

# Асинхронные двигатели



- Устройство асинхронного двигателя основано на принципе воздействия *вращающегося магнитного поля статора* на короткозамкнутый виток – *ротор*. Асинхронный двигатель состоит в основном из  $2^X$  частей – статора и ротора.

- Статор 1 представляет собой пустотелый цилиндр, собранный из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. На внутренней поверхности цилиндра выштампованы канавки – пазы.

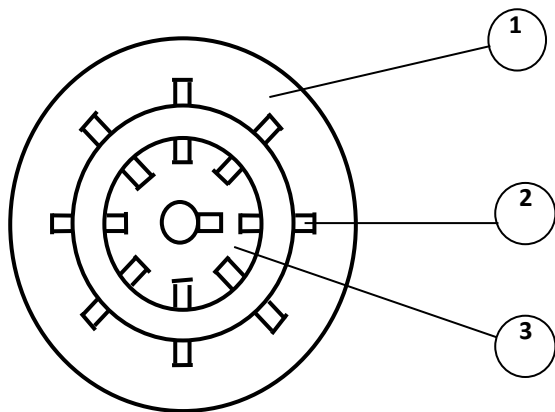
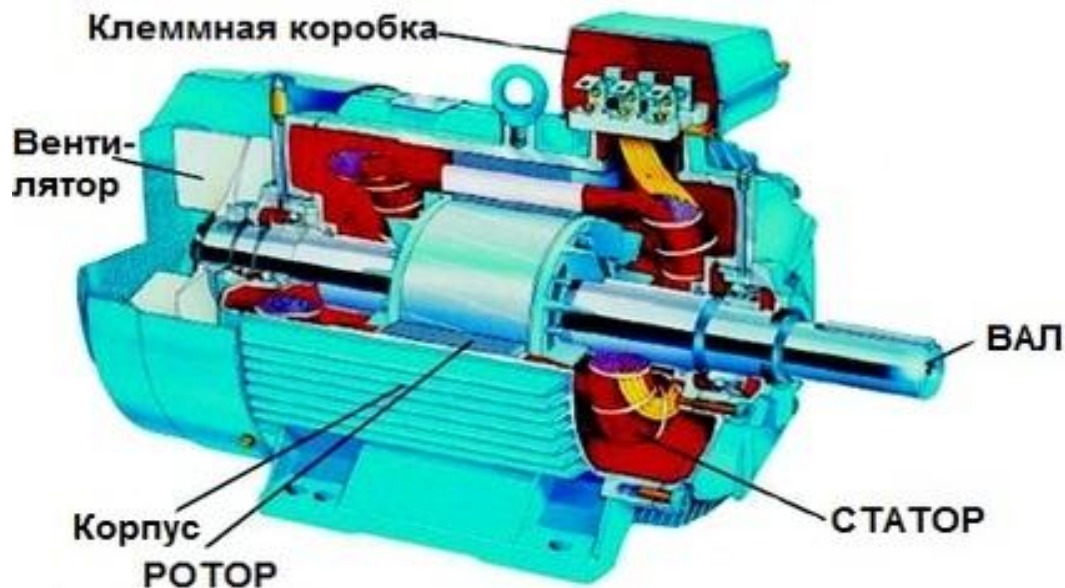


Рисунок 2.1 – Асинхронный двигатель



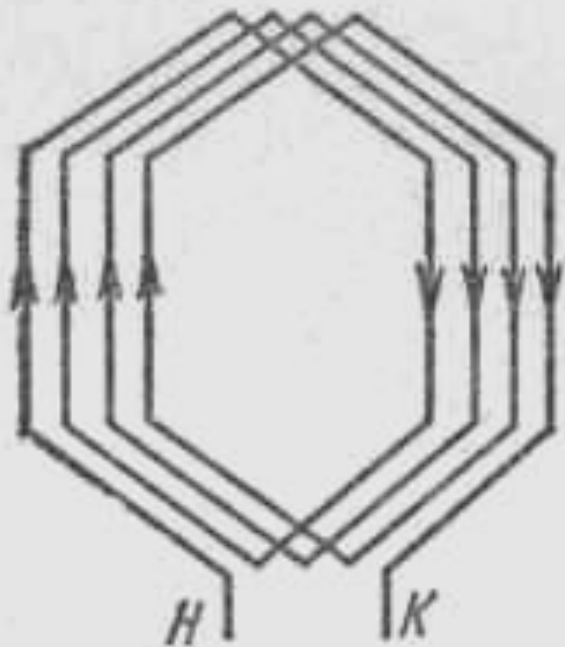


Рис. 10-4. Секция обмотки статора.

- Пазы статора 2 нужны для укладки статорной обмотки, которая, питаясь от трехфазной системы тока, создает вращающееся магнитное поле.

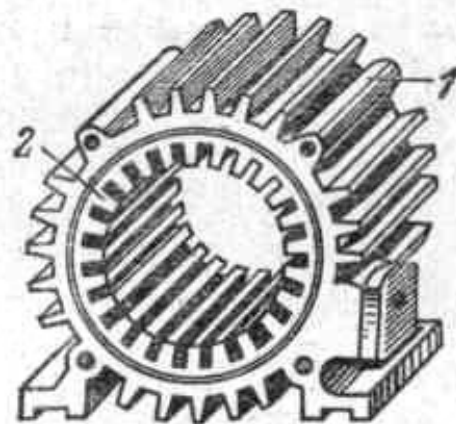


Рис. 10-8. Статор асинхронного двигателя без обмотки.

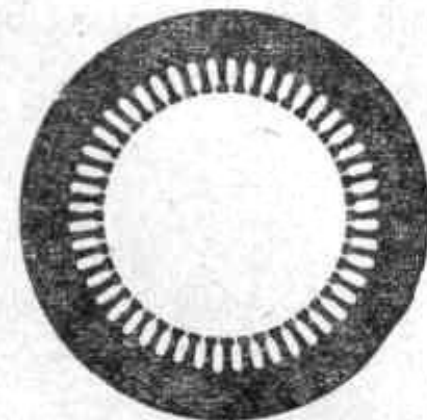


Рис. 10-9. Стальной лист сердечника статора.

- Ротор 3 представляет собой подвижный цилиндр, набранный из листов электротехнической стали, на котором прорезаются пазы для укладки 3<sup>-X</sup> фазной обмотки. Между ротором и статором имеется воздушный зазор, величина которого равна

$$\Delta = (0,3 \div 4,0) \text{ мм}$$

- Энергия, поступающая из сети в статор двигателя, передается через воздушный зазор магнитным потоком в ротор. В связи с этим желательно воздушный зазор делать как можно меньшим.

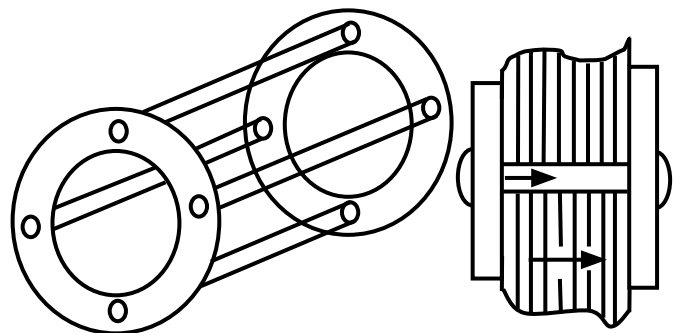
- Частота вращения, с которой вращается поле статора, называется синхронной и обозначается  $n_1$ . Частота вращения ротора называется асинхронной и обозначается  $n_2$ .

- Принято колебания по частоте вращения двигателя в зависимости от нагрузки оценивать величиной **S**, которая называется *скольжением*

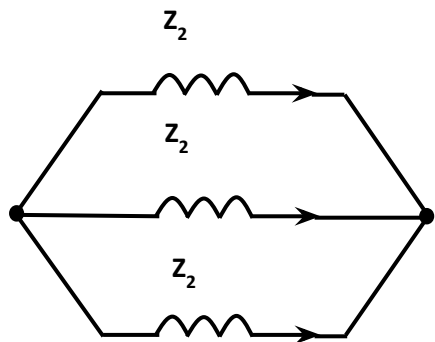
$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$$



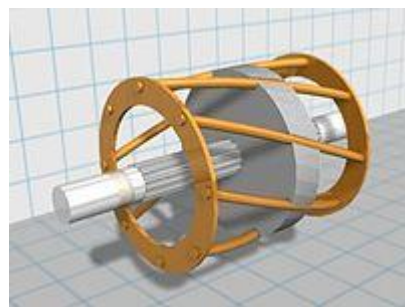
# Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором



*Ротор короткозамкнутого двигателя*



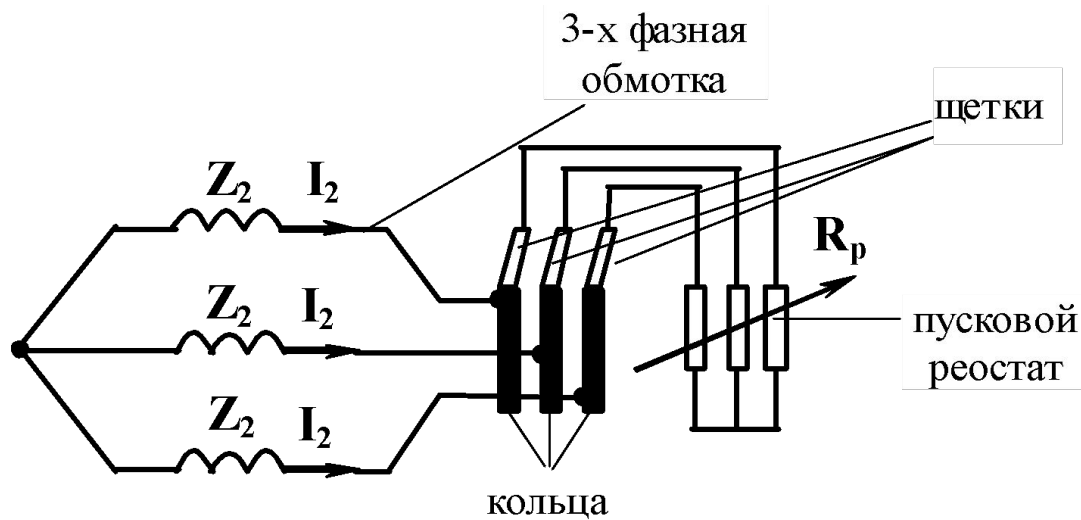
*Электрическая схема короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя*



- Обмотка ротора короткозамкнутого двигателя представляет собой беличье колесо. Здесь в каждый паз укладывается по одному медному стержню. Все концы проводников закорачиваются с двух сторон медными или алюминиевыми шайбами.

- *Основной недостаток двигателей с короткозамкнутым ротором - это невозможность изменять активное сопротивление обмотки ротора. Такие двигатели не регулируют обороты, имеют значительный пусковой ток и малый пусковой момент.*

- *Положительные качества* – высокая механическая и электрическая прочность, простота и надежность конструкции, малая стоимость.



Электрическая схема фазного ротора  
(с контактными кольцами)

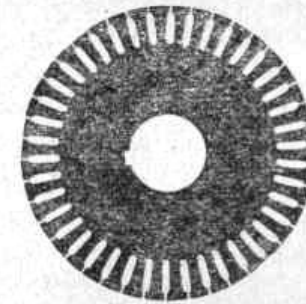


Рис. 10-13. Стальной лист ротора.

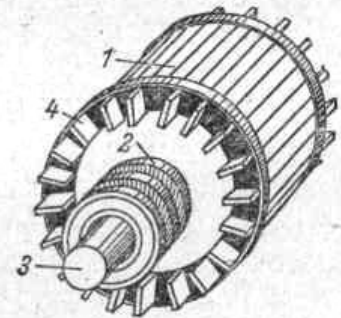


Рис. 10-14. Ротор асинхронного двигателя с обмоткой.

- У двигателей с фазным ротором в пазы ротора укладывается трехфазная обмотка, выполненная из провода с изоляцией. Три конца обмотки соединяются в звезду, а три выводятся к кольцам, насаженным на вал ротора и изолированным друг от друга и от вала по приведенной схеме.
- Здесь за счет реостата  $R_p$  сопротивление обмотки ротора можно изменять, поэтому можно регулировать обороты, уменьшать пусковой ток и увеличивать пусковой момент.

# Статор асинхронного двигателя

- Основное назначение статора – создать вращающееся магнитное поле. Для этого в пазы статора укладываются катушки статорной обмотки. Обмотку статора можно выполнить на различное число пар полюсов . При этом вращающееся магнитное поле статора будет вращаться или быстрее или медленнее. Последнее обстоятельство позволяет строить двигатели на различные числа оборотов.

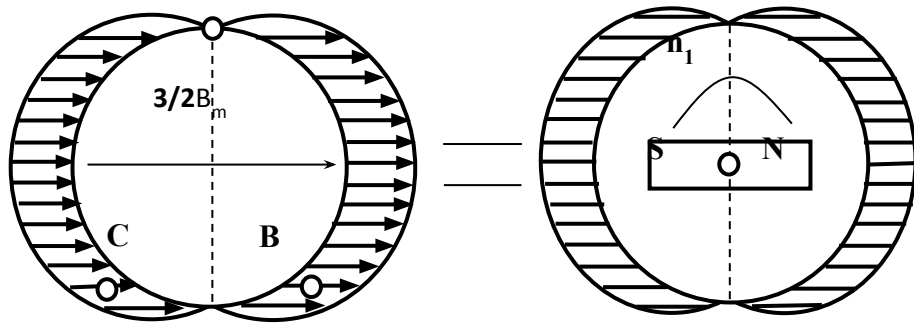


Схема обмотки статора с тремя катушками, одной парой полюсов

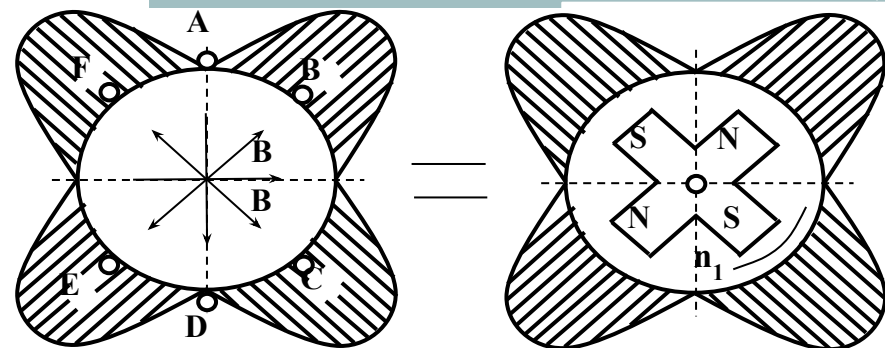


Схема обмотки статора с шестью катушками, двумя парами полюсов

- а) 3-х фазная обмотка имеет три катушки и одну пару полюсов ( $p$ ), здесь каждый полюс занимает половину окружности
- б) 3-х фазная обмотка имеет 6 катушек, и 2 пары полюсов, здесь каждый полюс занимает  $1/4$  окружности.
- Выражение имеет общую форму для статора, имеющего поле с  $p$  парами полюсов.

$$f_1 = \frac{pn_1}{60}$$

- Если учесть, что  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ , то  $n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p}$
- Выражение определяет синхронное число оборотов магнитного поля статора для частоты питающего тока  $f_1$ .
- Для обмотки с  $p=1$ ,  $n_1 = 3000 \text{ об/мин}$ .
- Для обмотки с  $p=2$ ,  $n_1 = 1500 \text{ об/мин}$ .
- Для обмотки с  $p=3$ ,  $n_1 = 1000 \text{ об/мин}$ .
- Для обмотки с  $p=4$ ,  $n_1 = 750 \text{ об/мин}$ , и т.д.
- Асинхронные двигатели при частоте 50 Гц не могут иметь обороты больше 3000 об/мин.

## ЭДС обмотки статора

$$E_1 = 4,44K_1 f_1 \Phi W_1$$

- ЭДС одной фазы обмотки ротора

$$E_2 = 4,44K_2 W_2 f_1 \Phi S$$

К – обмоточный коэффициент

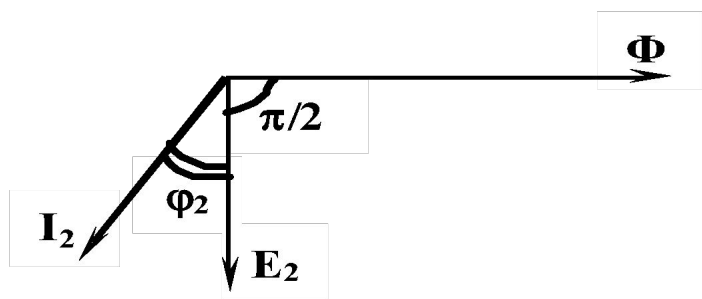
**Ток ротора определяется по Закону Ома**

$$I_2 = \frac{E_2}{z_2} = \frac{4,44K_2 W_2 \Phi f_1 S}{\sqrt{R_2^2 + (\omega_1 L_2 S)^2}}$$

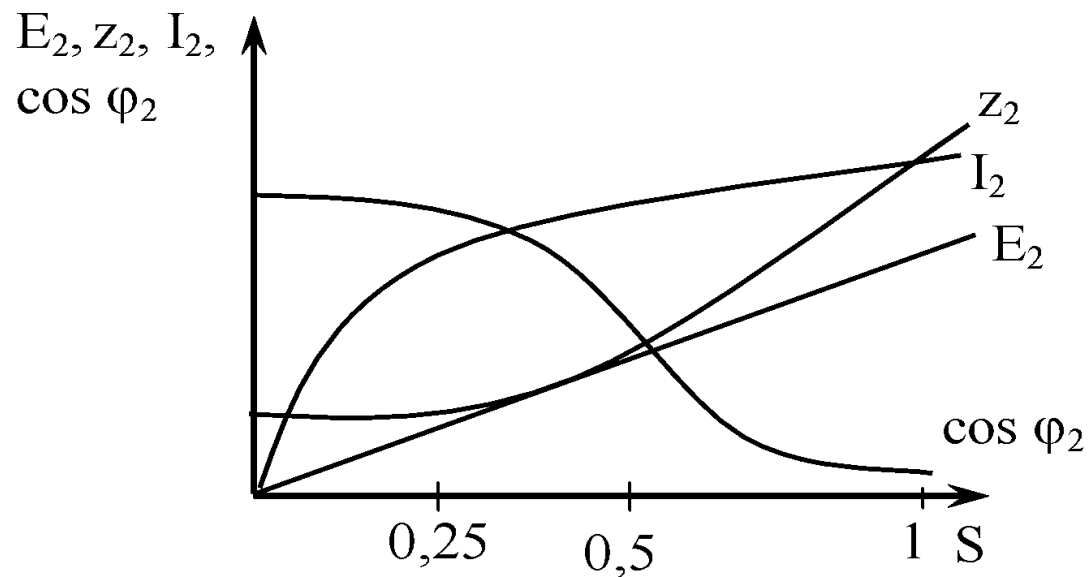


# Коэффициент мощности обмоток ротора

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{z_2} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (\omega_1 L_2 S)^2}}$$



Векторная диаграмма параметров обмотки ротора



Графики зависимостей  $E_2, z_2, I_2, \cos \varphi_2$  от скольжения  $S$

# Вращающий момент асинхронного двигателя

- В любом двигателе вращающий момент образуется за счет взаимодействия магнитного поля и проводника с током:

$$M_{вр} = C_{вр} \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos\psi_2$$

- $C_{вр} = \text{const}$  (постоянный коэффициент)
- Магнитный поток  $\Phi$  пропорционален квадрату напряжения сети  $U_c^2$ , если  $U_c = \text{const}$ , то и  $\Phi = \text{const}$ .
- Таким образом, момент зависит только от тока  $I_2$  и коэффициента мощности  **$\cos\psi_2$** .



- Рассмотрим режим двигателя, т.е. при скольжении, изменяющемся от 1 до 0. Обозначим момент, развиваемый двигателем при пуске в ход ( $S=1$ ) как  $M_{\text{пуск}}$ . Скольжение, при котором момент достигает наибольшего значения, называют критическим скольжением  $S_{\text{кр}}$ , а наибольшее значение момента – критическим моментом  $M_{\text{кр}}$ . Отношение критического момента к номинальному называют перегрузочной способностью двигателя  $M_{\text{кр}}/M_{\text{н}}=\lambda=2\div 3$ .

- Критический момент не зависит от активного сопротивления ротора, но зависит от подведенного напряжения. При уменьшении  $U_1$  снижается перегрузочная способность асинхронного двигателя.

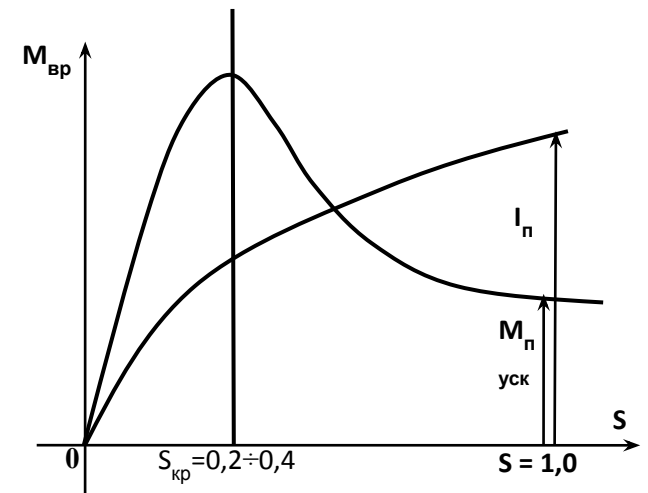
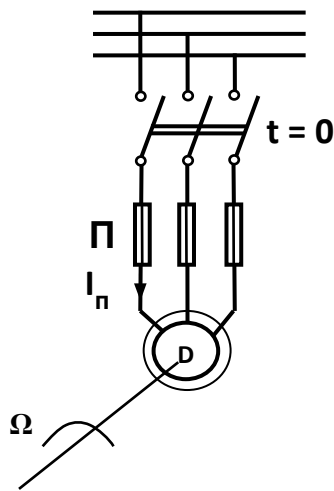
- Участок характеристики, на котором скольжение изменяется от 0 до  $S_{кр}$ , соответствует устойчивой работе двигателя. На этом участке располагается точка номинального режима ( $M_n, S_n$ ). В пределах изменения скольжения от 0 до  $S_{кр}$  изменение нагрузки на валу двигателя будет приводить к изменению частоты вращения ротора, изменению скольжения и вращающего момента.

- С увеличением момента нагрузки на валу частота вращения ротора станет меньше, что приведет к увеличению скольжения и электромагнитного (вращающего) момента. Если момент нагрузки превысит критический момент, то двигатель остановится.

- Участок характеристики, на котором скольжение изменяется от  $S_{кр}$  до 1, соответствует неустойчивой работе двигателя. Этот участок характеристики двигатель проходит при пуске в ход и при торможении.

# Пусковой ток асинхронного двигателя

- *Пусковым током* называется ток, поступающий в двигатель в момент включения его в питающую сеть.
- Пусковой ток асинхронного двигателя велик. Его оценивают так называемой кратностью пускового тока:  $K = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 2,5 \div 10$



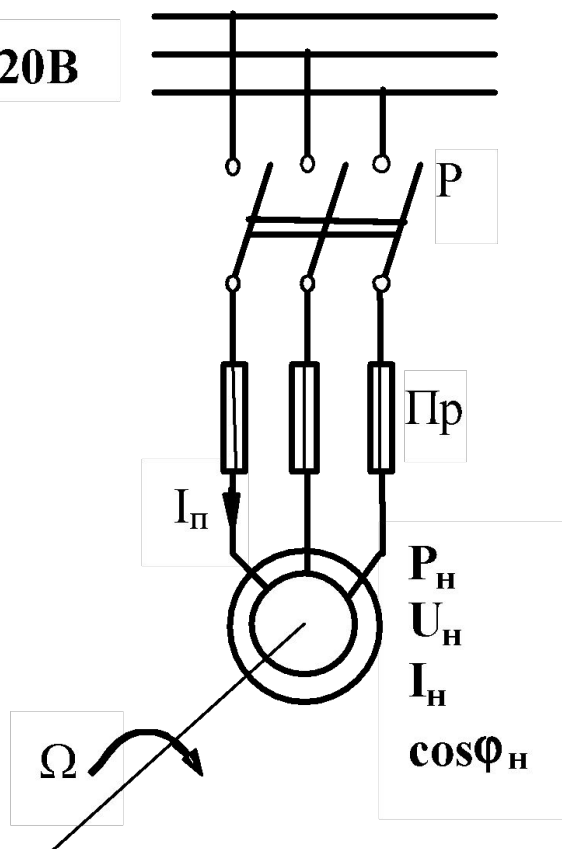
Пояснение к пусковому току



# Способы уменьшения броска тока при пуске асинхронных двигателей

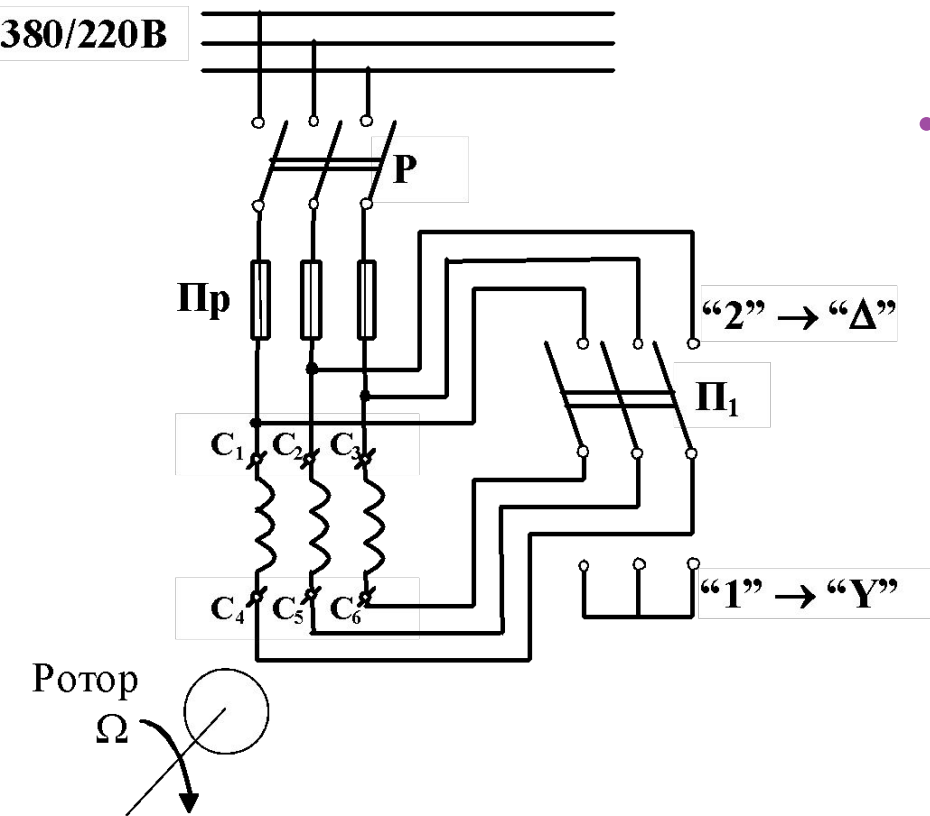
- **Прямой пуск асинхронного двигателя**

Практически, необходимо, чтобы соблюдались следующие параметры:



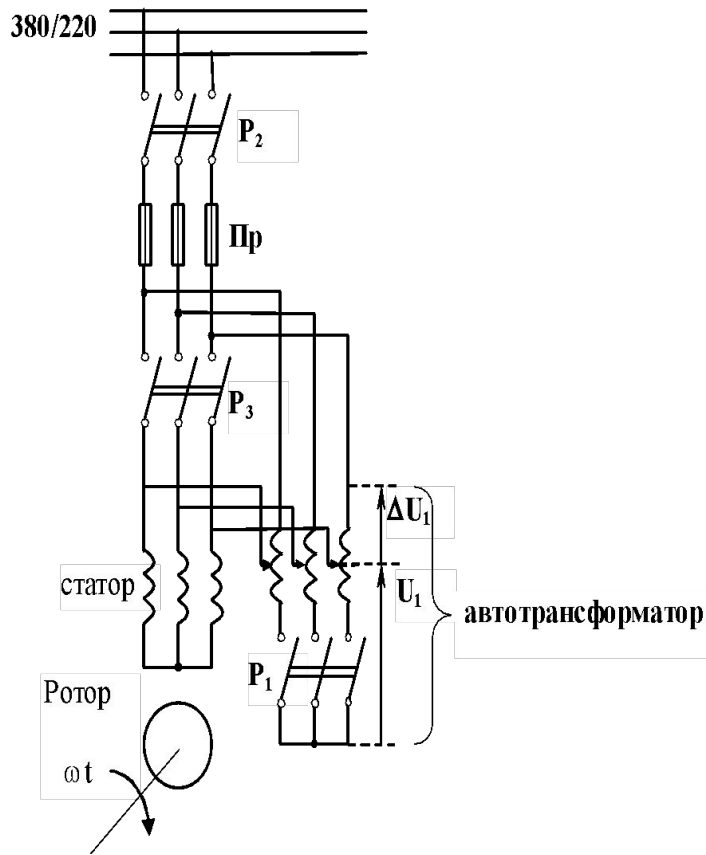
Мощность п/станции, кВА	Пределы мощности электродвигателя в Квт при дополнительной потере напряжения	
	До 4%	До 5%
50,0	2,9	12,0
100,0	5,5	14,5
180,0	10,4	26,0
320,0	18,5	46,3
560,0	32,4	81,0
1000,0	42,3	105,7
1800,0	76,0	190,0

# Переключение статора короткозамкнутого двигателя, нормально работающего по схеме «Y», на время пуска на схему «Δ»



- Схема обеспечивает уменьшение пускового тока в 3 раза.
- Пуск двигателя проходит в следующем порядке. Сначала переключатель П ставится в положение «1» (схема «Y»), а когда двигатель наберет обороты, переключатель ставится в положение «2» (схема «Δ») и в таком положении двигатель работает до остановки.

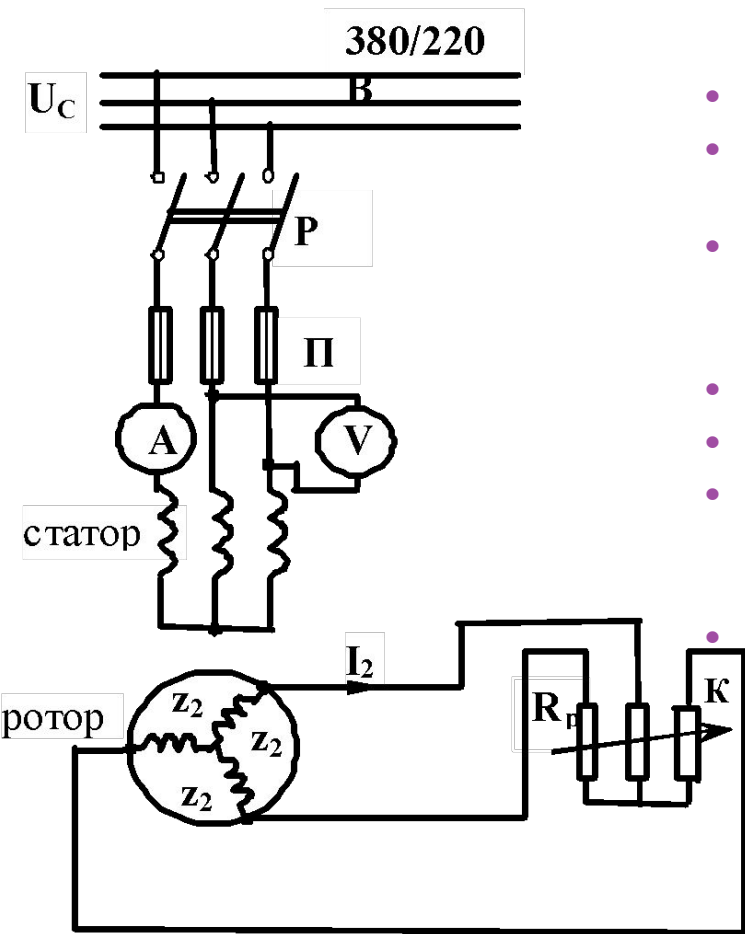
# Пуск двигателя с помощью автотрансформатора



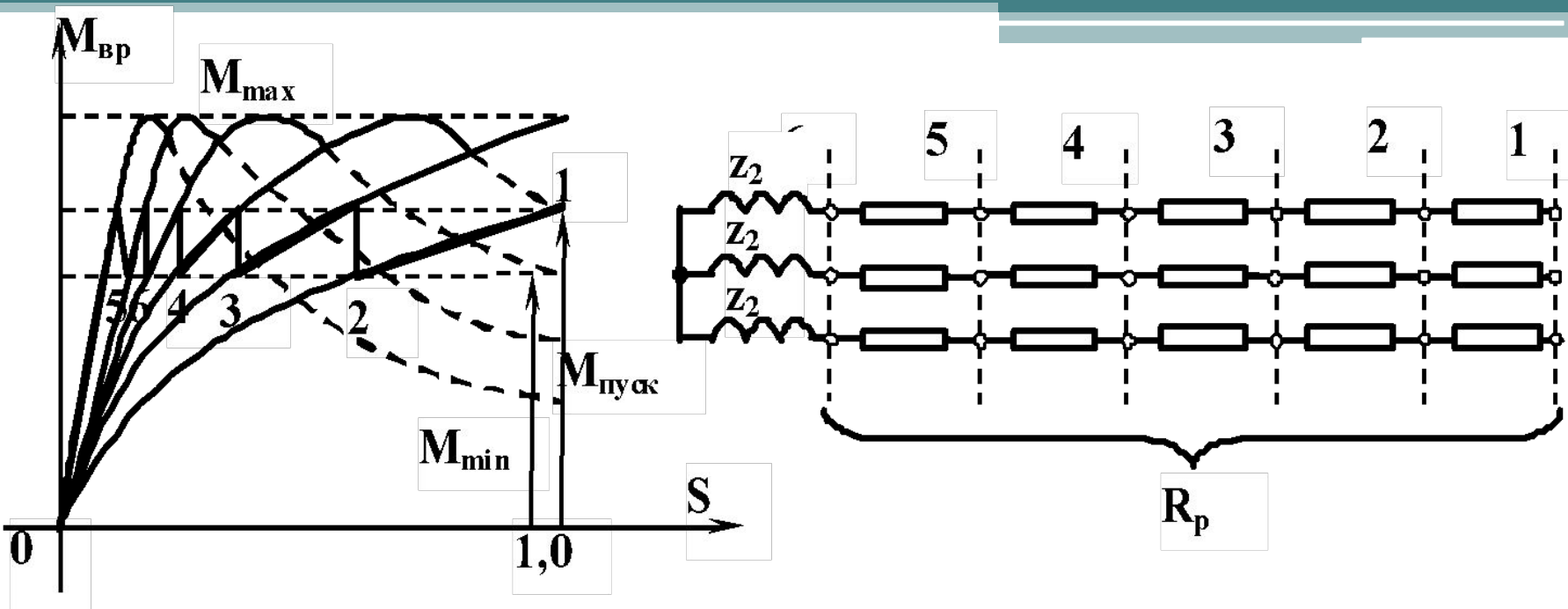
- Порядок включения:
- 1) Замыкаем рубильник  $P_1$ .
- 2) Замыкаем рубильник  $P_2$ , при этом двигатель начинает работать при пониженном напряжении  $U_1$ .  $I_{пуск} = \frac{U_1}{z_\phi}$
- 3) Выключаем рубильник  $P_1$ . При этом автотрансформатор работает как три отдельные катушки с железом (дроссели). На дросселях падает напряжение. Ток в двигателе будет равным:  $I_{пуск2} = \frac{U_c - \Delta U_1}{z_\phi}$
- 4) Когда двигатель наберет полные обороты, включаем рубильник  $P_3$ , при этом дроссели закорачиваются ножами рубильника. Статор двигателя питается от полного сетевого напряжения.

$$I_{ном} = \frac{U_c}{z_\phi}$$

# Пуск двигателя с фазным ротором

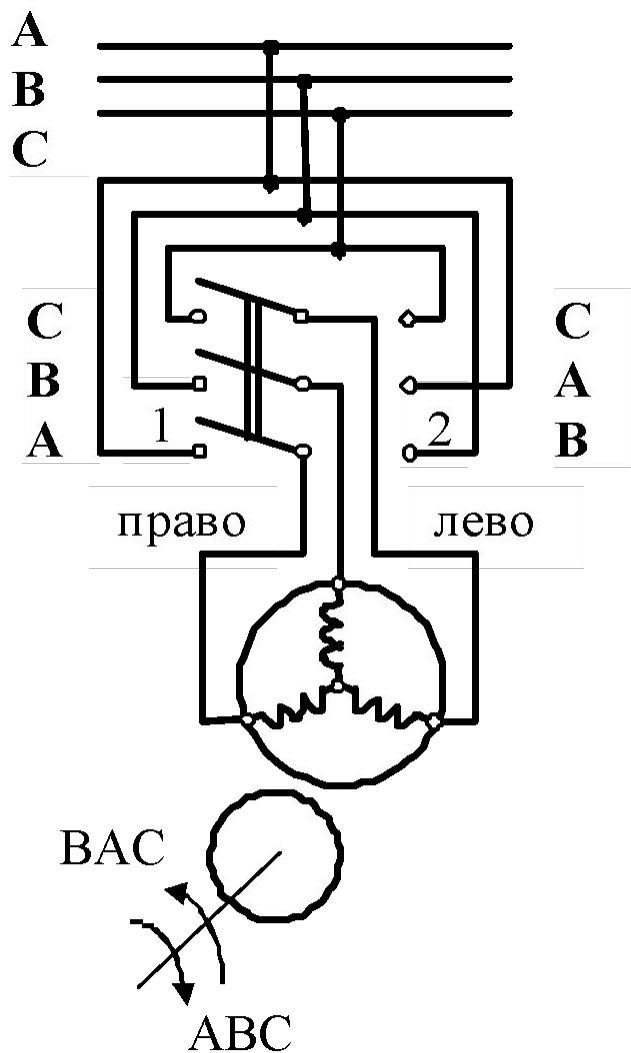


- Порядок включения:
- 1) Реостат  $R_p$  ставят в положение «**a**», при этом все сопротивления реостата полностью включены.
- 2) Включают рубильник  $P$ . Ротор приходит во вращение, частота вращения ротора мала, ток пусковой тоже мал.
- Коэффициент мощности возрастает
- Момент пусковой увеличивается
- 3) Реостат  $R_p$  постепенно выводят, т.е. поворачивают ползунок  $K$  вправо – частота вращения вала двигателя увеличиваются.
- 4) Когда ползунок  $K$  достигает крайнего положения, реостат  $R_p$  полностью выключен. Величина пускового реостата рассчитывается из условия получения максимального момента при пуске двигателя. Необходимо, чтобы активное сопротивление фазы двигателя  $R_2$  и реостата по величине равнялось бы реактивному индуктивному сопротивлению ротора.



*График изменения момента двигателя с фазным ротором при пуске*

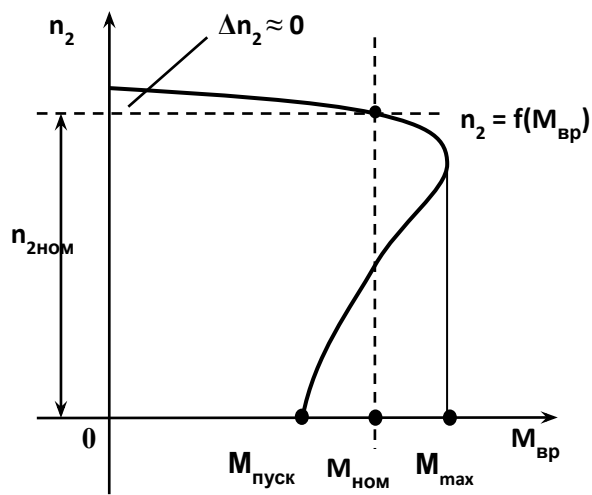
- Таким образом, при изменении сопротивления реостата кривая момента перемещается в случае увеличения сопротивления в сторону больших скольжений, в случае уменьшения сопротивления – в сторону меньших скольжений. Величина максимального момента при этом не изменяется.
- Из рассмотренного следует, что реостат в цепи ротора уменьшает пусковой ток; увеличивает пусковой момент; изменяет скорость вращения двигателя.



*Схема реверса АД*

- **Реверсом** называется такой режим работы двигателя, при котором изменяется направление вращения.
- Реверс асинхронного двигателя осуществляется изменением порядка чередования фаз, т.е. необходимо поменять местами две любые фазы.

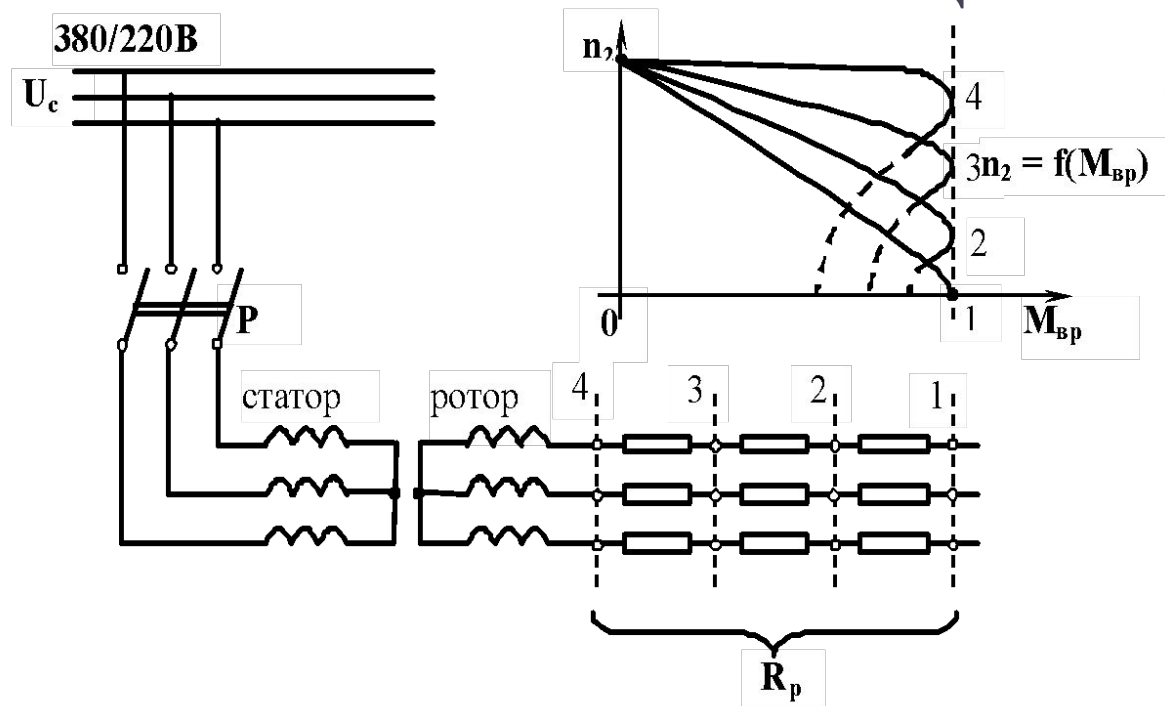
# Регулирование частоты вращения вала асинхронного двигателя



Механическая характеристика АД с короткозамкнутой обмоткой

- Асинхронный двигатель почти не меняет частоты вращения при изменении нагрузки. Механическая характеристика двигателя «жесткая»
- Механической характеристикой двигателя называется функциональная связь частоты вращения ротора от момента на валу.

# Трехфазный асинхронный двигатель с контактными кольцами и реостатом



- Двигатель с контактными кольцами может регулировать частоту вращения вала за счет включения реостата в цепь ротора по схеме, приведенной на рисунке

*Схема регулирования оборотов двигателя с контактными кольцами*

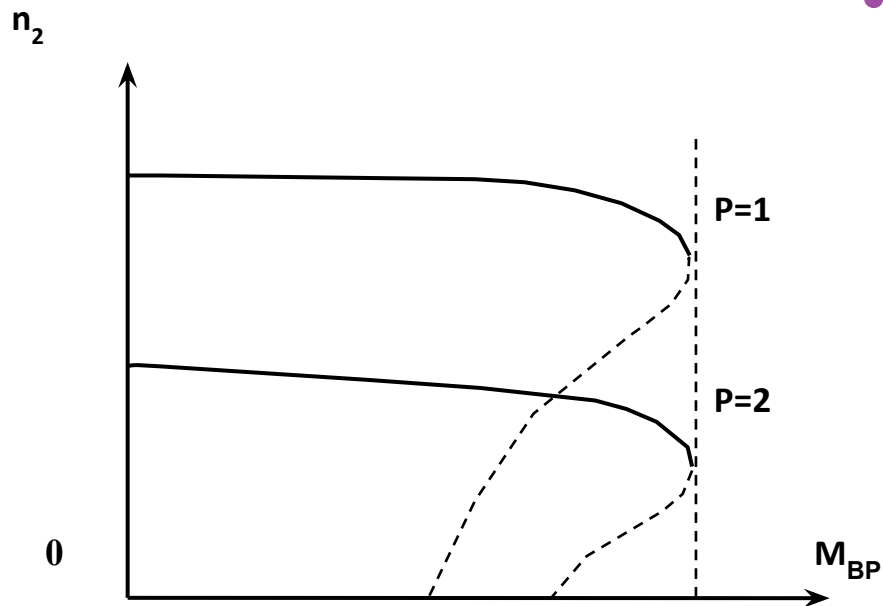
Указанный способ регулирования очень прост, но неэкономичен, т.к. в реостате  $R_p$  образуется непроизводительный расход энергии на нагрев.

$$\Delta P = 3(R_2 + R_p)I_2^2$$

При снижении частоты вращения на 30%, в реостате потери достигают так же 30% от паспортной мощности двигателя.



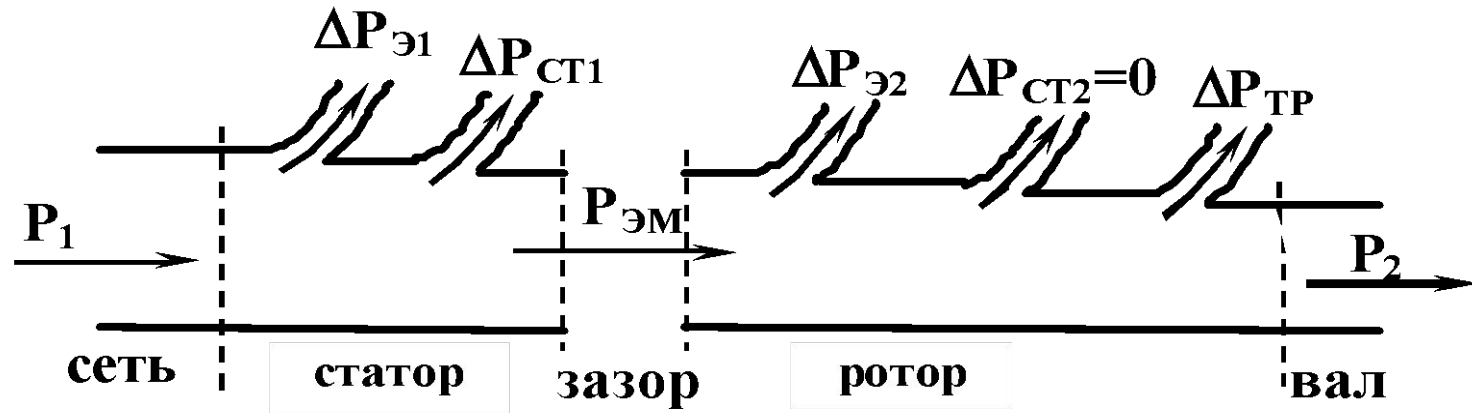
# Регулирование частоты вращения вала двигателя с помощью изменения пар полюсов



*Механическая характеристика двигателя*

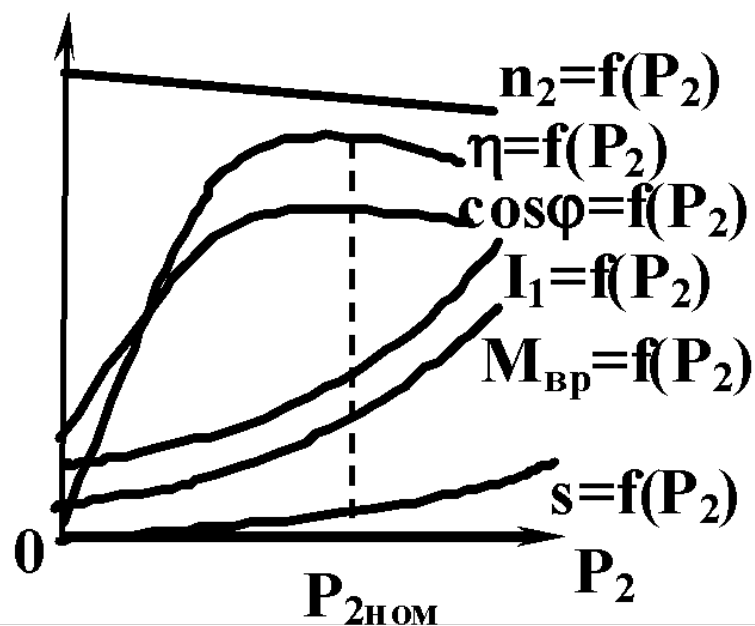
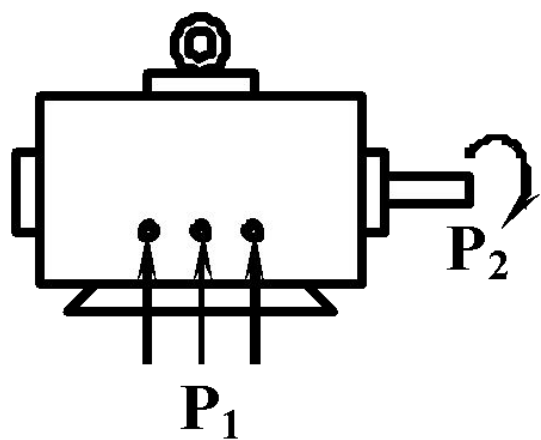
- Регулирование частоты вращения вала двигателя происходит скачкообразно. Поэтому такие двигатели получили название многоскоростные. За счет увеличения обмоток двигатель становится дороже.

# Потери и коэффициент полезного действия



*Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя*

- потери энергии на нагрев статорной и роторной обмоток
- потери энергии на нагревание стали статора и ротора
- потери на трение и вентиляцию



*Рабочие характеристики асинхронного двигателя*