



# **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И УСТАНОВОК**

**СД1**

**Специальность**

**Направление**

# ВВЕДЕНИЕ

## □ Понятие об электроприводе

Э.п. предназначен для приведения в действие рабочих органов механизмов и машин.

Э.п. различают одно- и многодвигательный.

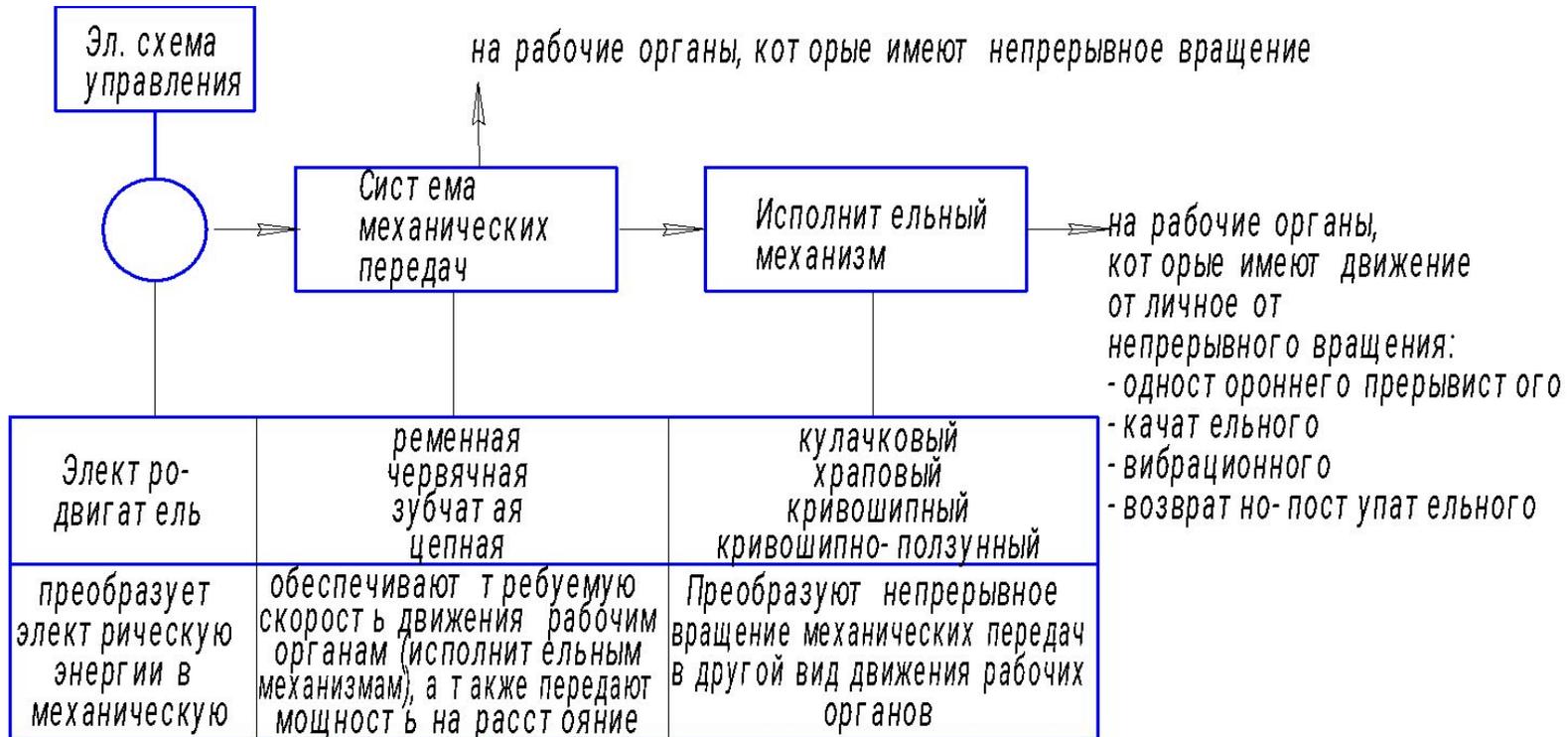
К э.п. предъявляют следующие требования:

- 🔌 должен иметь необходимую мощность
- 🔌 должен иметь достаточно стабильную скорость при изменении нагрузки
- должен обеспечивать заданное время пуска и торможения
- должен обеспечивать принудительное изменение скорости и направления вращения

Наибольшее распространение получили однофазные и трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.



# УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОПРИВОДА



# ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛ. ДВИГАТЕЛЯМ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И МАШИН:

- В бытовых холодильниках применяют только однофазные асинхронные двигатели
- Для пуска двигателя на статоре размещена пусковая обмотка, которая включается кратковременно (0,3...0,4с)
- Пуск двигателя осуществляется в диапазоне напряжений  $U_{п} = (0,85...1,1)U_{н}$
- Эл.двигатель должен иметь повышенный пусковой и  $T_{max}$  моменты
- Эл.двигатель должен иметь высокий КПД и долговечность изоляции
- Стойкость материалов и покрытий к химическим и физическим воздействиям хладагента и масла должна быть надежной



# ТЕМА: ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ ЭЛ.ПРИВОДА.

## □ Уравнение равновесия моментов

При работе э.п., он развивает на валу вращательный момент  $M$ , н\*м, который уравнивается моментами сопротивления в различных звеньях рабочей машины и привода.

$$M = M_c + M_{дин} , \quad (1)$$

где  $M_c$  – статический момент сопротивления, обусловленный полезной работой машины и трением вращающихся частей, н\*м, (всегда направлен против вращения ротора двигателя);

$M_{дин}$  – динамический момент сопротивления, н\*м, обусловлен изменением кинетической энергии вращающихся частей э.п. Может быть направлен как по направлению вращения ротора, так и в обратную сторону



$$M_{\text{дин}} = J(d\omega/dt) , \quad (2)$$

где  $J$  – момент инерции,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ , (приводится в справочниках);  
 $\omega$  – угловая скорость, рад/с.

$$\omega = \pi n/30 , \quad (3)$$

где  $n$  – частота вращения, об/мин.

Подставив (3) в (2) получим основной закон движения  
(зависимость динамического момента от частота вращения двигателя)

$$M_{\text{дин}} = (J/9,55)*(dn/dt) \quad (4)$$

Если  $M_{\text{дин}}$  и  $M$  направлены в одну сторону, то привод ускоряется.

Если  $M_{\text{дин}}$  и  $M$  имеют противоположное направление, то привод замедляется.



- Если двигатель работает с постоянной скоростью, то

$$M_d = 0,$$

значит двигатель работает в установившемся режиме работы, при котором

$$M = M_{ст}$$

- При неустановившемся движении

$$M_d \neq 0$$



# ТЕМА: МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

□ Величины, определяющие механические характеристики эл.дв.:

 Номинальная мощность  $P_n$ , кВт

 Номинальный вращающий момент  $M_n$ , н\*м

 Номинальная скорость вращения  $n_n$ , об/мин

 Связь между этими величинами определяется по формуле:

$$  $P_n = M_n * \omega_n$$$

Преобразовать через «n»



# МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

- Механической характеристикой называется функциональная зависимость скорости от момента на валу двигателя.

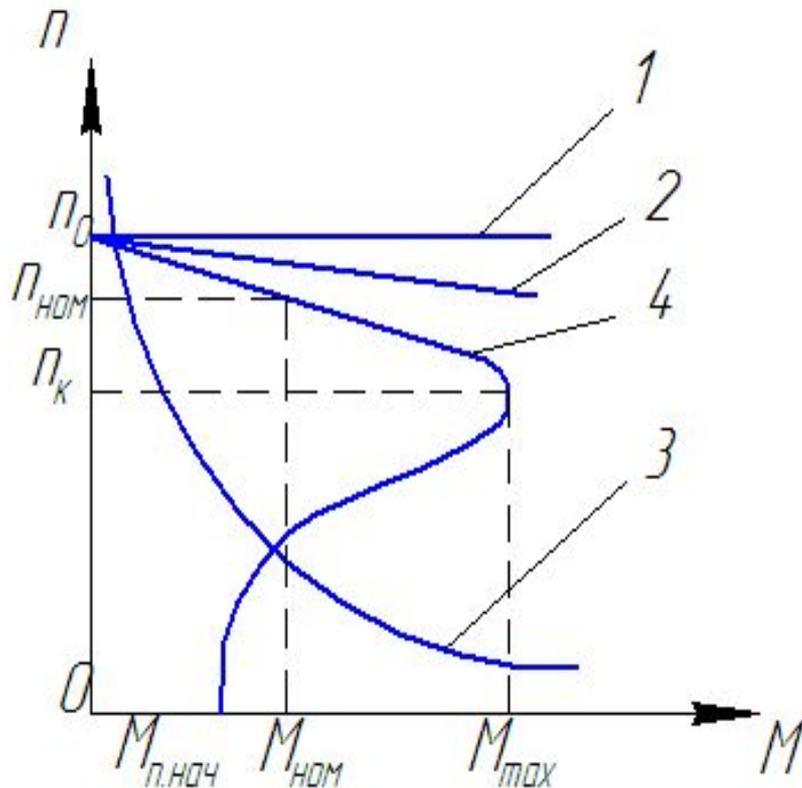
$$M = f(n).$$

$M = f(n)$  – называется естественной, если снята при номинальных параметрах.

$M = f(n)$  – называется искусственной, если снята при изменении напряжения в сети или при включении добавочного сопротивления в цепь



# МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫРАЖАЮТСЯ ГРАФИЧЕСКИ И ИМЕЮТ ВИД



- 1 – синхронные двигатели (абсолютно жесткие –  $n$  не изменяется с изменением нагрузки)
- 2 – двигатели постоянного тока с параллельным возбуждением - шунтовые (жесткие –  $n$  изменяется с изменением  $M$ , но незначительно)
- 3 – двигатели пост.тока с последовательным возбуждением - серийные (мягкие –  $n$  значительно уменьшается с изменением момента)
- 4 – асинхронные двигатели

Естественные механические характеристики двигателей



## ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, КОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

- Частота вращения идеального холостого хода  $n_0$  (для асинхронных двигателей – частота вращения магнитного поля), которую двигатель мог бы развивать при полном отсутствии статического (тормозного) момента на валу ( $M_c=0$ )
- Начальный пусковой момент, развиваемый двигателем  $M_{п.нач.}$ , развиваемый двигателем во время разгона ( $n=0$ )
- Номинальная частота вращения  $n_{ном}$  (паспортная), развиваемая двигателем при номинальной нагрузке ( $M=M_{ном}$ )
- Критический момент  $M_k$  для асинхронных и синхронных, т.е. наибольший момент, который может развить на своем валу двигатель ( $n_{кр}$ )



# НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

- (пуск, торможение, реверс двигателя, его переходы с одной скорости на другую в процессе ее регулирования или изменения нагрузки на валу – переходной режим ЭП).
- При пуске и торможении в обмотках электродвигателя протекают большие токи, что может привести к перегреву изоляции обмоток, поэтому необходимо применять различные способы пуска и торможения скорости, определять время переходного режима.



# ПЕРЕХОДНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛ. ПРИВОДА

## Время пуска

- $n_1 = 0;$
- $n_2 = n_H ;$
- $M = M_{п.}$
- $t_{\text{пуск}} \text{ (в МИН)} =$   
 $= J^* n_H / 9,55 (M_{\text{пуск}} - M_c)$

## Время торможения

- $n_1 = n_H ;$
- $n_2 = 0;$
- $M = 0.$
- $t_{\text{ост}} \text{ (в МИН)} =$   
 $J^* (-n_H) / 9,55 (-M_c)$



# ЗАДАЧА

- Определить время торможения эл.двигателя, который приводит в движение механизм у которого  $M_c = 0,5M_n$ . Двигатель имеет следующие характеристики: мощность  $P_n = 1,5 \text{ кВт}$ ;  $n_n = 930 \text{ об/мин}$ ;  $J = 0,017 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $M_{\text{п}}/M_n = 1,2$ .



# УСЛОВИЯ ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

- Легкие условия пуска:  $M_c=(0,1\dots0,4)M_n$
- Средние условия пуска:  $M_c(0,5\dots0,6)M_n$
- Тяжелые условия пуска  $M_c=(1\dots2)M_n$  -  
(вентиляторы, компрессоры, турбокомпрессоры).
- Для оборудования с тяжелыми условиями пуска применяют соединения через фрикционные центробежные муфты, гидромуфты или эл. магнитные муфты скольжения.



# УМЕНЬШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПУСКА

- Применяют двигатели с повышенным пусковым моментом, у которых статорная обмотка уложена в глубокий паз или двигатели, у которых двойная короткозамкнутая обмотка ротора.
- На время пуска переключают статорную обмотку двигателя со схемой соединения звездой на треугольник
- Применяют двухскоростные АД. Пуск производят в 2-ступени: сначала на низкой скорости, т.к. двигатель имеет большой момент при пуске, затем на большей скорости.



# ПЕРЕГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

$$\lambda = M_{\max}/M_n$$

$\lambda$  указывается в паспортных данных двигателя или в каталоге.

Для АД  $\lambda = 1,8 \dots 2,5$ ;

для СД  $\lambda = 2,3 \dots 3,3$ ;

для ДПТ  $\lambda = 2 \dots 3$



# ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

- должен иметь необходимые  $M_n$ ,  $n_n$ ,  $M_{\text{пуск}}$
- Конструкция двигателя должна соответствовать условиям окружающей среды и удобное соединение с рабочей машиной (взрывозащищенные...)
- При выборе схемы управления обращать внимание на тип привода (регулируемый или нерегулируемый); род тока; величину напряжения (220, 380, 3000, 6000, 127 В; дпт – 110, 220, 480 В)



# ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. НАЗНАЧЕНИЕ

- ДПТ применяются в приводах, требующих регулирования скорости вращения в широком диапазоне.
- ДПТ имеют большой пусковой момент (транспортёры, подъёмники, компрессоры и др)
- В автоматических устройствах исполнительных механизмов - как преобразователи сигналов.
- ДПТ могут работать с резким изменением направления вращения (тяжёлые реверсные нагрузки).
- ДПТ обратимы, т.е. могут работать как в режиме двигателя, так и в режиме генератора

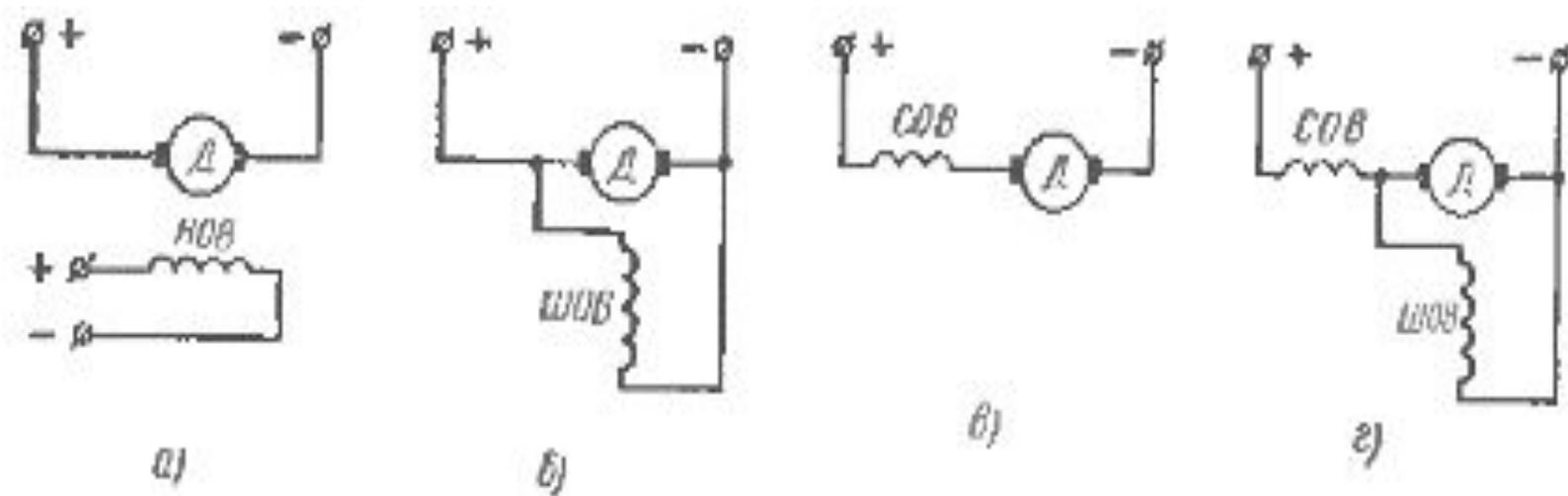


Недостаток – это коллектор, (якорь). Изготовить этот узел достаточно сложно и дорого. Щёточный аппарат требует идеальной чистоты.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ДПТ ПО СПОСОБУ ВКЛЮЧЕНИЯ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

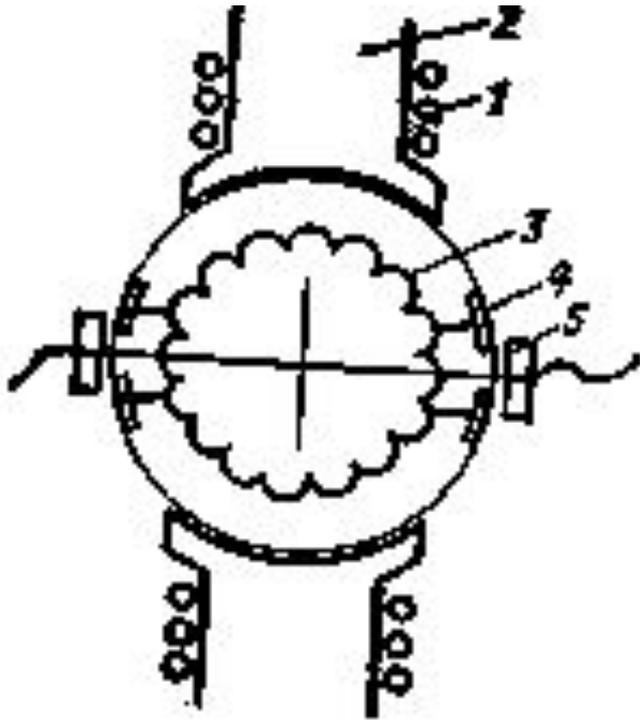
- а) С независимым возбуждением
- б) С параллельным возбуждением (шунтовый)
- в) С последовательным возбуждением (серийный)
- г) Со смешанным возбуждением (компаунд-двигатели)



$C_1, C_2$  – независимое возбуждение;  
 $Ш_1, Ш_2$  – параллельное возбуждение;  
 $Д_1, Д_2$  – последовательное возбуждение.



# ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

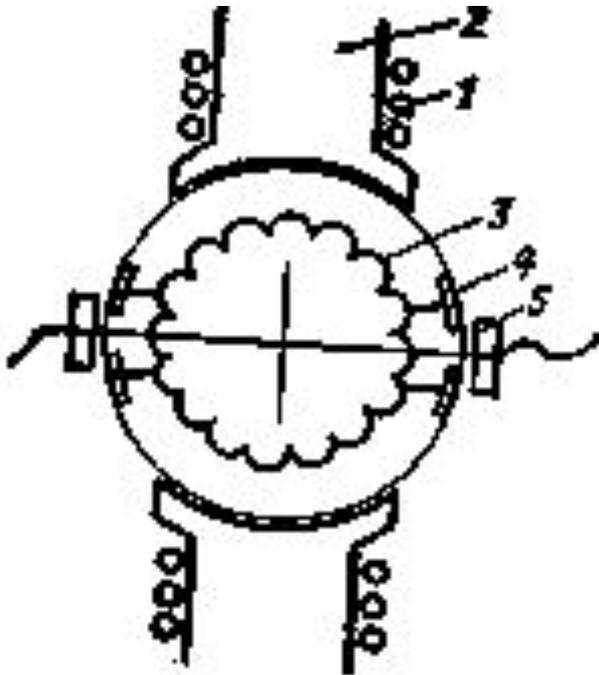


- 1 – обмотка возбуждения
- 2 – полюса неподвижные
- 3 – обмотка якоря вращающаяся
- 4 – коллектор
- 5 – щетки неподвижные



# ДПТ СОСТОИТ:

Из неподвижной станины (статор) и вращающегося якоря, разделенных воздушным зазором. На станине при помощи болтов укреплены магнитные полюса, на которых размещена обмотка возбуждения.

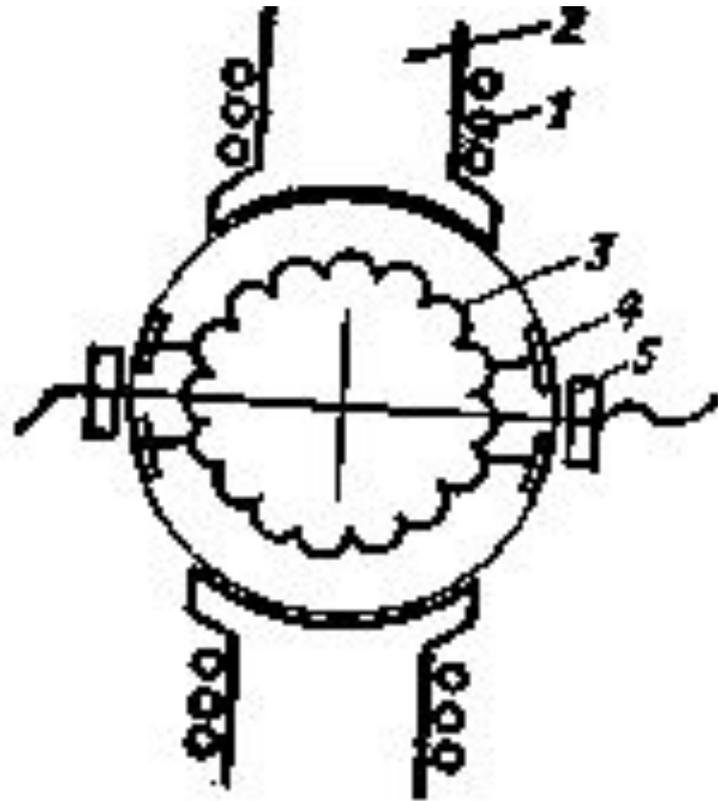


Полюсы различают главные и добавочные:

- главные создают основной магнитный поток;
- добавочные — для улучшения коммутации тока

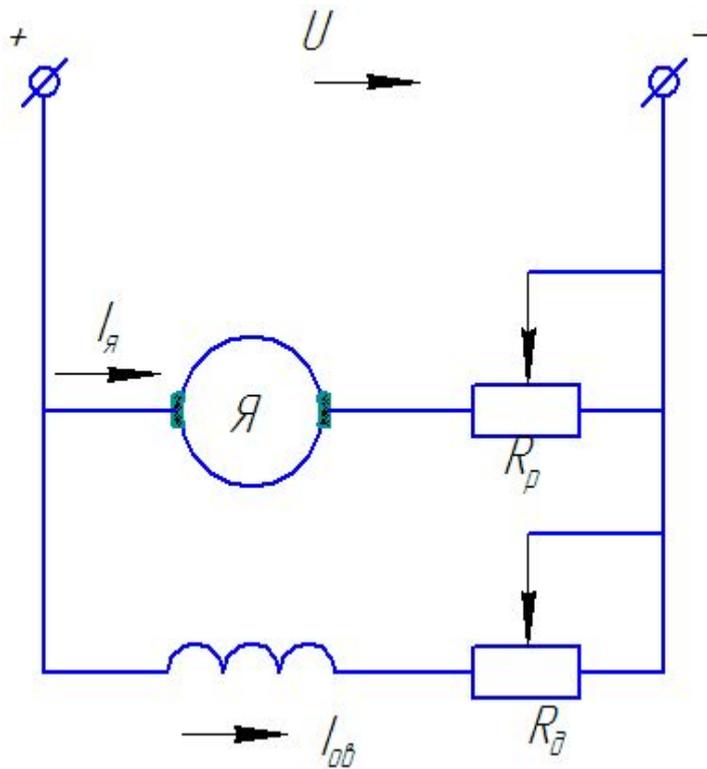


- Полюса набираются из стальных листов и оканчиваются полюсными наконечниками, форма которых определяет распределение магнитного потока в воздушном зазоре.
- Якорь представляет собой цилиндр, набранный из штампованных стальных листов, изолированных друг от друга и закрепленных на валу. В его пазы укладывается обмотка якоря, изготовленная из отдельных секций медной проволоки



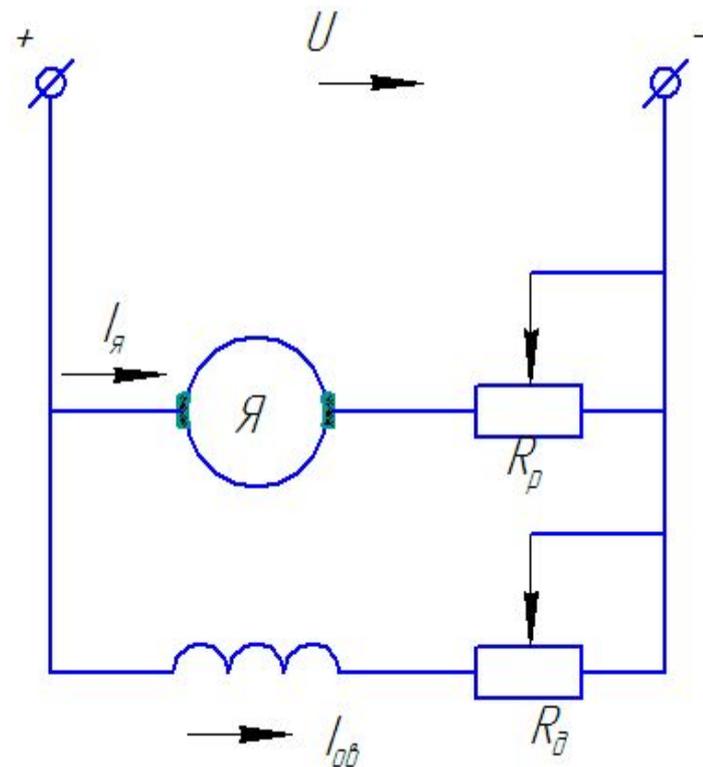
# ДПТ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

- Обмотка якоря изолируется от пазов и крепится в них спец. клиньями или бандажами. Секции обмотки якоря подключают к коллектору, расположенному на валу якоря и изолированному от вала.
- Коллектор состоит из отдельных клиновидных медных пластин, изолированных друг от друга прокладками. К поверхности коллектора прилегают угольные или графитовые неподвижные щетки, к которым присоединены провода внешней сети.



# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДПТ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

- Под действием напряжения сети  $U$  в цепях якоря и обмотки возбуждения появляются токи. Ток якоря и ток ОВ образуют магнитный поток  $\Phi$ , который начнет взаимодействовать с током якоря, что приводит к образованию вращательного момента на валу двигателя  $M$ .



$$M = K * I_{\text{я}} * \Phi, \text{ Н*М} \quad (1)$$

где  $k$  – постоянный коэффициент, зависит от конструкции, приводится в паспорте;

$\Phi$  – магнитный поток;

$I_{\text{я}}$  – ток в якоре.

$$I_{\text{я}} = (U - E) / (r_0 + r_p), \quad (2)$$

где  $E$  – эдс;

$r_0$  – внутреннее сопротивление обмотки якоря, Ом;



Под действием момента  $M$  якорь начнет вращаться со скоростью  $N$ , при этом в обмотке индуцируется ЭДС  $E$ ,  $B$ , которая определяется по формуле:

$$E = C * \Phi * n, \quad (3)$$

где  $C$  – постоянный коэффициент, зависит от конструкции обмоток, приводится в паспорте.

При подставлении (3) в (2) :

$$n = (U - I_{\text{я}} * r_{\text{я}}) / C \Phi$$



- Если двигатель работает при номинальных параметрах (номинальное напряжение, номинальный ток, номинальное сопротивление), то он имеет номинальную скорость (об/мин).

$$\square n = (U_n - I_{ян} * r_я) / C\Phi$$

- Электрическая мощность на валу двигателя, Вт, определяется по формуле:

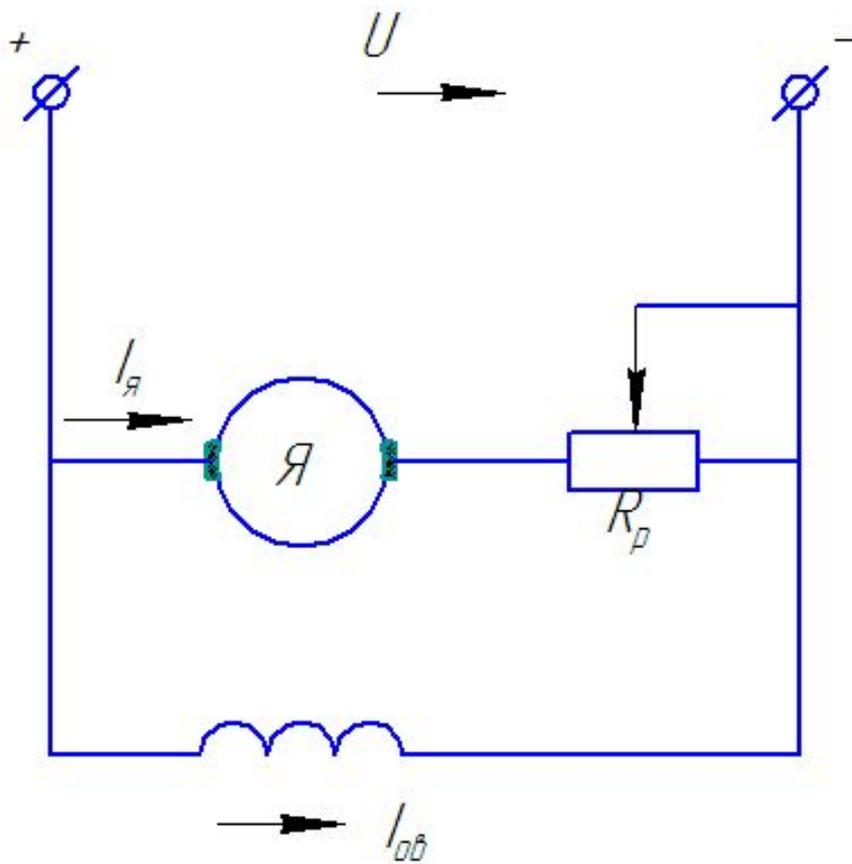
$$\square P = U * I$$

$$\square P = E * I + I^2 * r_я$$

где  $I^2 * r_я = \Delta p$  – мощность электрических потерь.



# РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДПТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

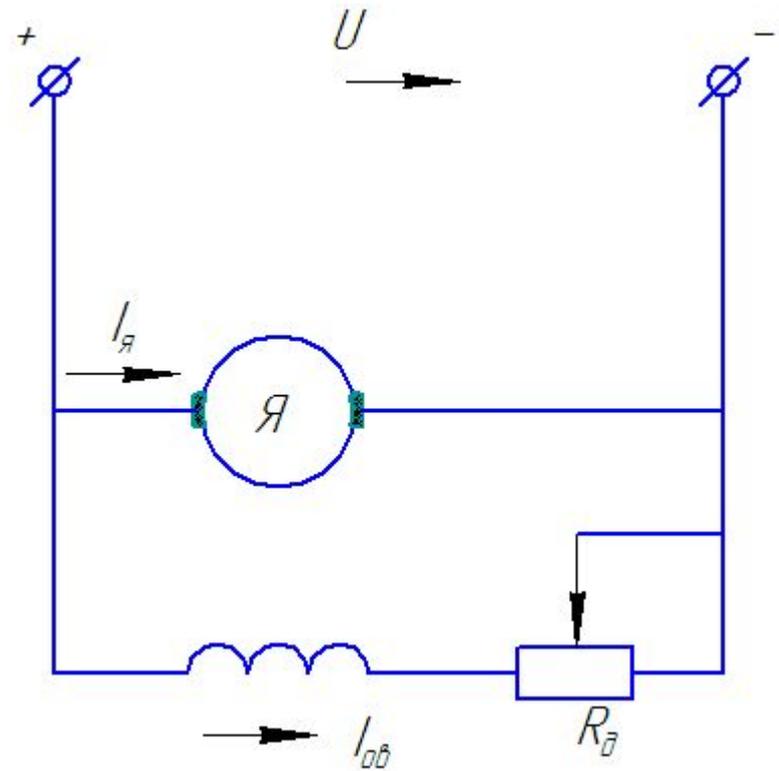


- Изменением величины сопротивления включенного в цепь якоря.
- Скорость изменяется вниз от основной



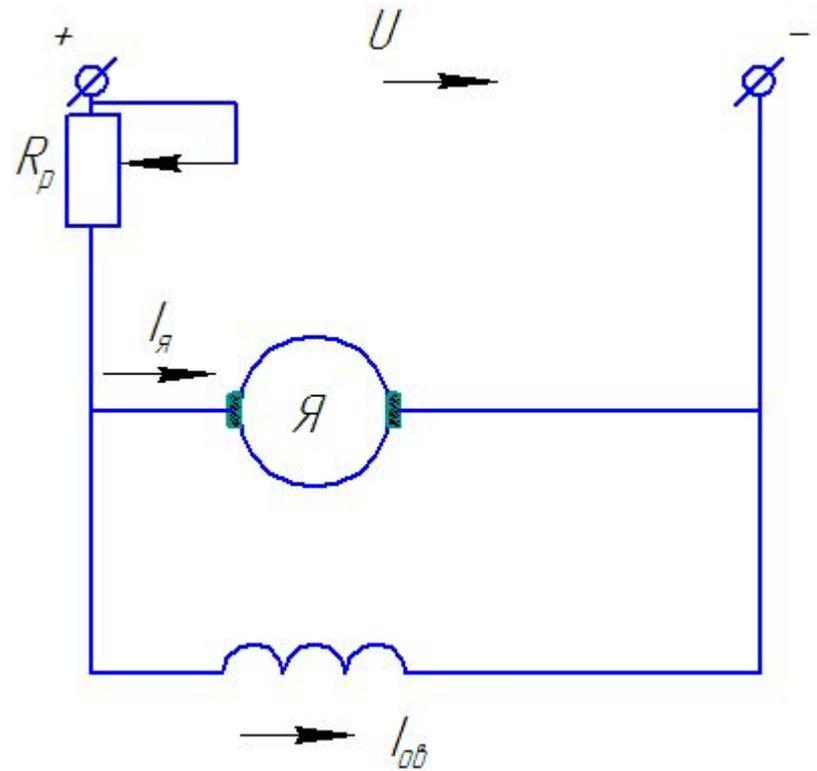
# РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДПТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

- Изменением величины сопротивления включением регулируемого сопротивления в обмотку возбуждения.
- Скорость изменяется вверх от основной

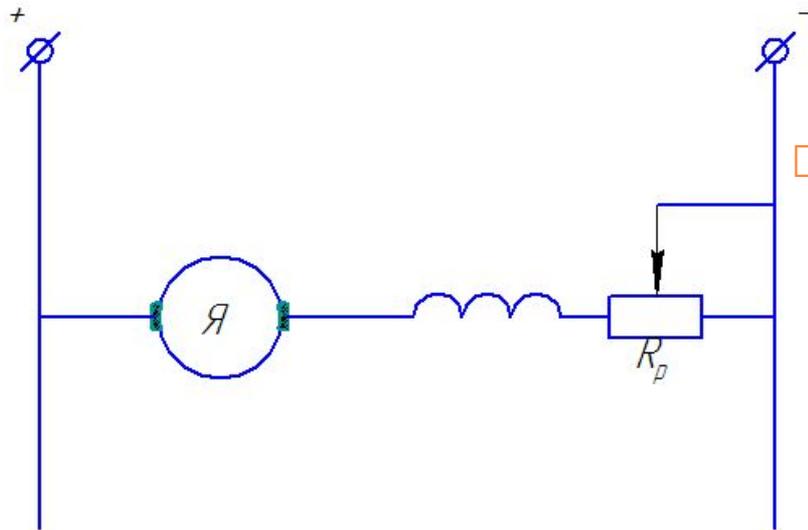


# РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДПТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

- Изменением напряжения, подводимого к обмотке якоря.
- Недостаток  $\eta=0,6\dots0,7$ , т.к. энергия тратится в преобразовательном устройстве, высокая стоимость



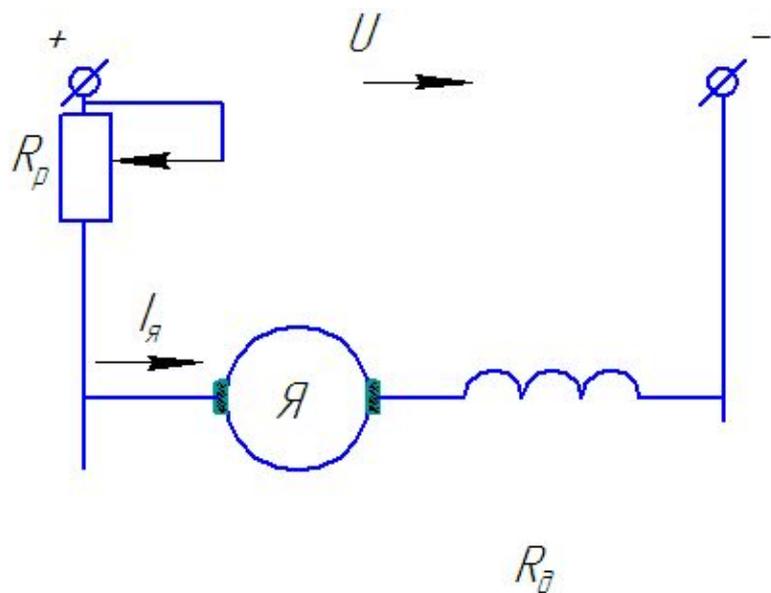
# РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДПТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ



- Включением регулировочного сопротивления в цепь якоря.
- Скорость меняется как вверх так и вниз от основной



# РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДПТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

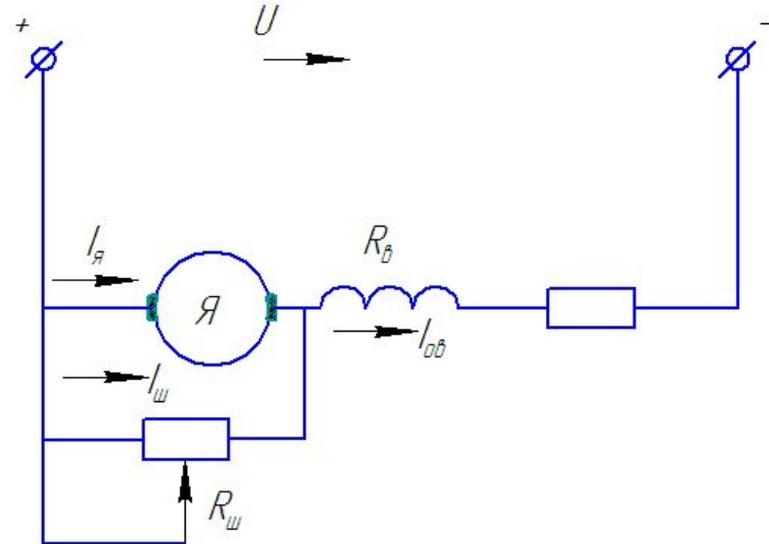


- Включением сопротивления параллельно обмотке возбуждения
- Скорость меняется вверх от основной



# РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ДПТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

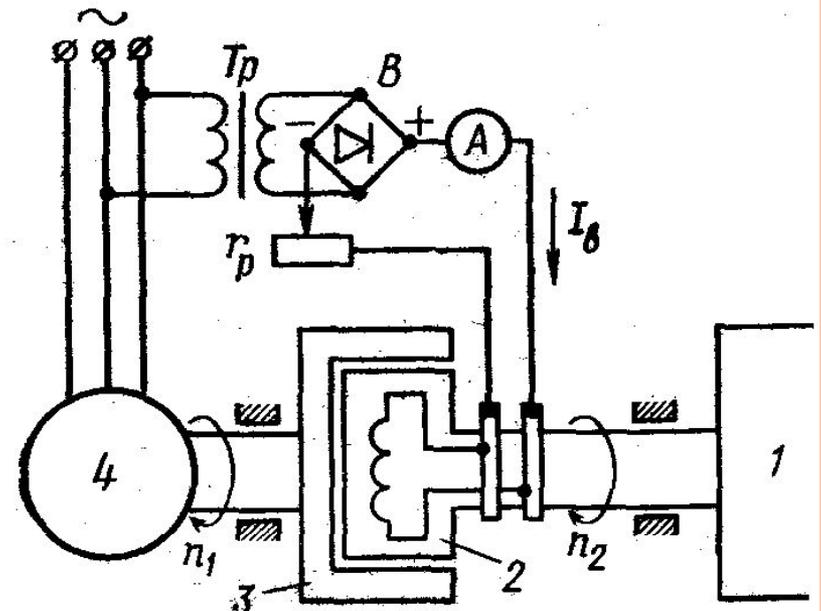
- Изменением магнитного потока  $\Phi$ , шунтируя реостатом обмотку якоря или обмотку возбуждения.



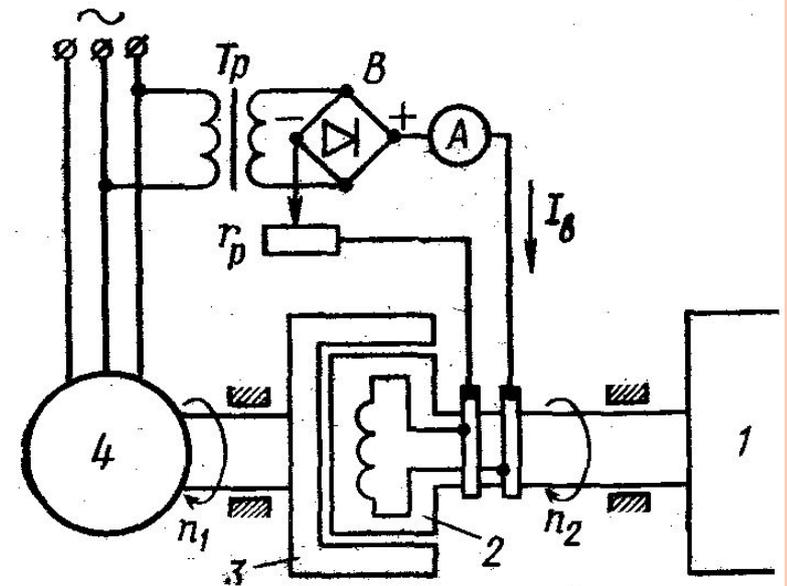
# РЕГУЛИРОВАНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМС И ЭМУ

□ Муфта скольжения состоит из двух механически не связанных между собой вращающихся частей - якоря 3, представляющего собой стальной корпус с уложенной в ней обмоткой, и индуктора 2.

АД 4 приводит во вращение жестко соединенный с ним якорь 3. При вращении якоря в магнитном поле индуктора 2 и в обмотках якоря индуцируется эдс. Возникающий в них ток создает свое магнитное поле, кот. взаимодействует с магнитным полем индуктора, что создает вращающий момент.

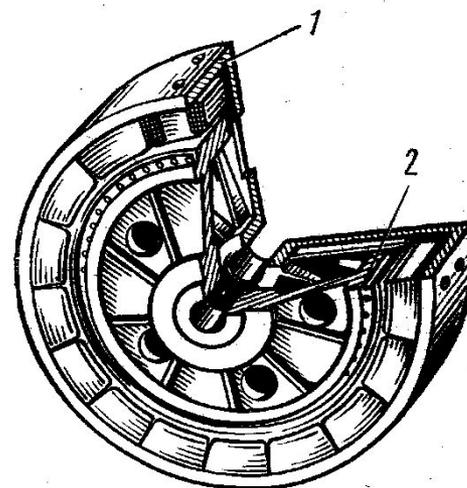


- Частота вращения зависит от момента сопротивления  $M_c$  на валу рабочей машины и тока возбуждения  $I_b$  обмоток индуктора. Стабилизацию частоты вращения обеспечивают включением в цепь якоря тахогенератора обмотки управления электромашиного усилителя (ЭМУ).



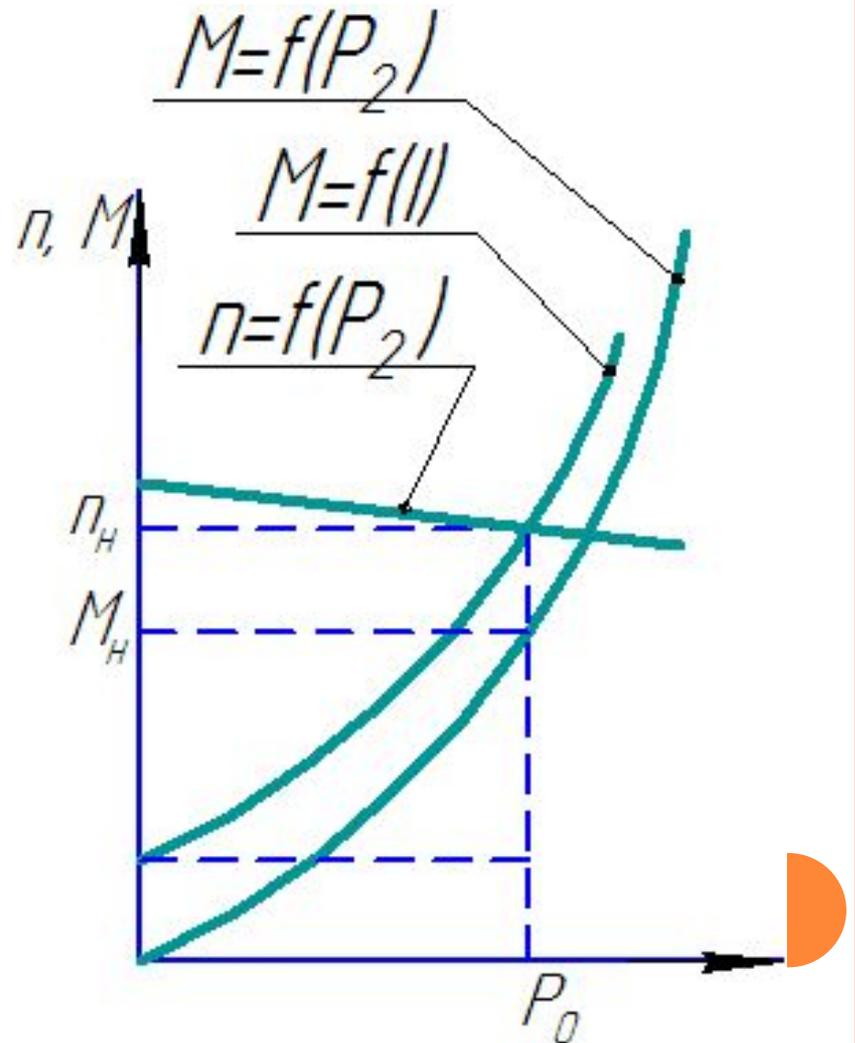
# РЕГУЛИРОВАНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМС И ЭМУ

Другой вариант  
исполнения  
муфты: индуктор 1  
расположен  
на внешней  
полумуфте,  
а якорь 2 – внутри  
индуктора.



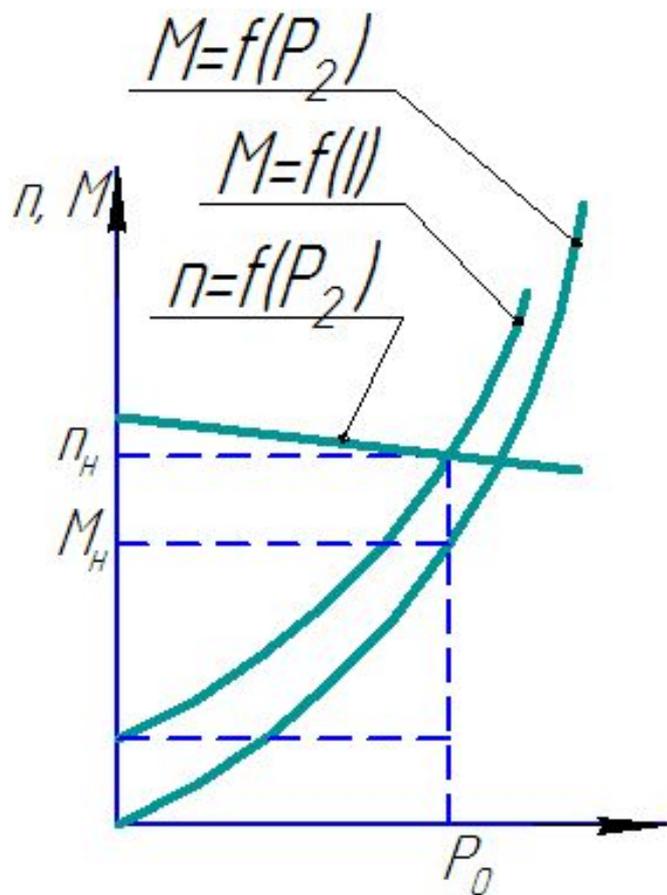
# РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДПТ

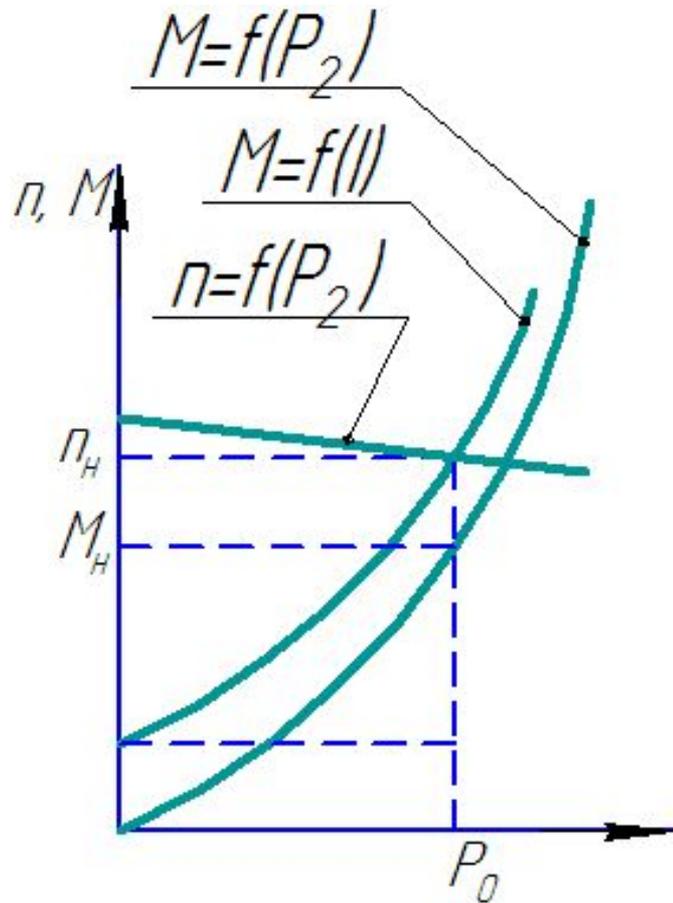
- Рабочие характеристики, определяющие эксплуатационные свойства двигателя, выражаются графически. Для бытового холодильника ДХМ-3 имеют вид:



# РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ БЫТОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ДХМ-3

- $M=f(P_2)$  – зависимость момента на валу двигателя от полезной мощности на валу двигателя (при  $U=\text{const}$ ;  $I_{\text{ов}}=\text{const}$ ) и называется рабочей характеристикой.

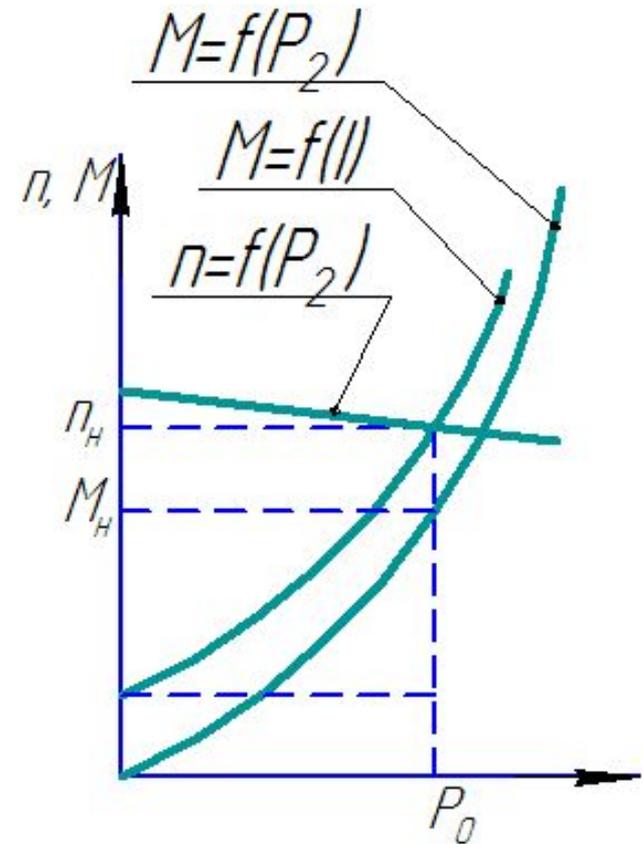




- $n=f(P_2)$  – зависимость скорости на валу двигателя от полезной мощности на валу двигателя и называется механической характеристикой или скоростной, выражается формулой (об/мин)
- $n=(U-I_{\text{я}} * r)/(C * \Phi)$
- $U=\text{const}$ , на скорость влияет падение напряжения в цепи якоря ( $I_{\text{я}} * r$ ) и поток возбуждения  $\Phi$ .



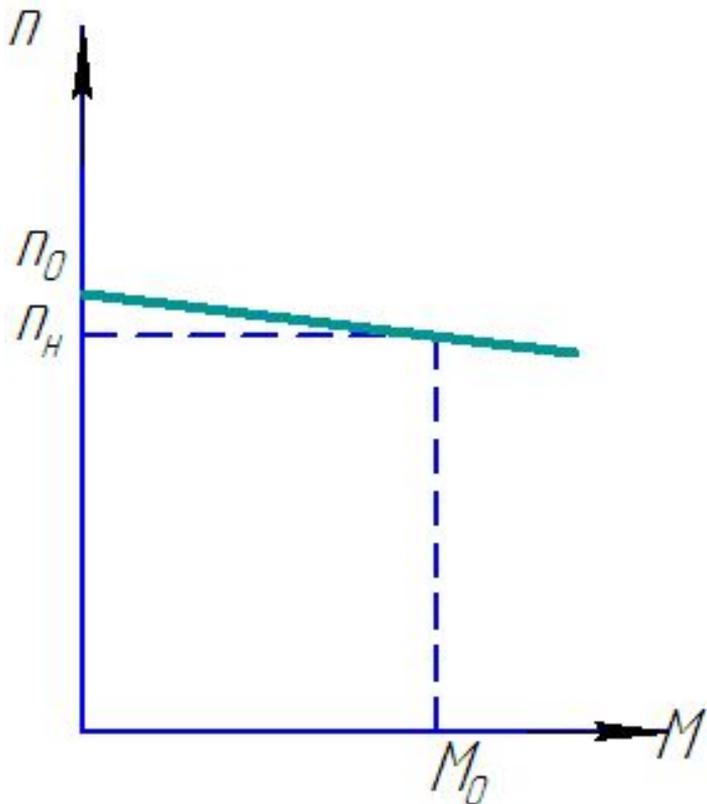
- $M=f(I)$  – зависимость вращающего момента на валу от тока нагрузки, называется нагрузочной характеристикой.
- Изменение скорости вращения двигателя при переходе его от номинальной нагрузки к холостому ходу выражается в % и называется номинальным изменением скорости и определяется по формуле
- $\Delta n_n = (n_0 - n_n) * 100\% / n_n$ ,
- где  $n_0$  – скорость холостого хода.



Обычно  $\Delta n$  составляют 2...8%, поэтому скоростная характеристика ДПТ параллельного возбуждения называется жесткой.



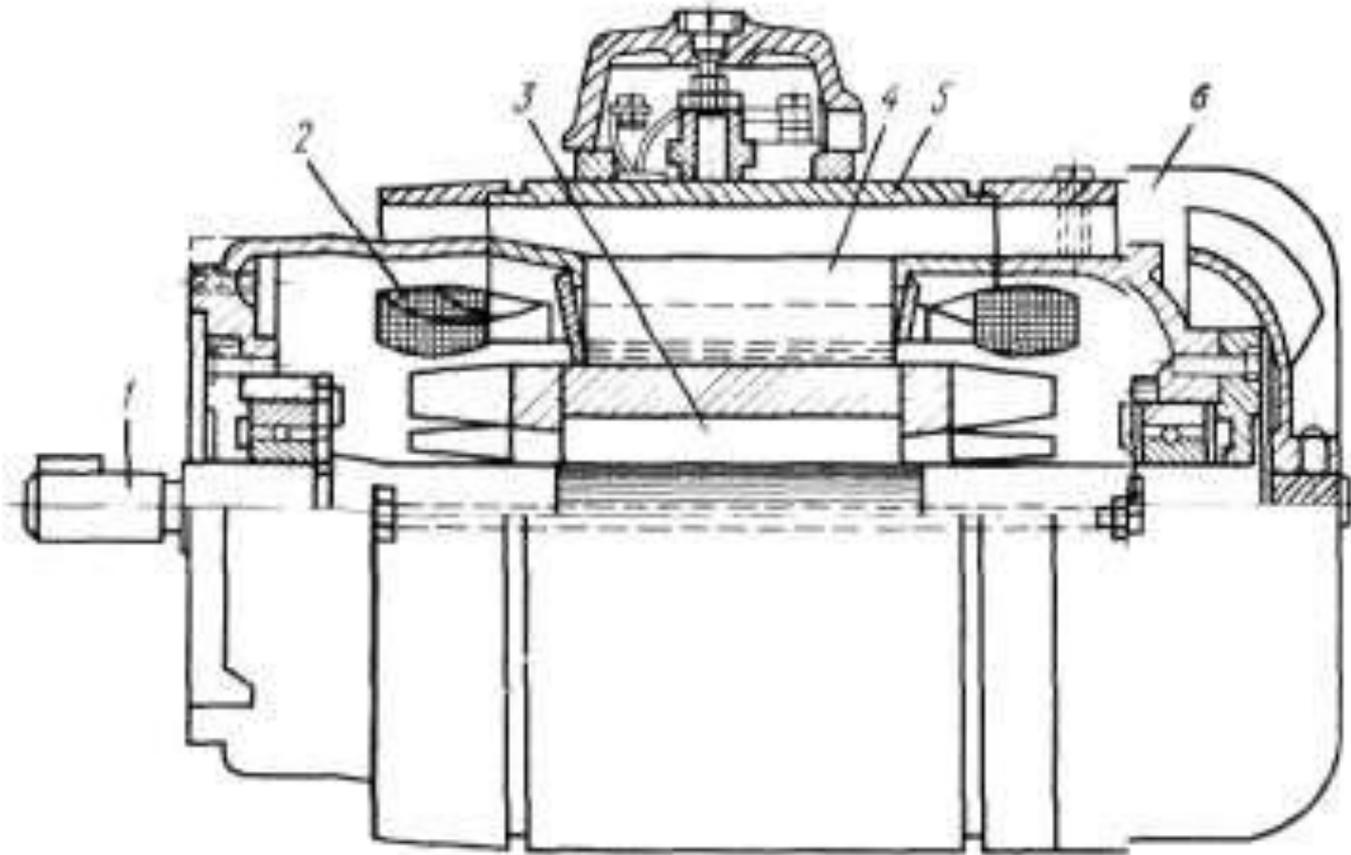
СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  $n=f(P_2)$  ИДЕНТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКЕ  $n=f(M)$ -НАЗЫВАЕТСЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ



- Угол наклона характеристики определяется величиной сопротивления в цепи якоря, чем больше  $r_{я}$ , тем больше угол наклона.
- $n=f(M)$  называется естественной, если она снята без добавочных сопротивлений в цепи якоря и обмотки возбуждения, и искусственной, если она снята при включенных добавочных сопротивлениях.
- $n=U/(C*\Phi) - M*r/(C*k*\Phi^2)$



# ДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. АД.



- 1- вал;
- 2- обмотка статора;
- 3- ротор;
- 4- сердечник статора;
- 5- корпус;
- 6- щит подшипниковый.

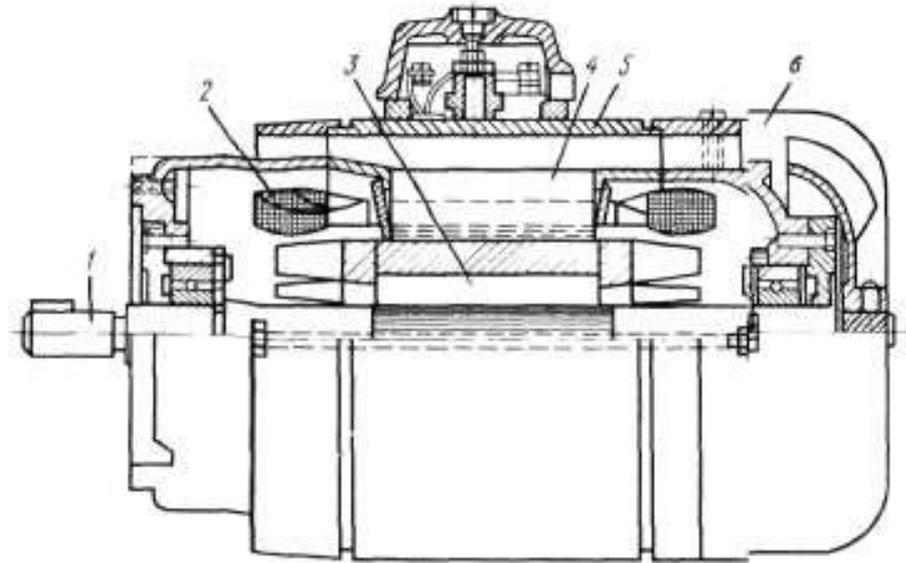


# АД СОСТОИТ:

Из внешней неподвижной части статора и подвижного ротора.

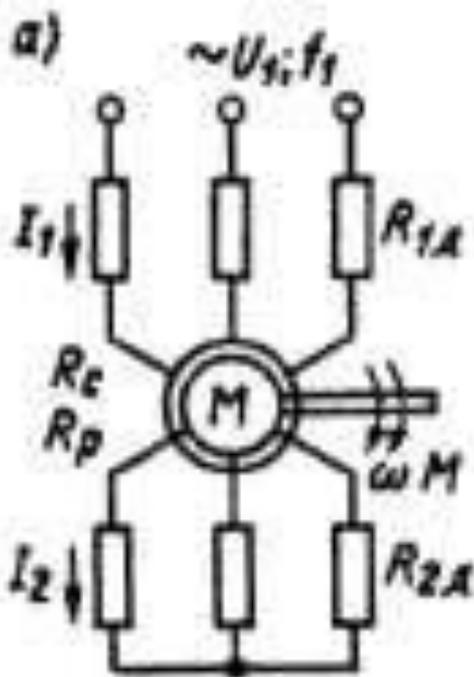
Статор набирают из электротехнической стали в форме сердечника и имеет пазы, в которые укладывают обмотку статора, заранее изготовлены на специальном шаблоне в виде секций.

Ротор имеет форму цилиндра, также набирается из листов из эл.тех. стали. В пазы ротора закладывается роторная обмотка.



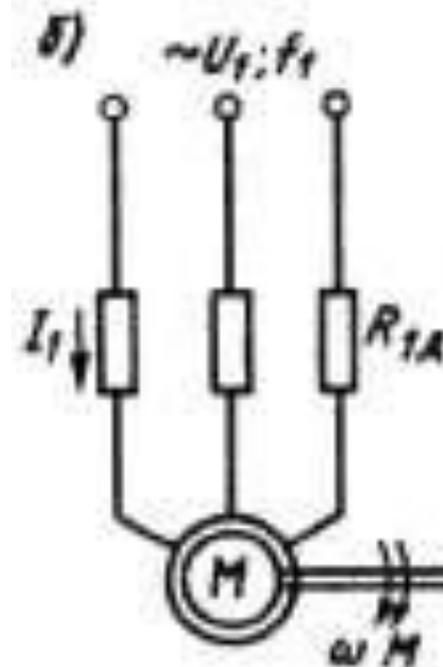
# ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБМОТКИ РОТОРА:

С фазным ротором



Обычная трехфазная обмотка из проводников с выводами на три контактных кольца (на внешние зажимы).

С короткозамкнутым Ротором (к.з.)



Обмотка выполняется заливкой алюминия в пазы ротора («беличья клетка»). Обмотка не имеющая выводов получила название короткозамкнутой.

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АД

- Основан на явлении эл.магнитной индукции: при подачи напряжения на обмотку статора возникает вращающееся магнитное поле, скорость которого зависит от частоты тока и числа пар полюсов:

$$n_0 = 60f/P$$

где  $f$ -частота тока, Гц;

$P$ -число пар полюсов.



# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АД

- Магнитное поле пересекает обмотку ротора со скоростью  $n_0$  и наводит в ней ЭДС. Под действием ЭДС в обмотке ротора начинает протекать ток, который будет взаимодействовать с магнитным потоком  $\Phi$ , что приведет к вращательному моменту  $M, \text{н} \cdot \text{м}$ , на валу ротора:

$$M = kI\Phi$$

- Ротор начинает вращаться в ту же сторону, что и магнитный поток, но с меньшей скоростью.
- Величина, характеризующая отличие этих скоростей называется величиной скольжения:

$$S = (n_0 - n_n) * 100\% / n_0 \text{ — указывается в паспорте.}$$



# ПУСК ДВИГАТЕЛЕЙ

- Пусковые свойства электродвигателей характеризуются величинами пускового момента  $M_{\Pi}$  и пускового тока  $I_{\Pi}$  ( $S=1$ ).
- Отношение начального пускового тока к номинальному называется кратностью пускового тока.
- Одной из основных задач пуска является снижение величины пускового тока и увеличение пускового момента.



## ПУСК ДВИГАТЕЛЯ

### С фазным ротором

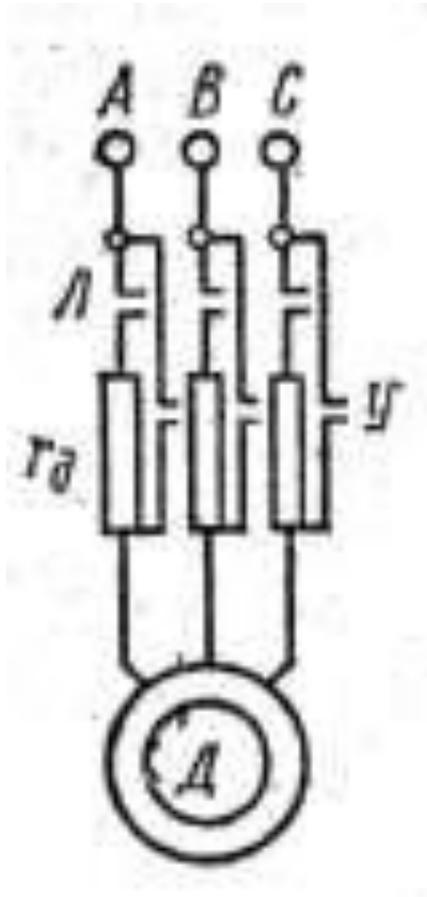
- Уменьшение пускового тока производится путем увеличения активного сопротивления в цепи ротора

### С короткозамкнутым ротором

- При пониженном напряжении:
- 📌 Переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник»
- 📌 Использованием активного или индуктивного сопротивлений
- 📌 Применением автотрансформаторов



# ВКЛЮЧЕНИЕ АКТИВНОГО РЕЗИСТОРА В ЦЕПЬ ЯКОРЯ

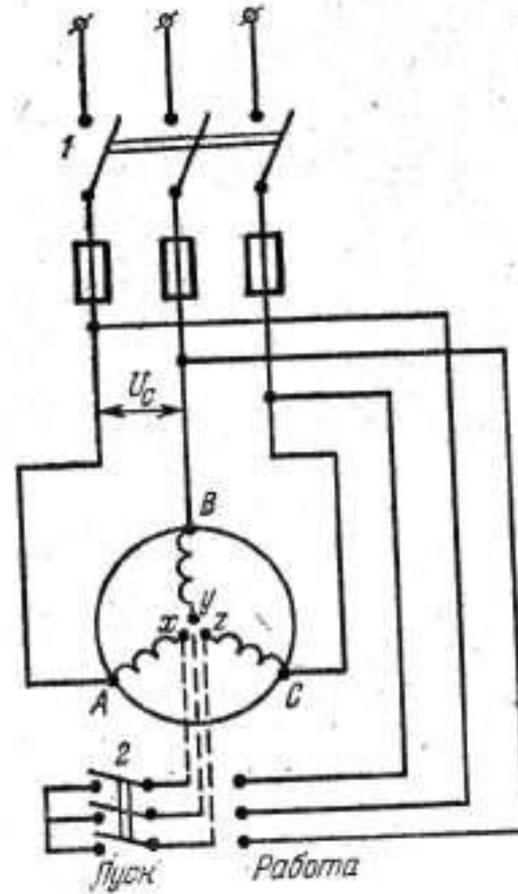


- Для низковольтных двигателей
- При замыкании контактов Л двигатель оказывается подключенным к сети через пусковые резисторы  $r_d$ . После разгона до определенной скорости контакты У замыкаются, резисторы шунтируются и двигатель переходит на работу по естественной характеристике.



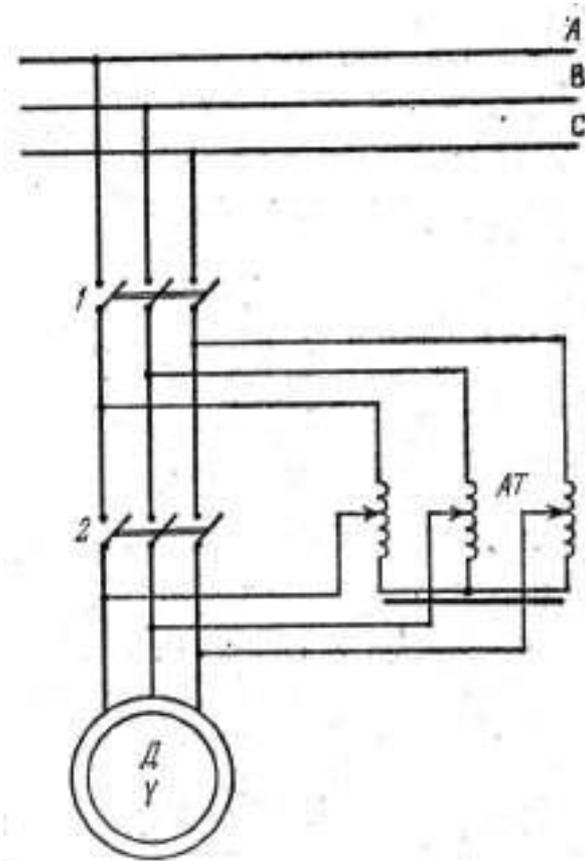
# ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ОБМОТКИ СТАТОРА СО «ЗВЕЗДЫ» НА «ТРЕУГОЛЬНИК»

- Во время пуска обмотка статора включается на «звезду», и только когда двигатель разовьет определенную скорость, она переключится на «треугольник». Во время пуска уменьшается пусковой ток в 3 раза, но также уменьшается и  $M_H$ .



# ПУСК ПРИ ПОМОЩИ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

- Для мощных двигателей.
- При пуске включается переключатель 1 и к двигателю подводится пониженное напряжение от обмотки автотрансформатора. При увеличении частоты вращения двигателя напряжение автотрансформатора повышается. Когда двигатель разовьет номинальную частоту вращения, тогда с помощью специального переключателя 2 его включают на полное напряжение.



# РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1) Изменением  
числа пар  
полюсов (для  
многоско-  
ростных  
двигателей с  
к.з. ротором)

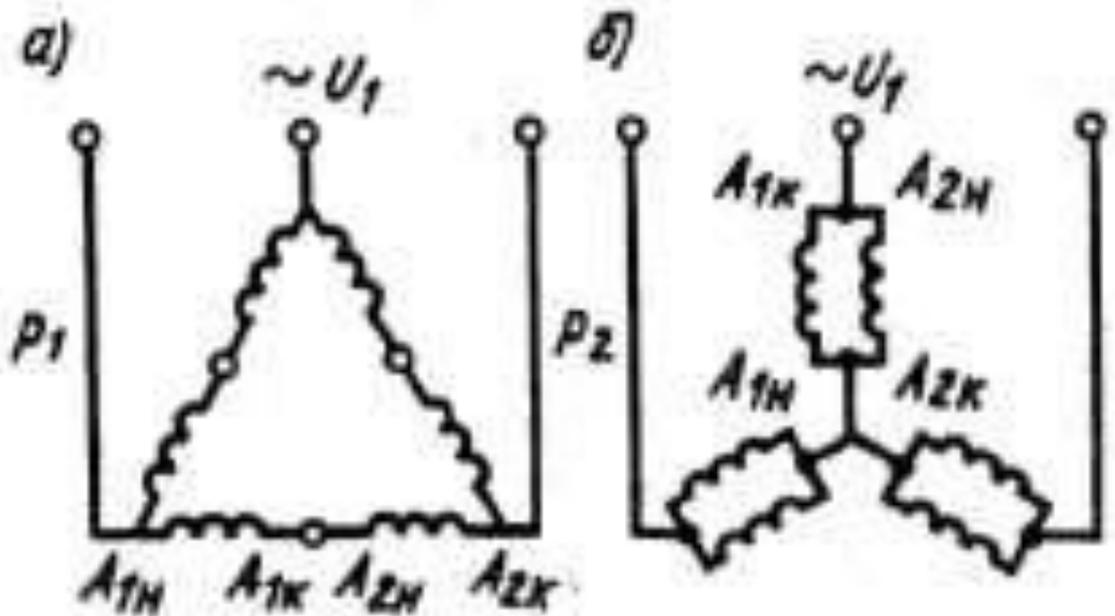
- Наиболее часто применяются две схемы переключения статорных обмоток много скоростных АД:
- С треугольника на двойную звезду
- Со звезды на двойную звезду



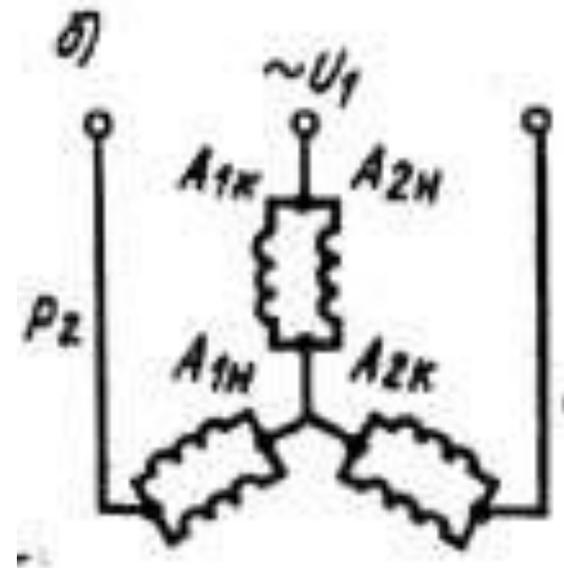
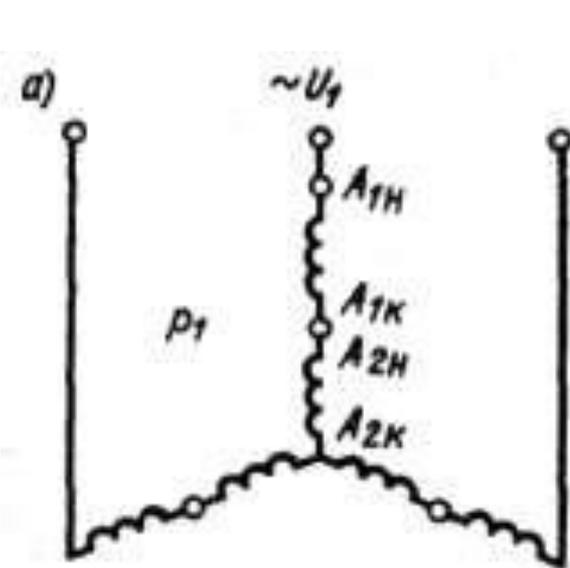
# ТРЕУГОЛЬНИК – ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА

А) секции каждой фазы статора включены последовательно и соединены в треугольник (2 пары полюсов)

Б) фазы статора образованы двумя параллельно включенными секциями (1 пара)



# ЗВЕЗДА - ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА



Соединение обмоток  
в одинарную звезду,  
каждая фаза которой  
образует последовате-  
льно соединенные сек-  
ции (2 пары)



# РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

2) Изменением частоты тока . Обеспечивает хорошую плавность изменения скорости и широкий диапазон регулирования скорости.

□ Двигатель подключается через преобразователь частоты и напряжения. (ПЧ), на вход которого подается стандартное напряжение сети (220, 380 и т.д. В) промышленной частоты 50 Гц, а с выхода снимается соответствующее напряжение и частота. Причем  $U/f = \text{const}$



# РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

3) Включением реостата в цепь ротора двигателя с контактными кольцами

- Диапазон регулирования не более 3:1, он не постоянен и снижается с уменьшением статического момента, т.е. Нагрузки на валу двигателя, и чем меньше нагрузка, тем меньше диапазон регулирования



# ТОРМОЖЕНИЕ АД

- Торможение противовключением
- Генераторный режим с отдачей энергией в сеть  
торможение
- Динамическое торможение
- Режим однофазного включения в сеть



## РЕЖИМ ТОРМОЖЕНИЯ ПРОТИВОВКЛЮЧЕНИЕМ

- Основан на том, что ротор включенного в сеть АД вращается механизмом в направлении, обратном направлению вращения магнитного поля статора.



# ГЕНЕРАТОРНЫЙ РЕЖИМ С ОТДАЧЕЙ ЭНЕРГИЕЙ В СЕТЬ ТОРМОЖЕНИЕ

- Основан на том, что направление вращения двигателя совпадает с направлением вращения магнитного поля. Такое торможение возможно, если ротор двигателя под действием механизма вращается с большей скоростью, чем синхронная частота вращения поля



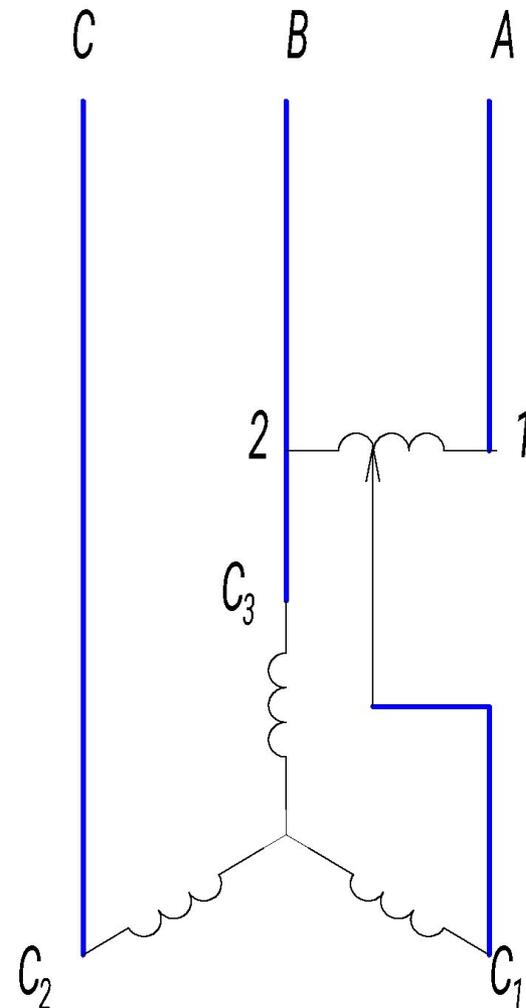
## РЕЖИМ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ АД

- Основан на том, что при отключении обмотки статора от сети трехфазного тока и подключении ее к источнику постоянного тока возникает неподвижное магнитное поле, которое индуцирует ЭДС в проводниках обмотки вращающегося ротора, в результате чего по ней протекает ток.
- Тормозной момент возникает как результат взаимодействия магнитного поля с током обмотки якоря.



## РЕЖИМ ОДНОФАЗНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В СЕТЬ

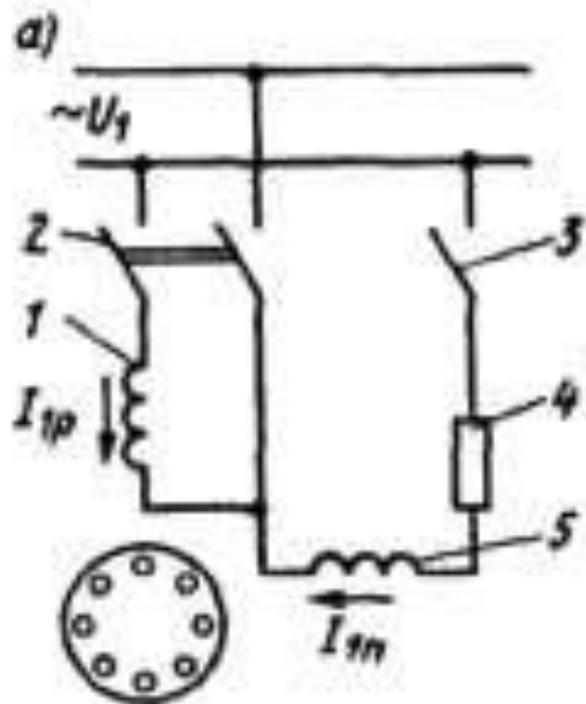
- Является частным случаем несимметричного питания обмоток статора. Для получения несимметрии напряжения включен автотрансформатор. К автотрансформатору подключается фаза  $C_1$ .
- Появление несимметричного напряжения вызывает в электродвигателе образование двух вращающихся магнитных потоков, направленных в разные стороны.



# ОДНОФАЗНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ (ДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА)

- Применяются для однофазной сети переменного тока (холодильники). Разновидностью их являются исполнительные двигатели, которые применяются в различных устройствах автоматического управления и характеризуются возможностью широкого диапазона регулирования скорости.





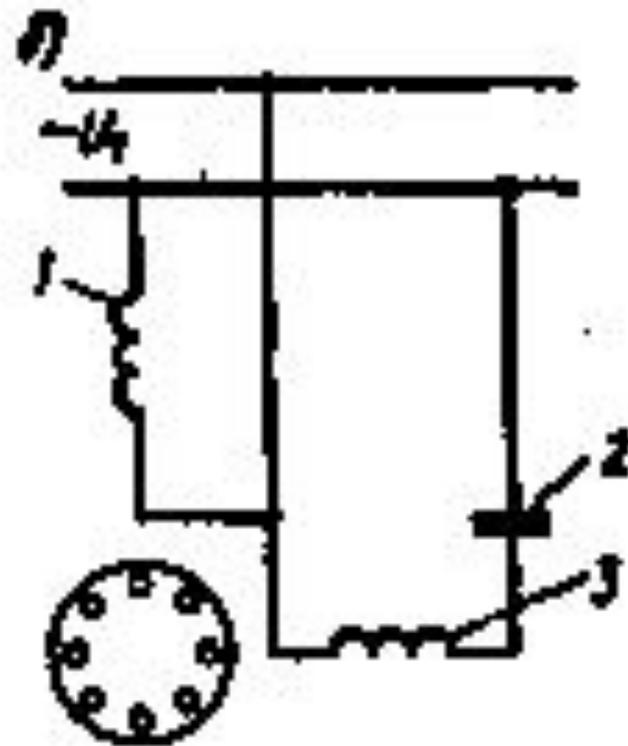
- Сначала замыкаются ключи 2,3, подключающие обе обмотки (для повышения пускового момента) к сети и АД начинает разгоняться. Через определенное время (реле времени) при определенной скорости ключ 3 отключит пусковую обмотку 5 и двигатель будет продолжать работать только с рабочей обмоткой 1.



б) Если емкость конденсатора 2 подобрать таким образом, что ток пусковой обмотки 3 при неподвижном роторе был бы сдвинут относительно тока рабочей обмотки 1 на угол  $90^{\circ}$ , то АД при трогании с места будет иметь круговое вращающее магнитное поле и сможет развивать значительный пусковой момент.

Если пусковая обмотка с конденсатором не отключаются в основном режиме, в таком случае обмотка 3 будет рабочей.

Двигатель называется конденсаторным и представляет собой двухфазный АД; имеет более высокие технические показатели.

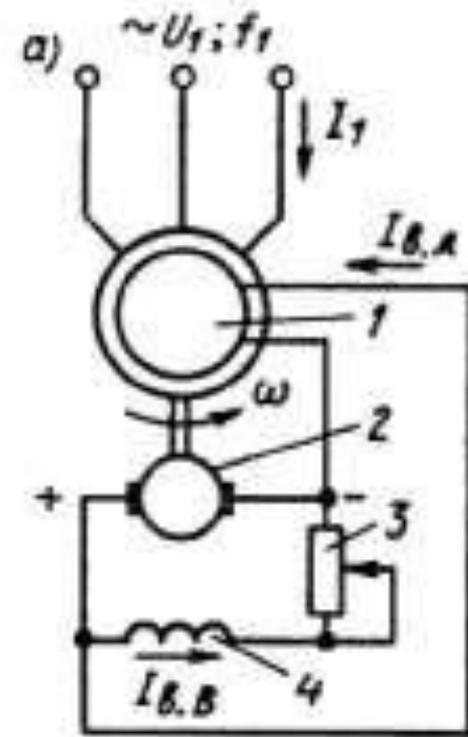


в) В качестве однофазных могут быть использованы трехфазные. Обмотки фаз *a* и *b* статора соединены последовательно и подключены на прямую к питающей сети, а обмотка фазы *c* подключена через конденсатор 1.



# СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

- Статор выполнен аналогично АД. Ротор СД имеет обмотки возбуждения и пусковую короткозамкнутую в виде «беличьей клетки». В качестве источника питания обмотки возбуждения служит генератор постоянного тока 2 небольшой мощности, называемый возбудителем, который устанавливается на одном валу с двигателем 1. Регулирование тока возбуждения двигателя осуществляется резистором 3 тока возбуждения возбудителя 4. Широко применяются тиристорные возбудители.



## СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

- Вращающий момент СД обусловлен взаимодействием вращающегося магнитного поля, созданного обмотками статора, и магнитного поля созданного обмоткой возбуждения или магнитами на роторе. Взаимодействие этих полей может создать постоянный по направлению вращающийся момент, ТОЛЬКО в том случае, если ротор будет вращаться со скоростью магнитного поля, т.е. синхронно.



## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА

- Эл.дв. Переменного тока имеют ряд преимуществ: более высокий КПД, меньшие габариты и вес, большая надежность в эксплуатации, меньшая стоимость, простота обслуживания.
- Однако АС значительно хуже переносят перегрузку, чем ДПТ, а также имеют грубую ступенчатую регулировку скорости и весьма чувствительны к понижению напряжения в сети.

