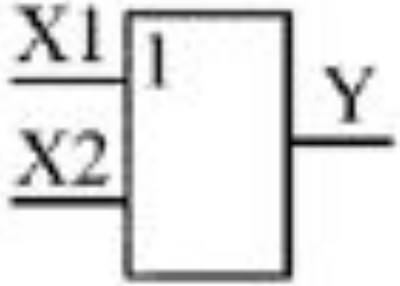
Если на все входы схемы будут поданы положительные импульсы , то диоды будут заперты (их сопротивление будет большим)

Падение напряжения на диодах будет большим. Этот импульс напряжения будет подан на выход схемы

Логический элемент " ИЛИ "

Логический элемент " ИЛИ " имеет несколько входов и один выход. (см.рис.23.9.) Сигнал на выходе этого элемента появляется тогда, когда хотя бы на одном входе будет положительный импульс. Если сигнала нет ни на одном из входов, сигнала на выходе не будет. Такое устройство можно смонтировать с помощью нескольких кнопочных выключателей, соединенных параллельно.

Если хотя бы одну из кнопок нажать, то на выходе появится импульс напряжения.

2ИЛИ		0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1

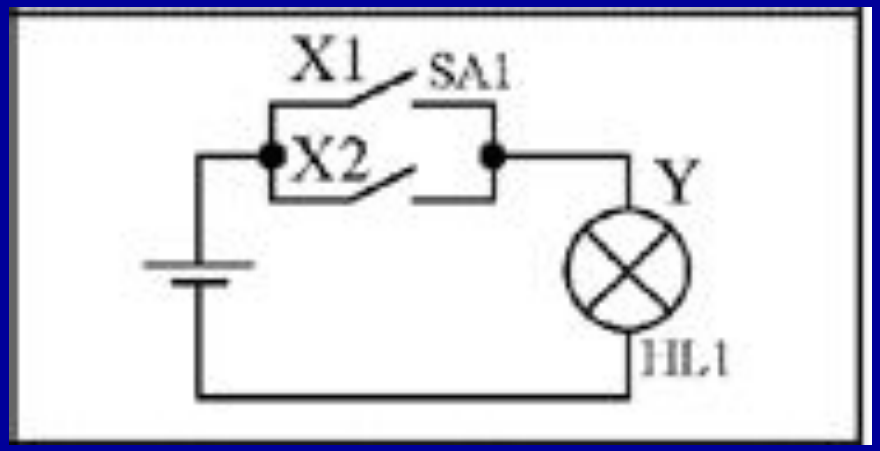


Рис.25.6. Функциональная схема логического элемента "ИЛИ".

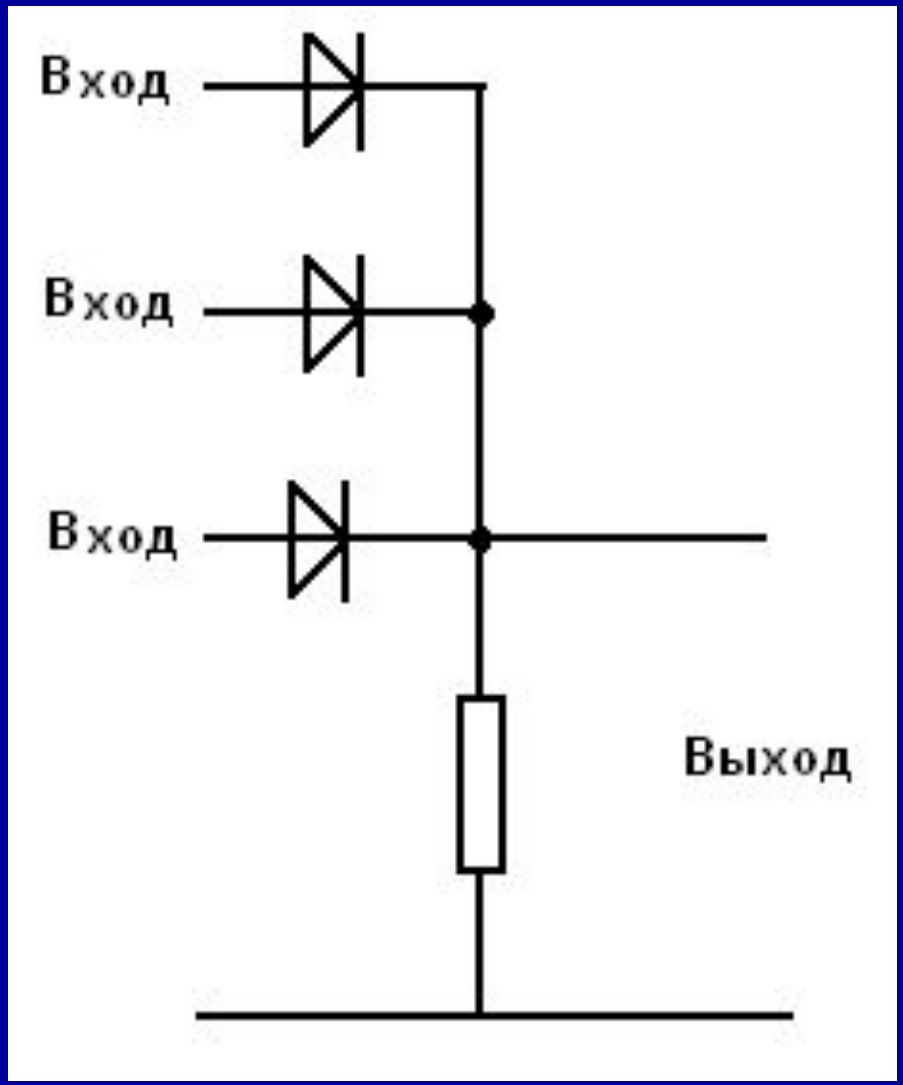


Рис.25.7. Принципиальная схема логического элемента "ИЛИ"

Схема электронного (бесконтактного) элемента "ИЛИ" приведена на рис. 23.10.

Схема работает следующим образом:

При подаче положительного импульса напряжения на любой из входов импульс свободно проходит через диод, включенный в прямом направлении и выделяется на выходном резисторе R.

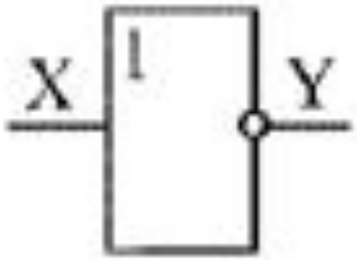
Логический элемент " НЕ "

Электронное устройство логического отрицания " НЕ " имеет только один вход и один выход. (см.рис.23.11.) При наличии сигнала на входе на выходе сигнала нет. И наоборот если на входе сигнала нет ,на выходе он появляется.

Элемент " НЕ " может быть реализован с помощью кнопочного выключателя включенного параллельно выходным зажимам. При замыкании контактов кнопки (поступление на вход механического импульса)

выходные зажимы будут замкнуты накоротко и напряжения между ними не будет.

И наоборот , если не нажимать кнопку, то напряжение входного сигнала будет выделено на выходе.

НЕ		0	1
		1	0

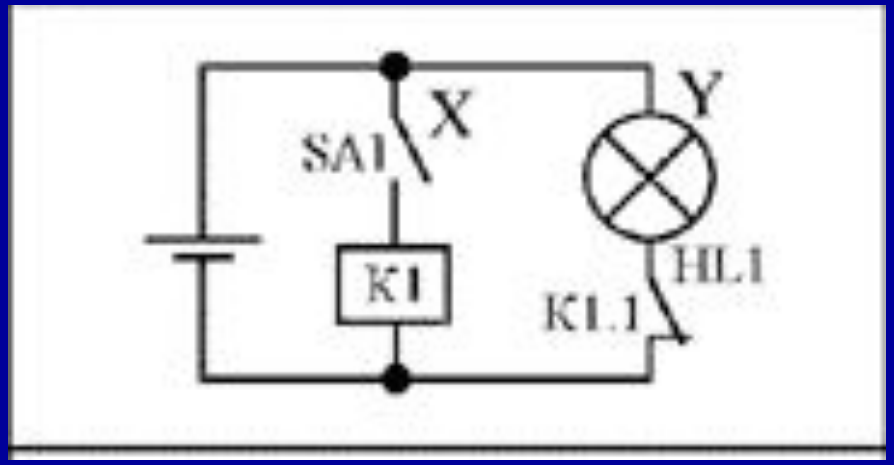


Рис.25.8. Функциональная схема логического элемента "НЕ"

Принципиальная схема элемента "НЕ"приведена на рис.23.12.

Полупроводниковый триод типа n - p – n при подаче положительного напряжения на "БАЗУ" триода , отпирается (его сопротивление становится очень малым) и выходные зажимы схемы закорачиваются через переход "КОЛЛЕКТОР - ЭМИТТЕР " транзистора, который в этот момент имеет малое сопротивление .Если положительный импульс с "БАЗЫ " снять , то транзистор закрывается. Сопротивление перехода "КОЛЛЕКТОР -БАЗА" становится большим и на нем выделяется импульс напряжения. Таким образом наличие одновременно на входе и выходе положительного импульса исключается. Это и есть основное свойство логического элемента "НЕ".

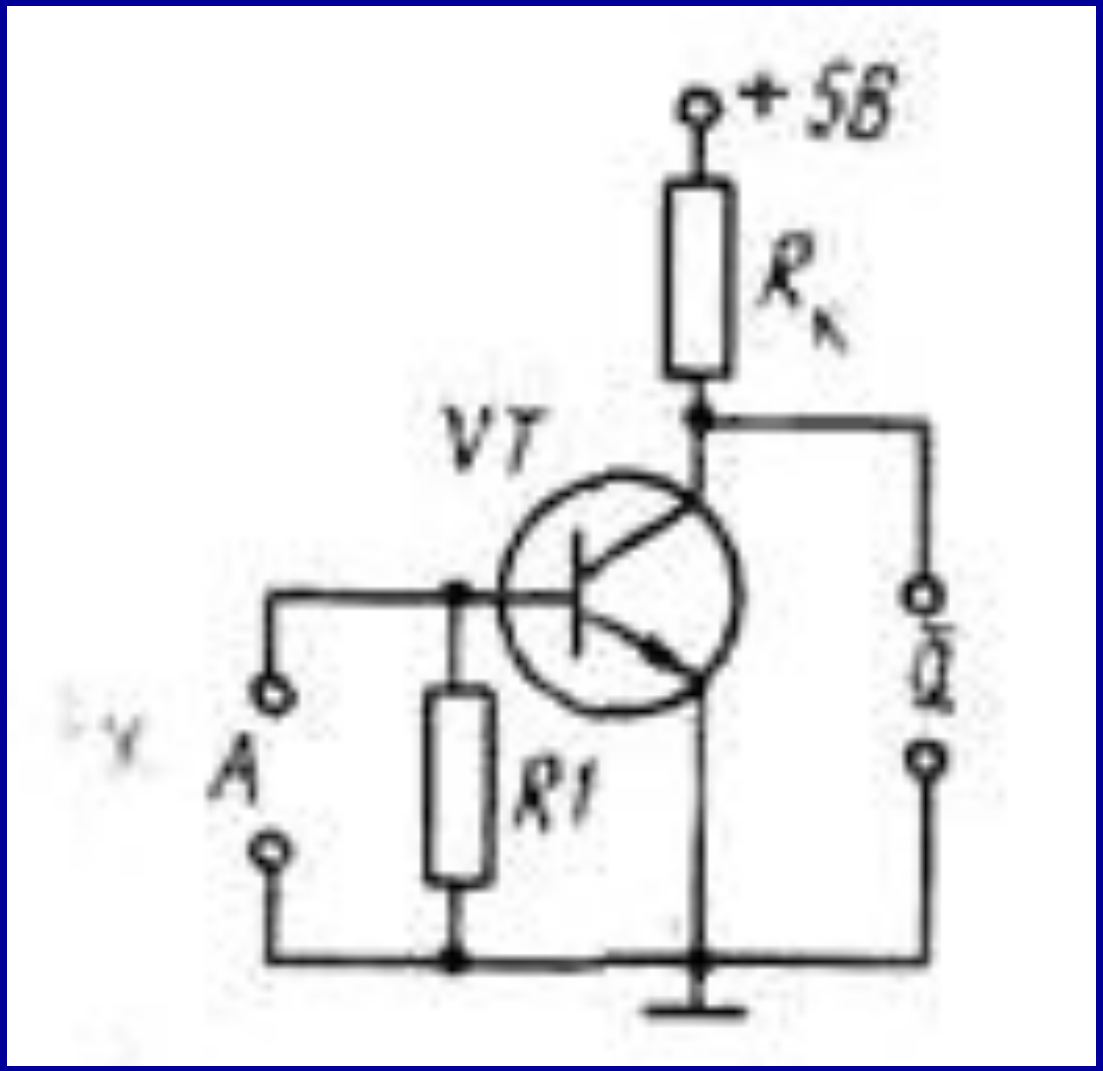


Рис.25.9. Принципиальная схема элемента "НЕ»

25.4.Триггер.

Это один из наиболее распространенных элементов цифровых устройств управления, обладающий двумя устойчивыми состояниями и способный скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала.

С использованием триггеров строятся различные логические и вычислительные узлы, а также генерирующие устройства и памяти.

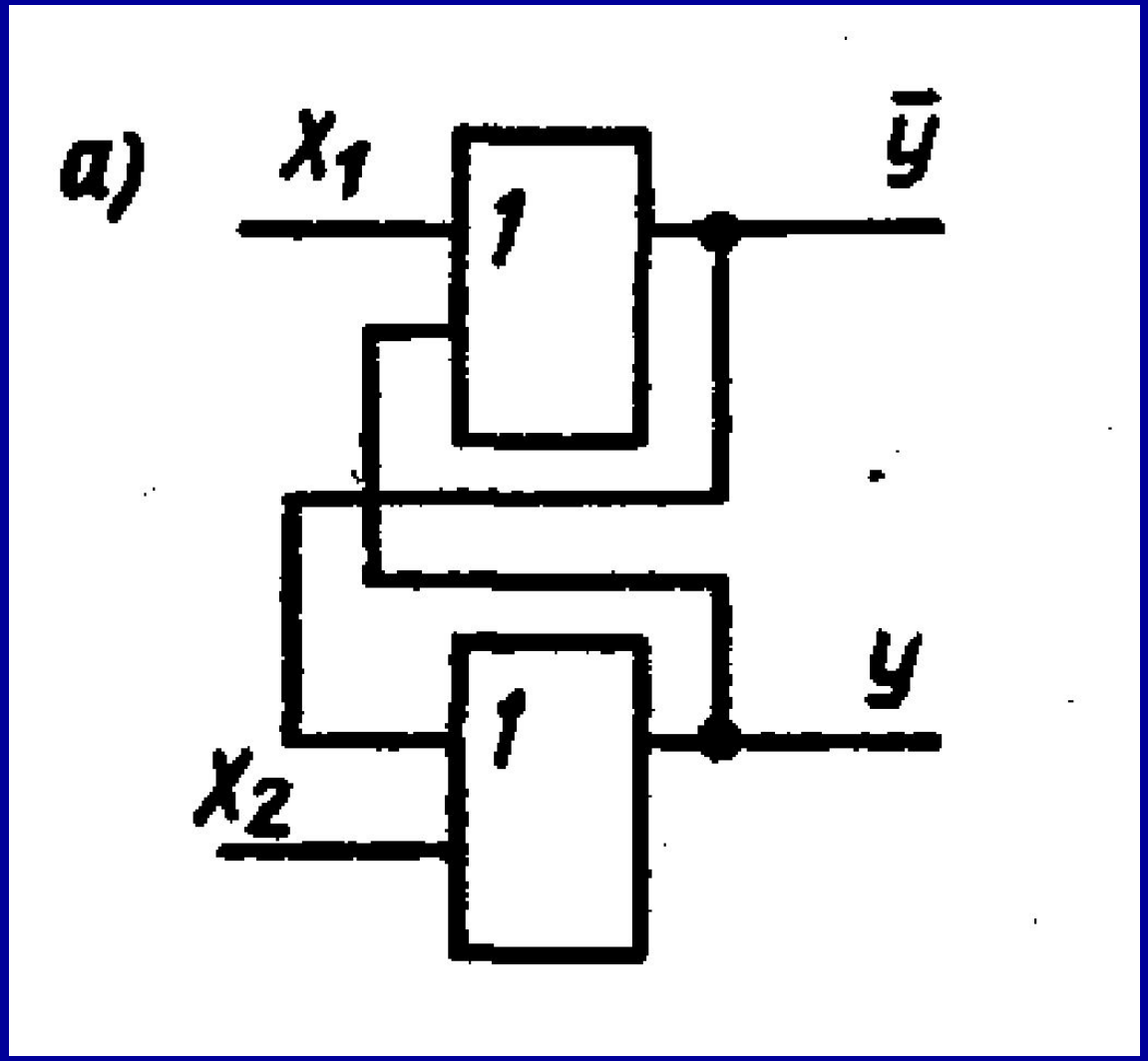


Рис.25.10. Функциональная схема триггера

Триггер состоит из двух логических элементов ИЛИ — НЕ (рис.23.13.) и работает следующим образом.

При подаче входного сигнала X1 = 1 и отсутствии сигнала X2 = 0 выход верхнего элемента устанавливается в состояние $\bar{У}$=0, а нижнего, основного—в состояние У = 1. (Отметим, что черта над переменной обозначает ее противоположное состояние). Это состояние схемы сохранится при снятии сигнала X1(X1 = 0).

При подаче теперь сигнала X2 = 1 триггер перейдет в другое устойчивое состояние, в котором У=0, а $\bar{У}$ = 1.

Занятие 26(2 часа)
Аналого-цифровой преобразователь

26.1. Общие сведения

Аналого-цифровой преобразователь — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал).

Обратное преобразование осуществляется при помощи ЦАП (цифро-аналогового преобразователя).

Формально, входной величиной АЦП может быть любая физическая величина – напряжение, ток, сопротивление, емкость, частота следования импульсов, угол поворота вала и т.п.

Преобразование аналогового сигнала происходит в определенные моменты времени, которые называются точками отсчета.

Количество отсчетов за единицу времени определяет частоту дискретизации (преобразования), которая, в свою очередь, определяется быстродействием и условиями использования АЦП.

Интервал времени между отсчетами $T_{отс}$ и частота дискретизации $f_{пр}$ связаны соотношением:

$$T_{отс} = 1/f_{пр}.$$

В измерительной технике для преобразования медленно меняющихся процессов частота преобразования может быть установлена небольшой - единицы Герц и менее.

В устройствах, где требуется преобразовывать сигналы в масштабе реального времени, частота преобразования выбирается из условия достижения максимальной точности восстановления цифрового сигнала в аналоговую форму.

26.2.Принцип работы аналогово-цифрового преобразователя

Рассмотрим работу устройства преобразующее аналоговый сигнал в последовательность импульсов, число которых пропорционально амплитуде входного сигнала. Структурная схема устройства приведена на рис 26.1..

На рисунке:

Д - датчик, преобразующий входной параметр в электрическое напряжение определенной величины.

ГПН - генератор пилообразного напряжения

ГИ - генератор прямоугольных импульсов

Сх.СП - схема совпадения.

Сч. им. - счетчик импульсов

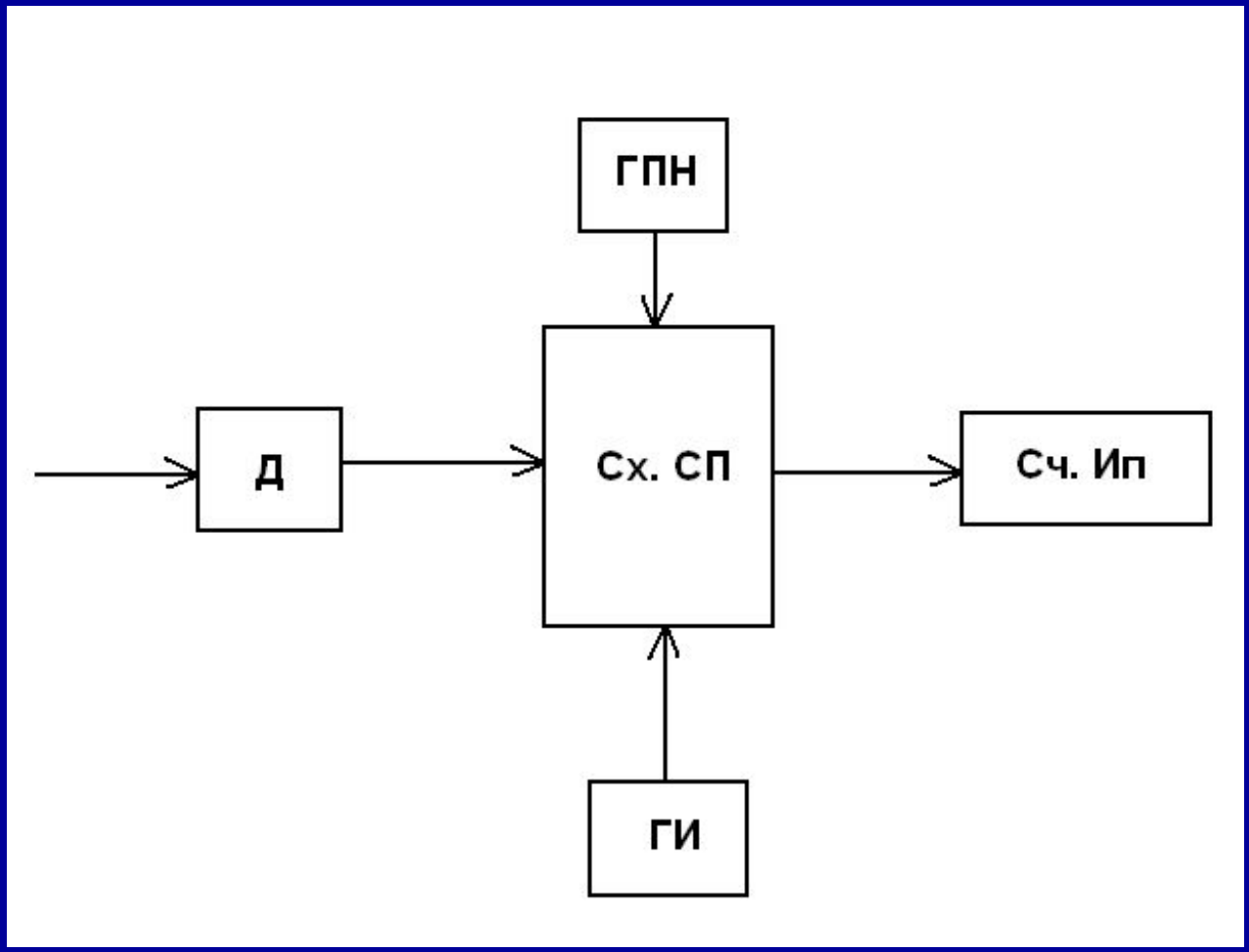


Рис.26.1. Аналогово-цифровой преобразователь

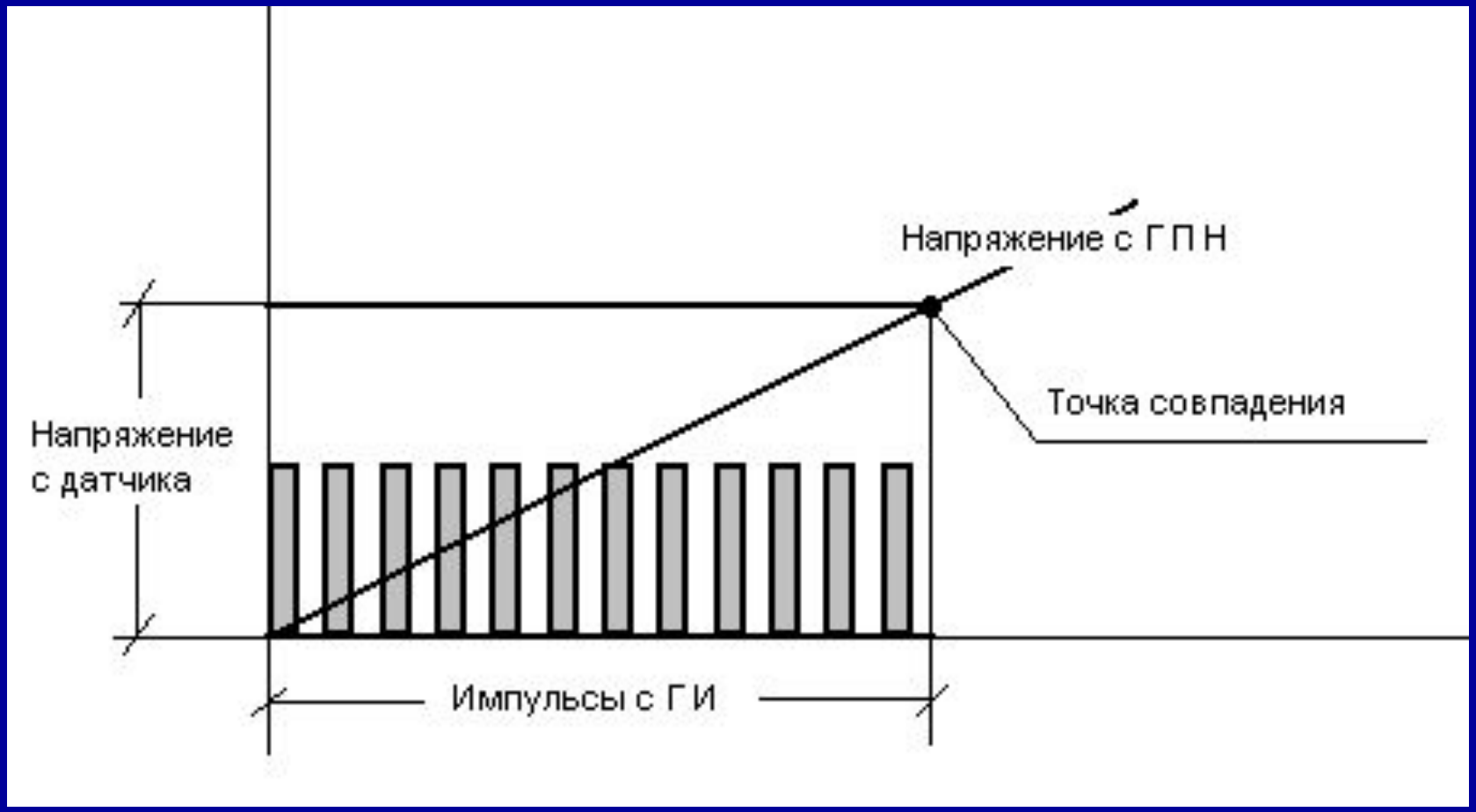


Рис.26.2. График работы аналогово-цифрового преобразователя

Работа схемы заключается в следующем: схема совпадения имеет три входа и один выход

На первый вход подается сигнал с датчика представляющий в данный момент постоянное напряжение определенной амплитуды.

На второй вход подается пилообразное напряжение , представляющее собой линейно нарастающее напряжение.

На третий вход подается непрерывная последовательность прямоугольных импульсов с генератора прямоугольных импульсов.

В схеме сравнения происходит следующий процесс: как только с датчика поступает сигнал схема совпадения пропускает прямоугольные импульсы с ГИ на счетчик импульсов .

Это прохождение импульсов происходит до тех пор , пока линейно нарастающее напряжение с ГПН не сравняется с амплитудой напряжения с датчика (точка совпадения на графике)

В момент совпадения двух напряжений по амплитуде схема совпадения закрывает свой выход.

Таким образом, количество импульсов, записанное в счетчике пропорционально величине сигнала с датчика и, соответственно, величине параметра технологического процесса. Теперь эту информацию можно обрабатывать математически т.к. она представляет собой число.

Занятие 27(2 часа) Микропроцессорные средства управления электропривода

27.1. Общие определения

Микропроцессором (МП) называется программно-управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управления им и построенное на одной или нескольких больших интегральных микросхемах (БИС).

Микропроцессор является элементом управления с гибким алгоритмом работы, который определяется закладываемой в его память программой и может быть изменен.

27.2. Структурная схема микропроцессора.

В эту схему (рис. 27.1.) входят:

- арифметико-логическое устройство АЛУ,
- устройство управления УУ
- регистровое запоминающее устройство РЗУ.

Эти три основные части МП соединены тремя линиями связи:

- шинами данных ШД,
- шинами адресов ША
- шинами управления ШУ.

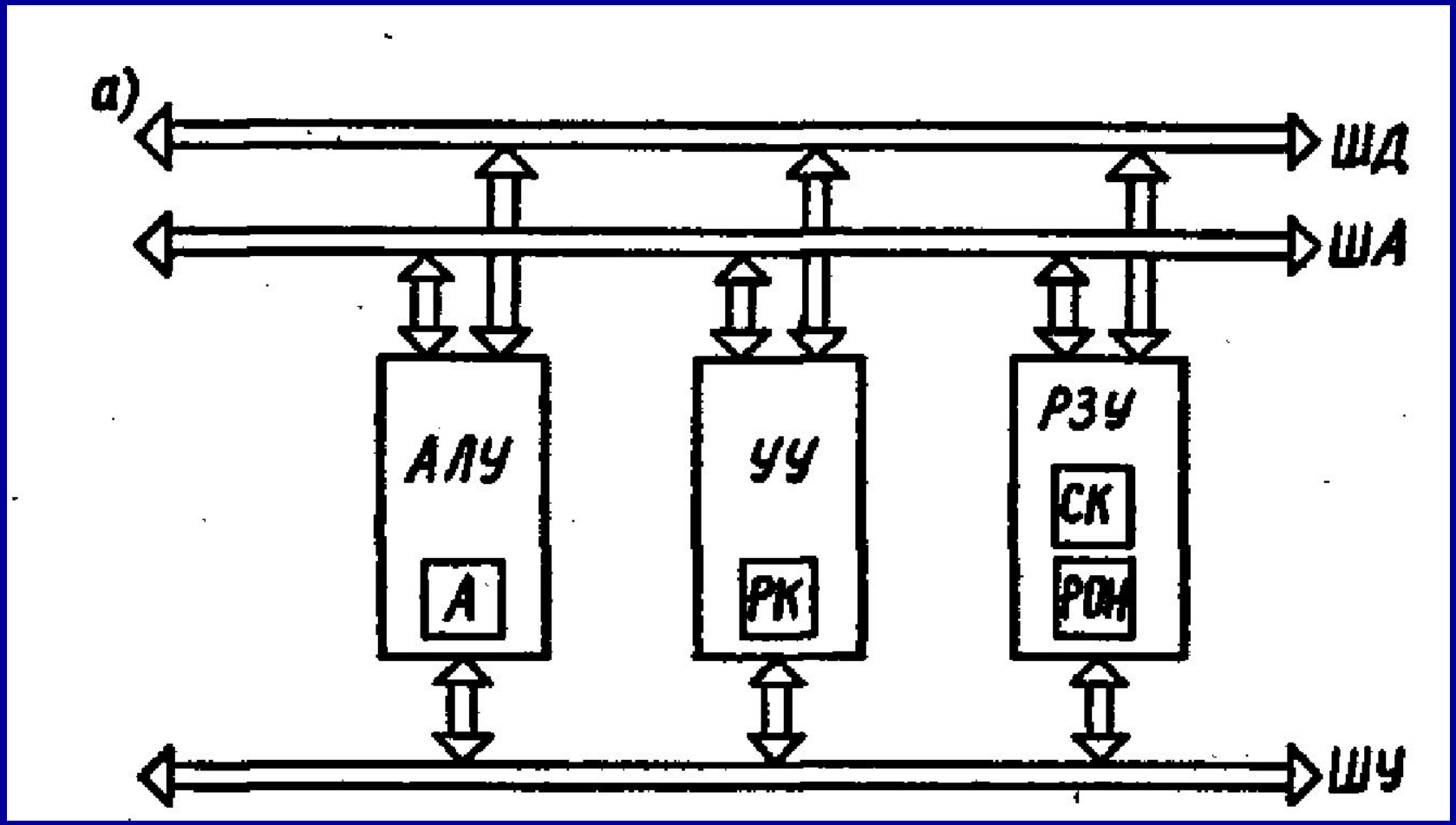


Рис.27.1. Структурная схема микропроцессора.

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.

Программа.

Последовательность команд, обеспечивающих реализацию заданного алгоритма обработки информации, образует программу.

Отметим важную особенность работы МП, состоящую в том, что команды программы 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 определенную структуру.

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.

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» для данного МП. Такой способ составления программ в большинстве случаев оказывается малоудобным и требует больших затрат времени, особенно при создании больших программ.

Более удобным является использование языков программирования

27.3. Микропроцессорная система.

Совокупность МП и указанных устройств образует микропроцессорную систему (МПС), структурная схема которой приведена на рис.27.2.

В состав МПС наряду с МП в общем случае входят

- устройства памяти оперативной **ОЗУ** и постоянной **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.**

Кроме того, на схеме обозначено:

СЧЭП—силовая часть ЭП (преобразователь + дви гатель + механическая передача).

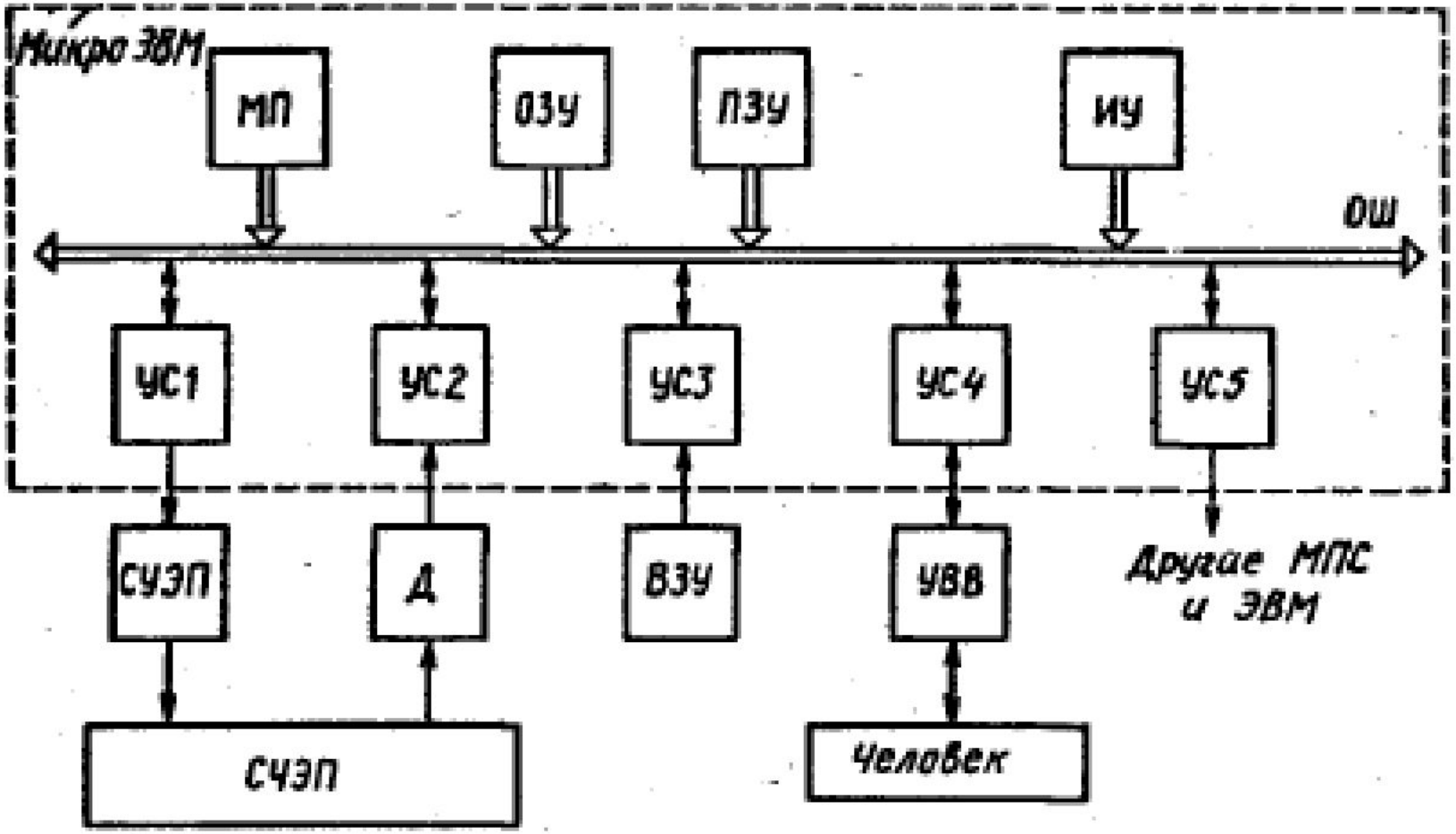


Рис.27.2. Структурная схема микропроцессорной системы

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, флешкарты и пр.

Устройства ввода — вывода информации.

УВВ предназначено для обеспечения вза имодействия 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 (дисплеи) и т. д.

Устройства сопряжения *УС* обеспечивают связь МПС с различными внешними (периферийными) устройствами.

Они могут иметь самые разнообразные схемные и элементные реализации.

Интерфейс устройств ИУ — это совокупность электронных схем, шин и алгоритмов (программ), обеспечивающая управление передачей информации между МП, памятью и внешними устройствами, к которым относятся *УВВ, ВЗУ* и *Д.* 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

Занятие 28(2 часа)
Контрольная работа №5