

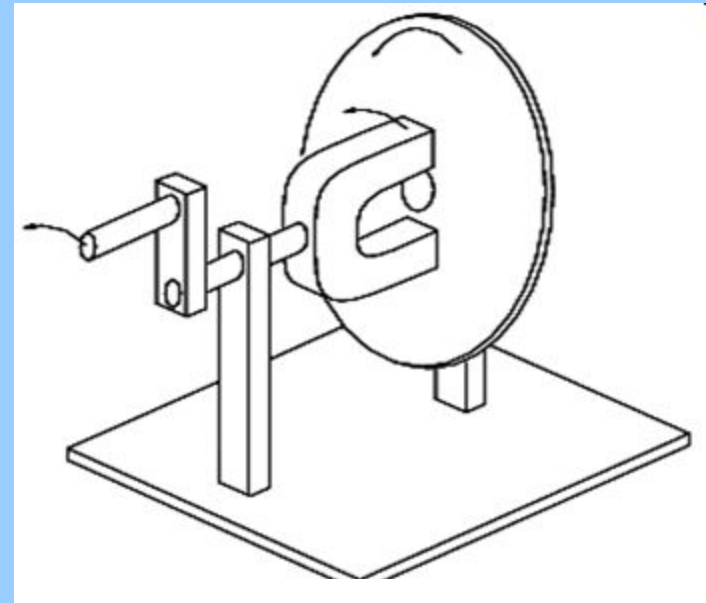


# **Асинхронные двигатели**



## *Историческая справка*

**Впервые явление, названное магнетизмом вращения, продемонстрировал французский физик Д. Ф. Араго (1824)**

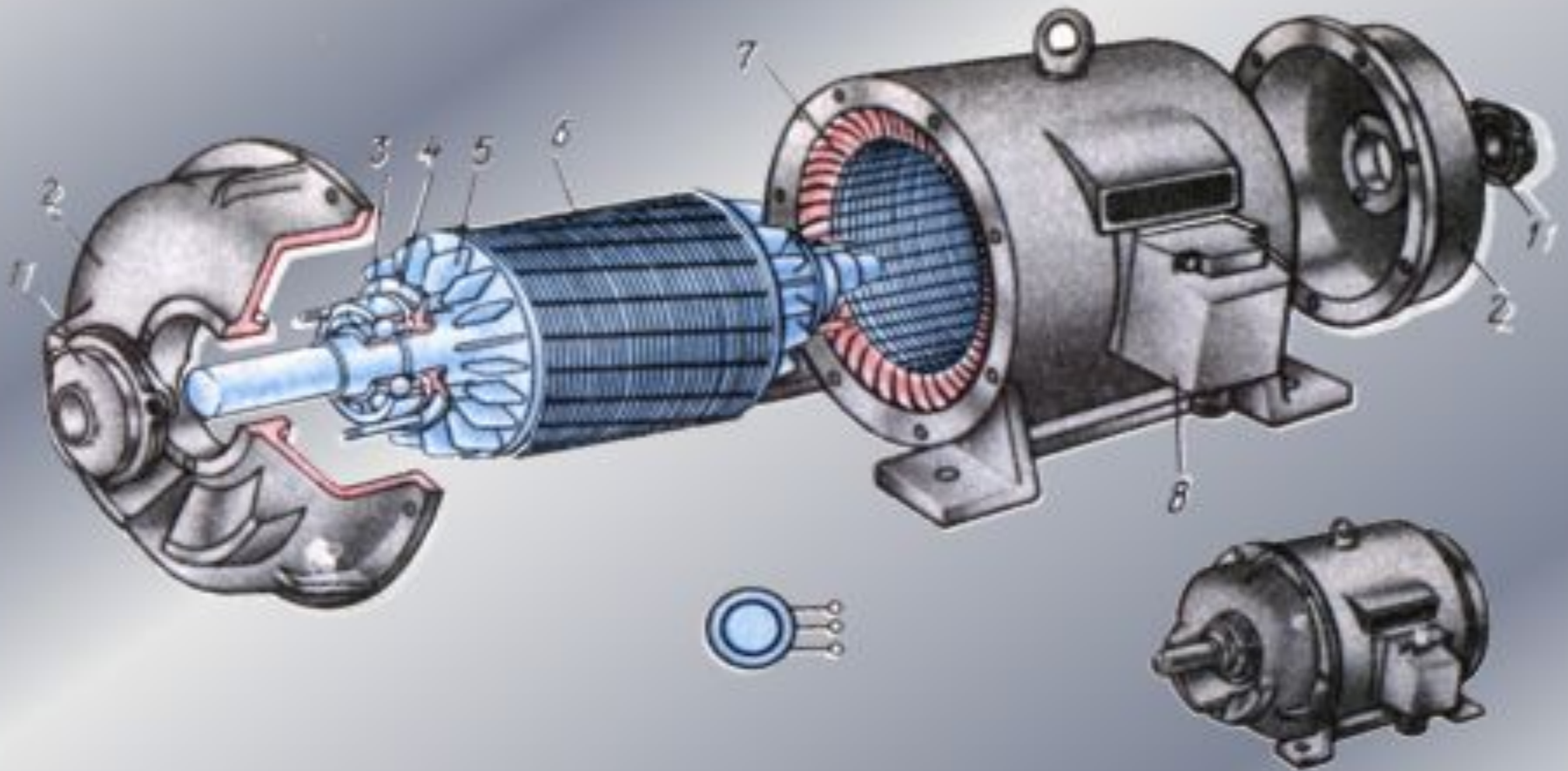


**Двухфазный асинхронный электродвигатель был изобретен Н. Тесла (1887)**

**В 1889 М. О. Доливо-Добровольский сконструировал и испытал первый в мире трехфазный асинхронный двигатель**

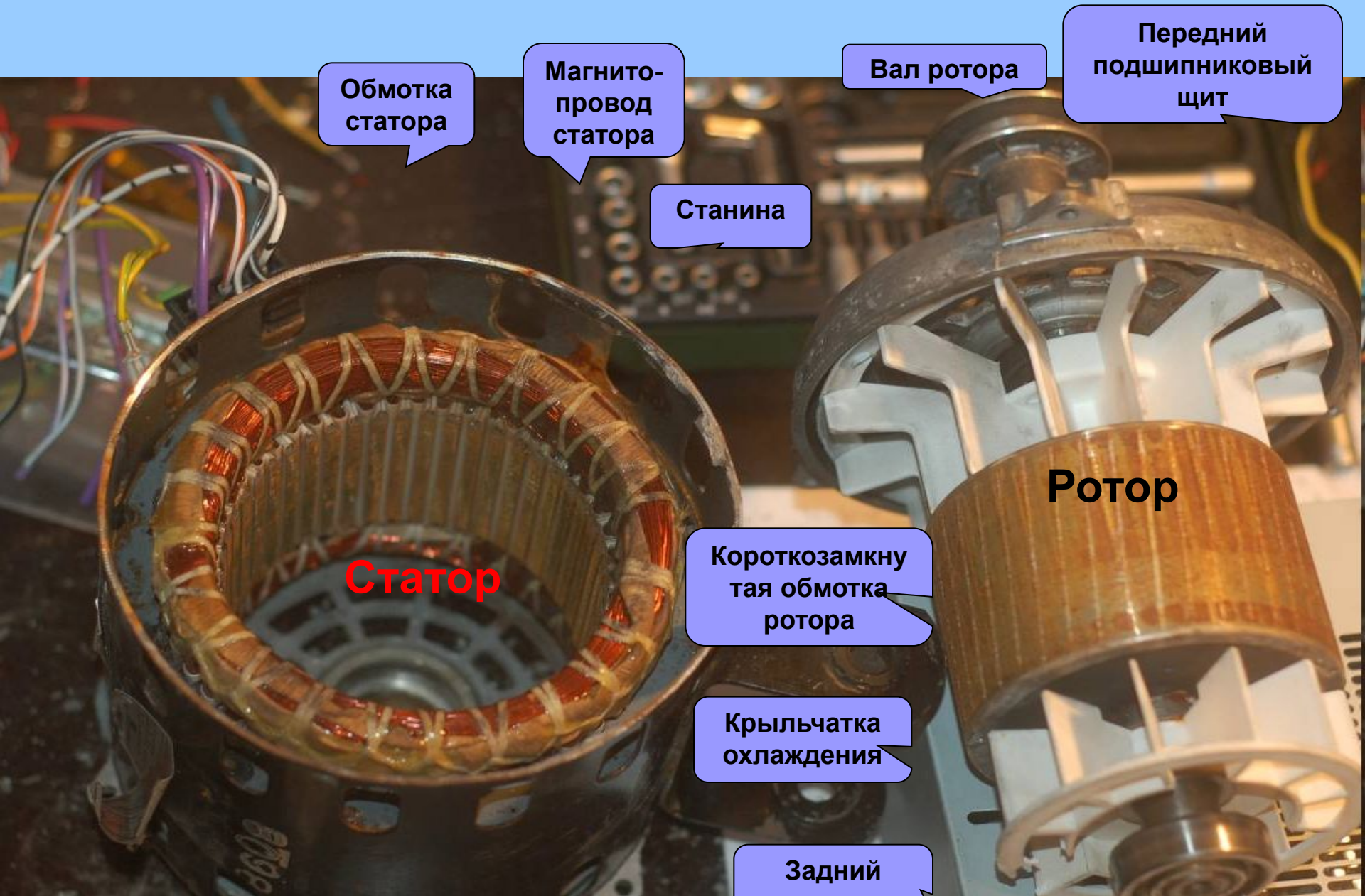


# Асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором



1 – вал; 2 – подшипниковый щит; 3 – подшипник; 4 – прокладка; 5 – лопасти  
6 – стержни; 7 – обмотка статора; 8 – клемный щиток.

# Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором



Обмотка статора

Магнитопровод статора

Вал ротора

Передний подшипниковый щит

Станина

**Статор**

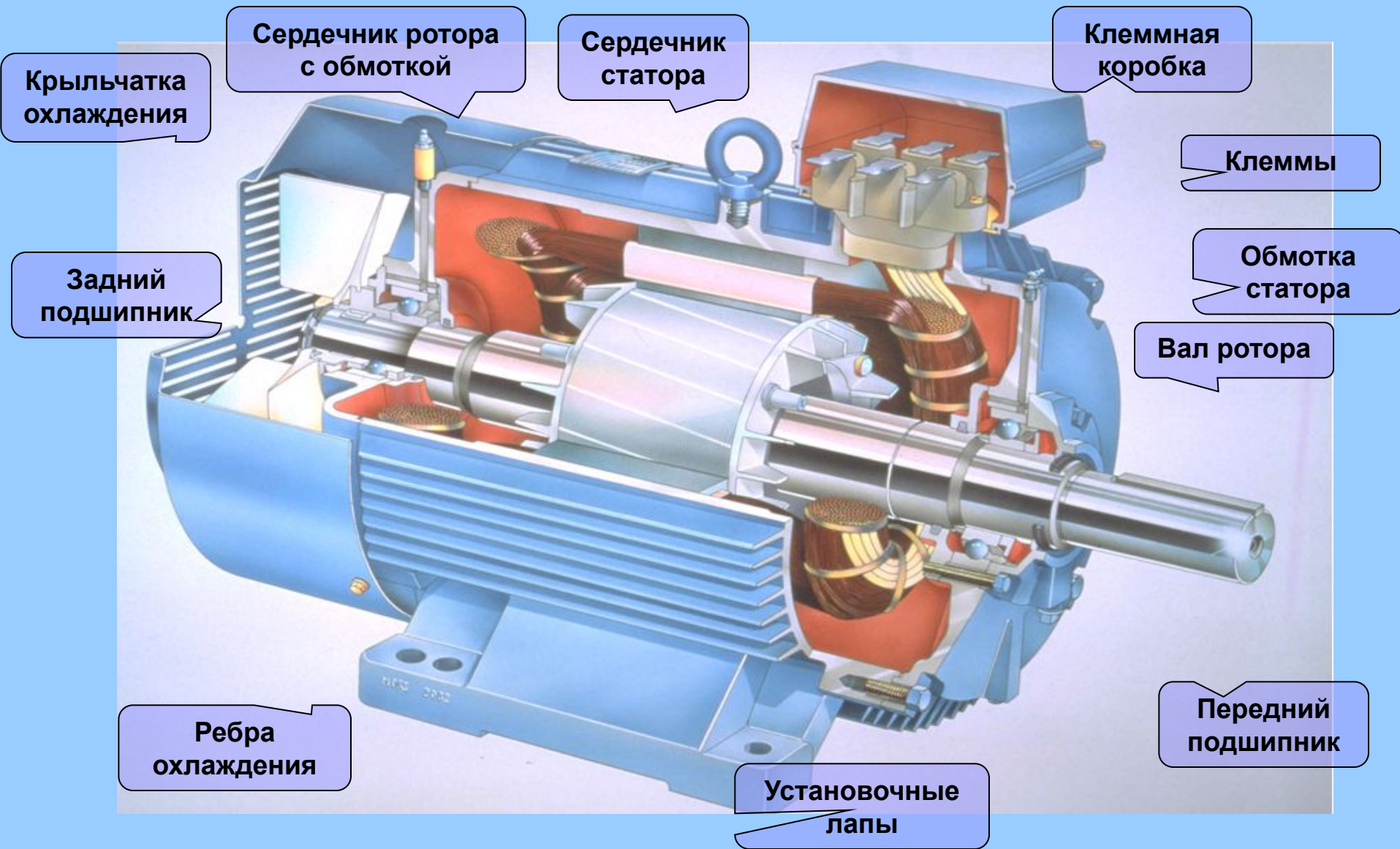
Короткозамкнутая обмотка ротора

**Ротор**

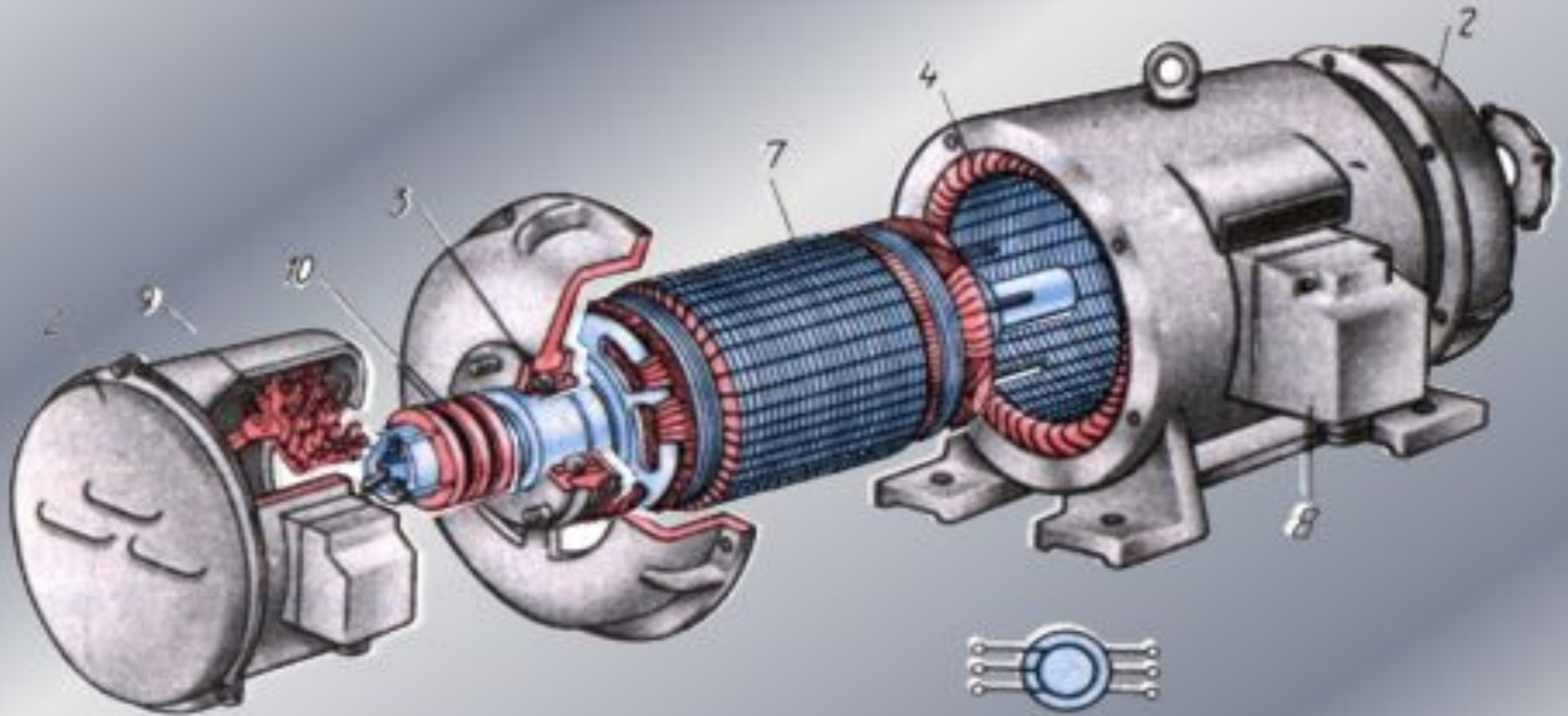
Крыльчатка охлаждения

Задний

# Асинхронный двигатель (АД)

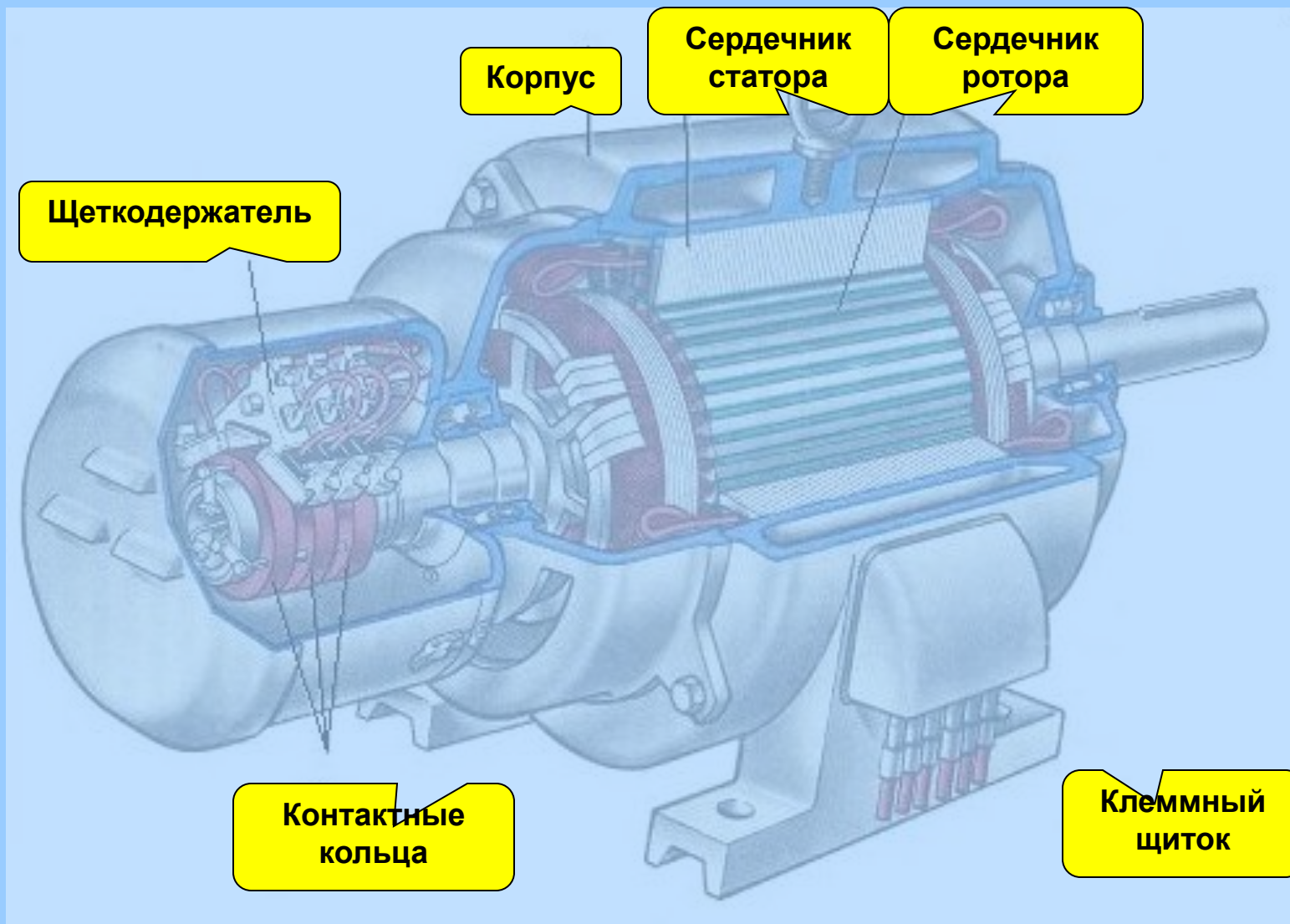


## Асинхронный двигатель с фазным ротором

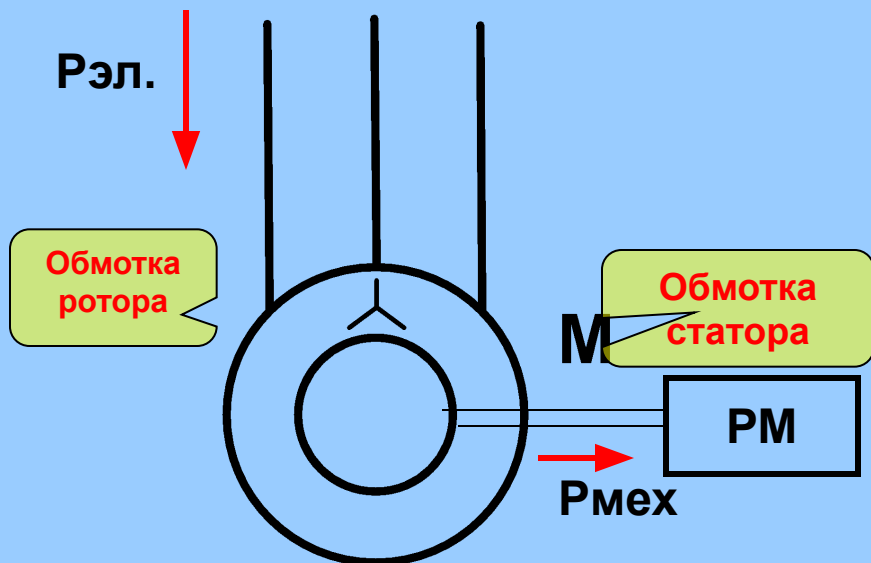


1 – крышка; 2 – подшипниковый щит; 3 – подшипник; 4 – прокладка; 5 – лопасти; 6 – стержни; 7 – обмотка статора; 8 – клемный щиток.

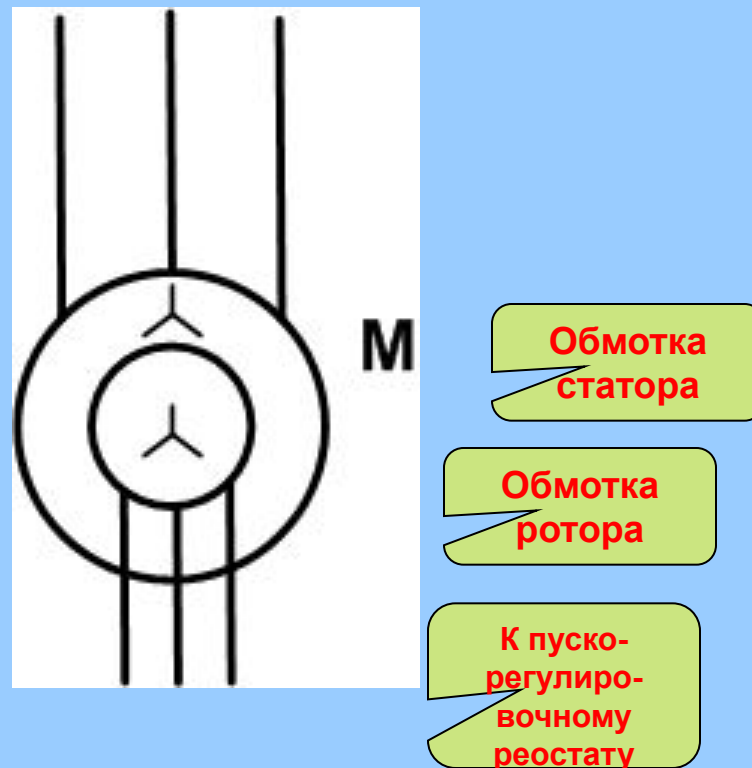
## Асинхронный двигатель с фазным ротором



## Обозначение асинхронных двигателей на схемах



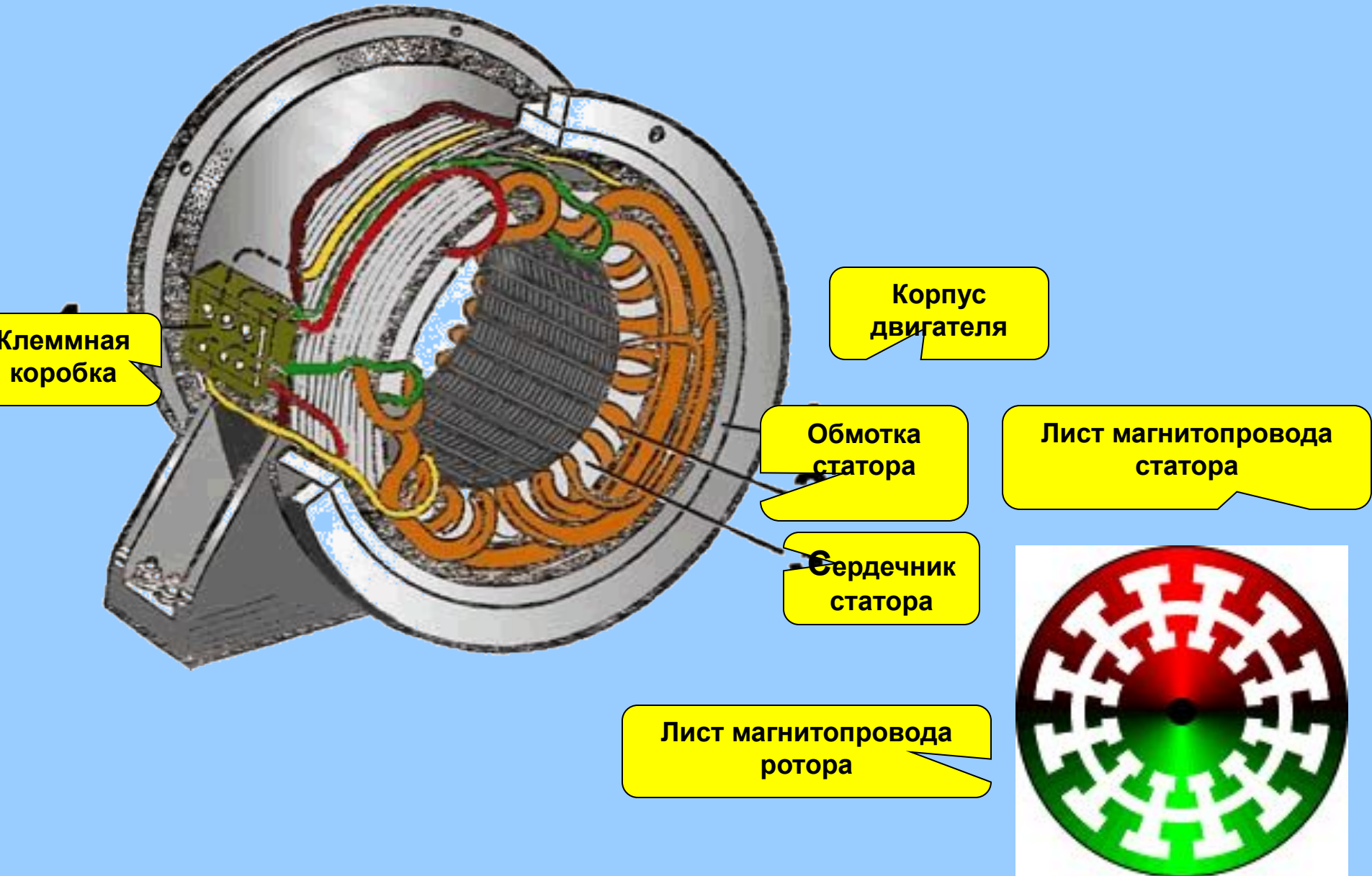
**АД с КЗ ротором  
(обмотки статора  
соединены звездой)**



**АД с фазным ротором  
(обмотки статора и  
ротора соединены  
звездой)**

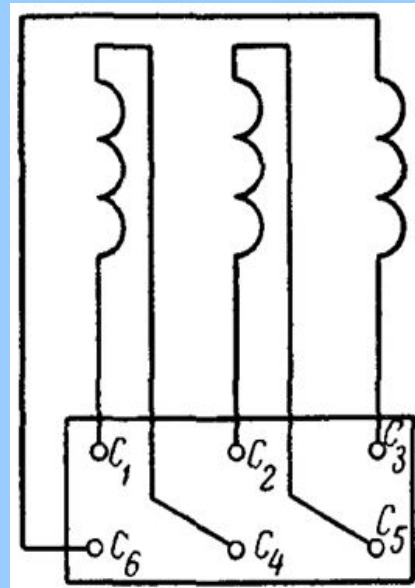
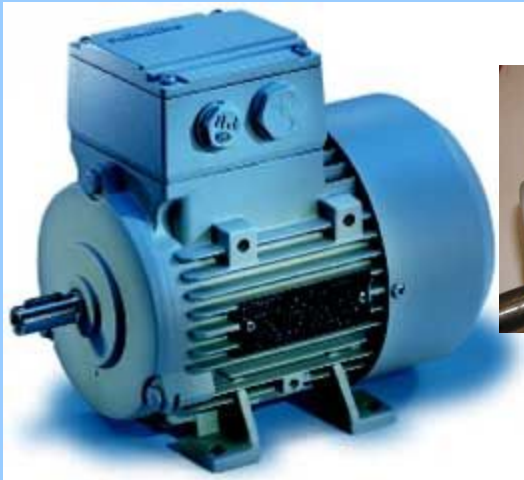


# Статор асинхронного двигателя



# Подключение асинхронного двигателя к сети

АД подключаются к трехфазной электрической сети



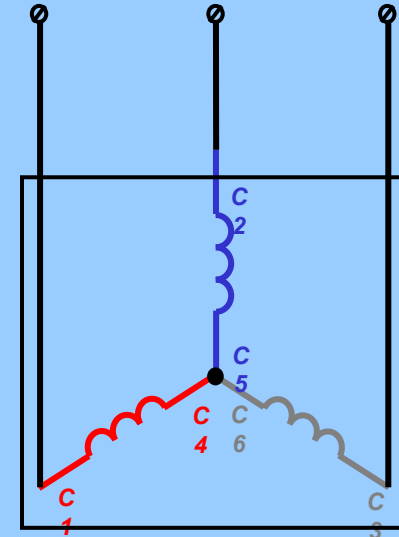
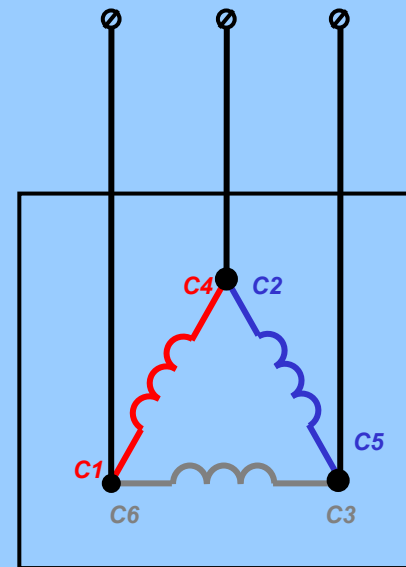
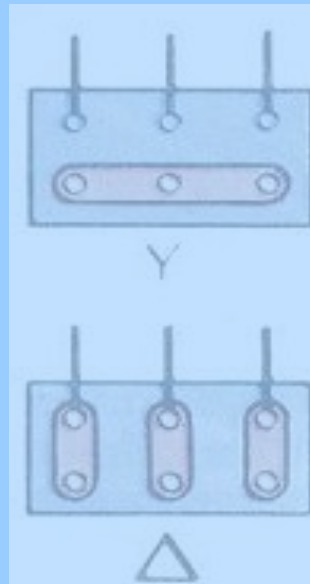
к сети

**Клеммная колодка** позволяет подключать обмотки статора к трехфазной сети.

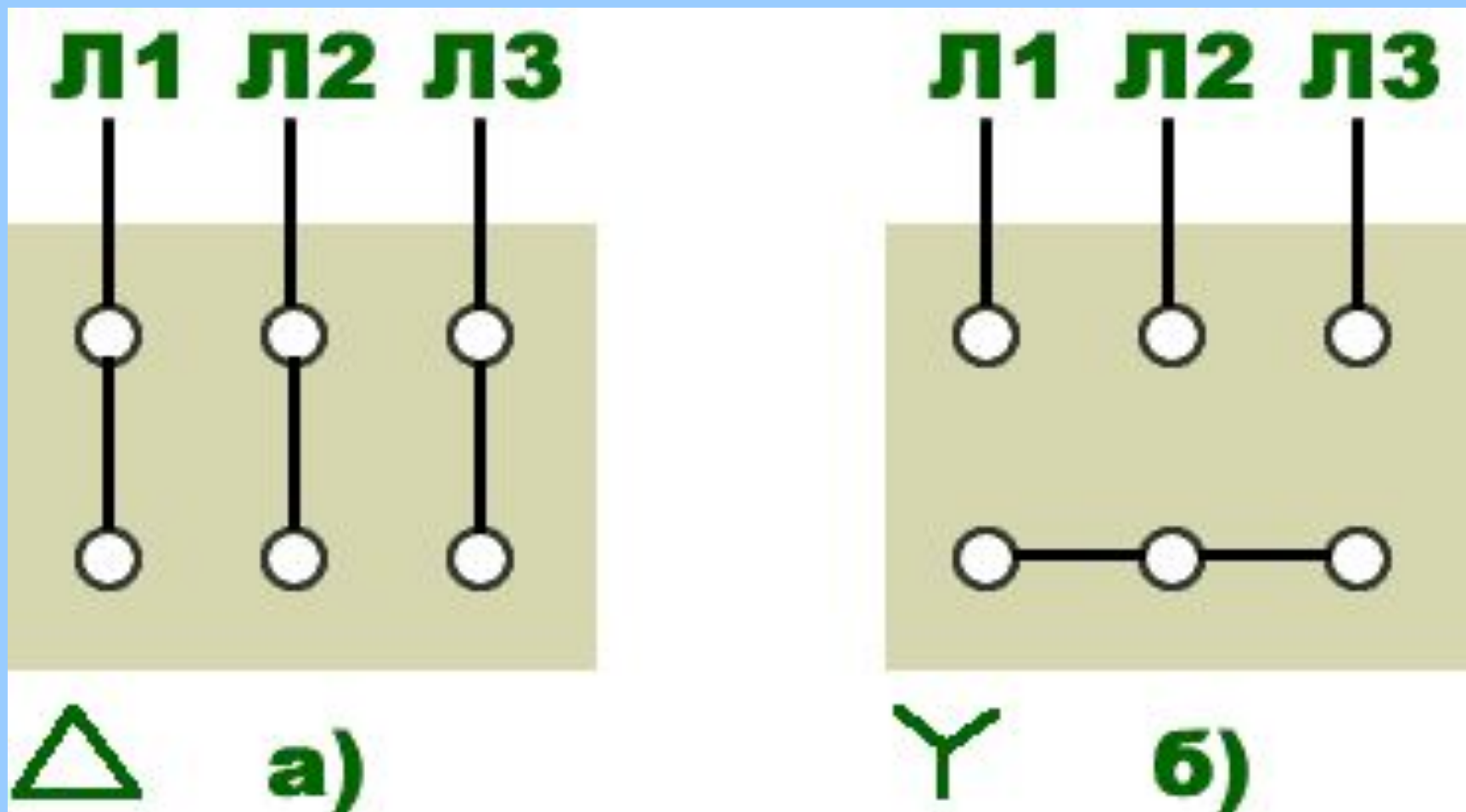
На клеммную колодку выведены концы 3-х обмоток статора. Начала и концы этих обмоток обозначены: **C1-C4, C2-C5 и C3-C6**

к сети

Соединение обмоток **звездой** дает возможность подключать АД на напряжение в **1,73** раза больше чем при подключении **треугольником**, и наоборот. Например, если двигатель рассчитан на работу под напряжением **380/220В** это значит, что его обмотки нужно соединить **звездой** при подключении к сети **380В** или **треугольником** при подключении к сети **220В**.



*Схемы соединения обмоток статора*



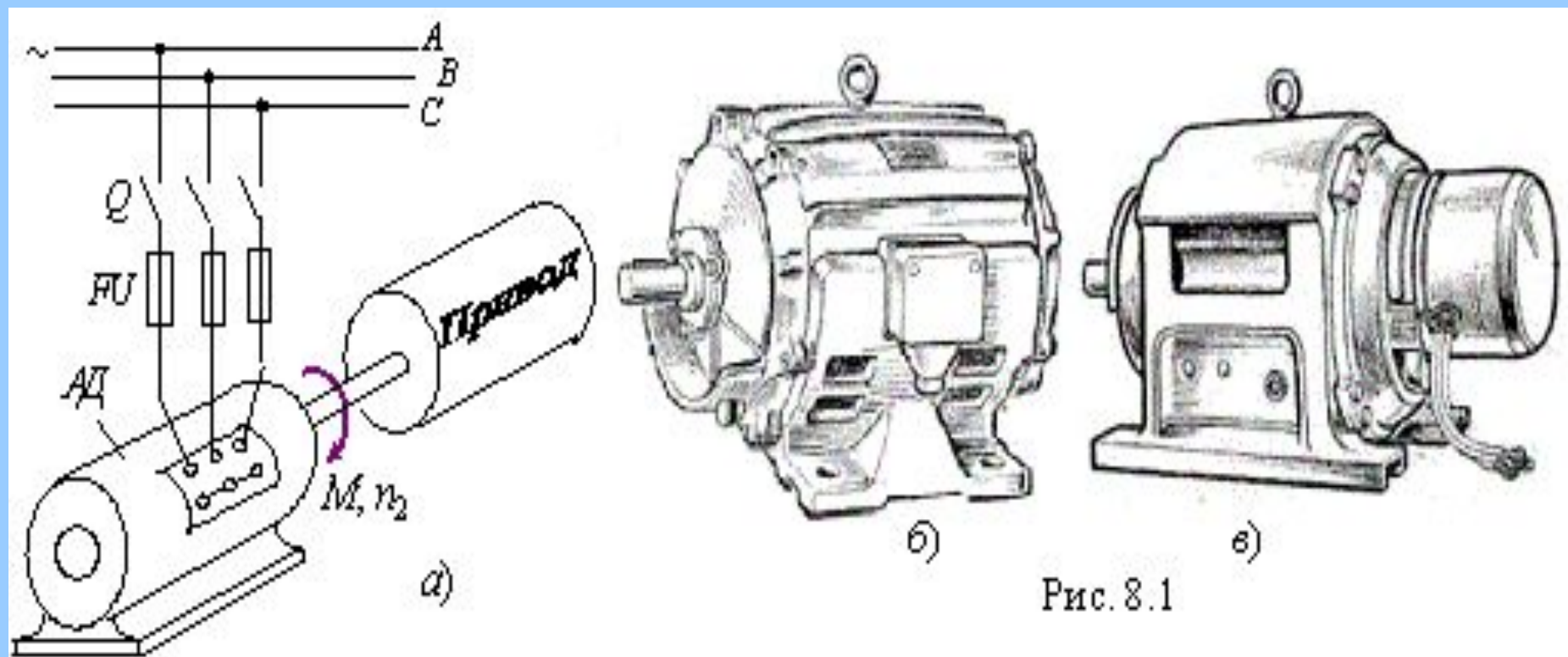
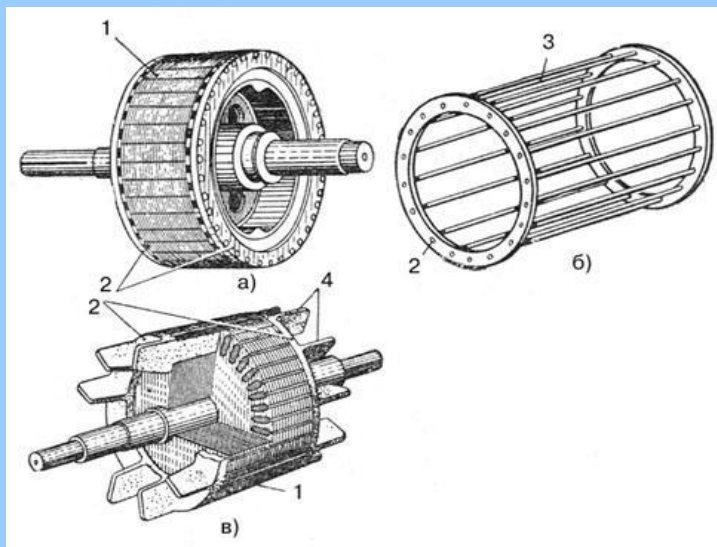


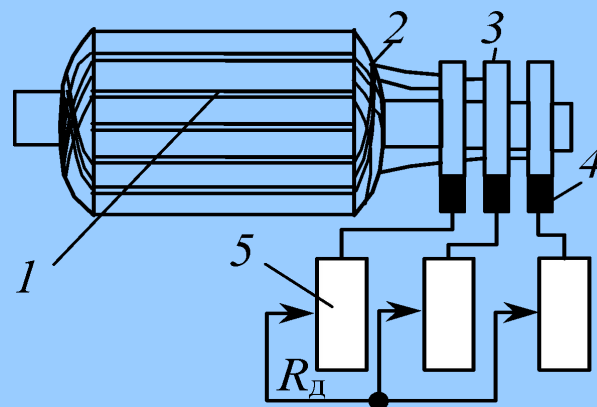
Рис. 8.1

## Устройство короткозамкнутого и фазного роторов АД



### •Короткозамкнутый ротор

- 1- магнитопровод ротора;
- 2 – короткозамкнутые кольца;
- 3 – стержни (обмотка) ротора;
- 4 – вентиляционные лопасти



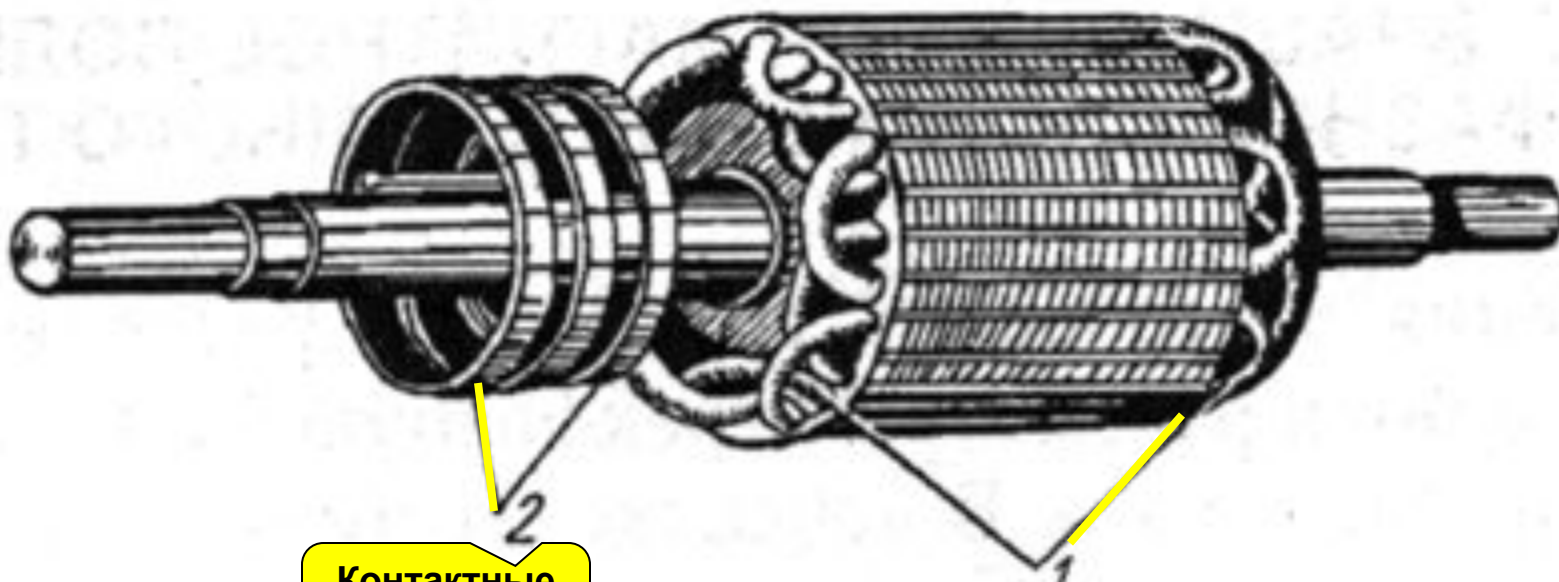
### •Фазный ротор

- 1 – обмотка ротора;
- 2 – сердечник;
- 3 – контактные кольца;
- 4 – щётки;
- 5 – пуско-регулирующий реостат

## Фазный ротор асинхронного двигателя

Сердечник  
ротора

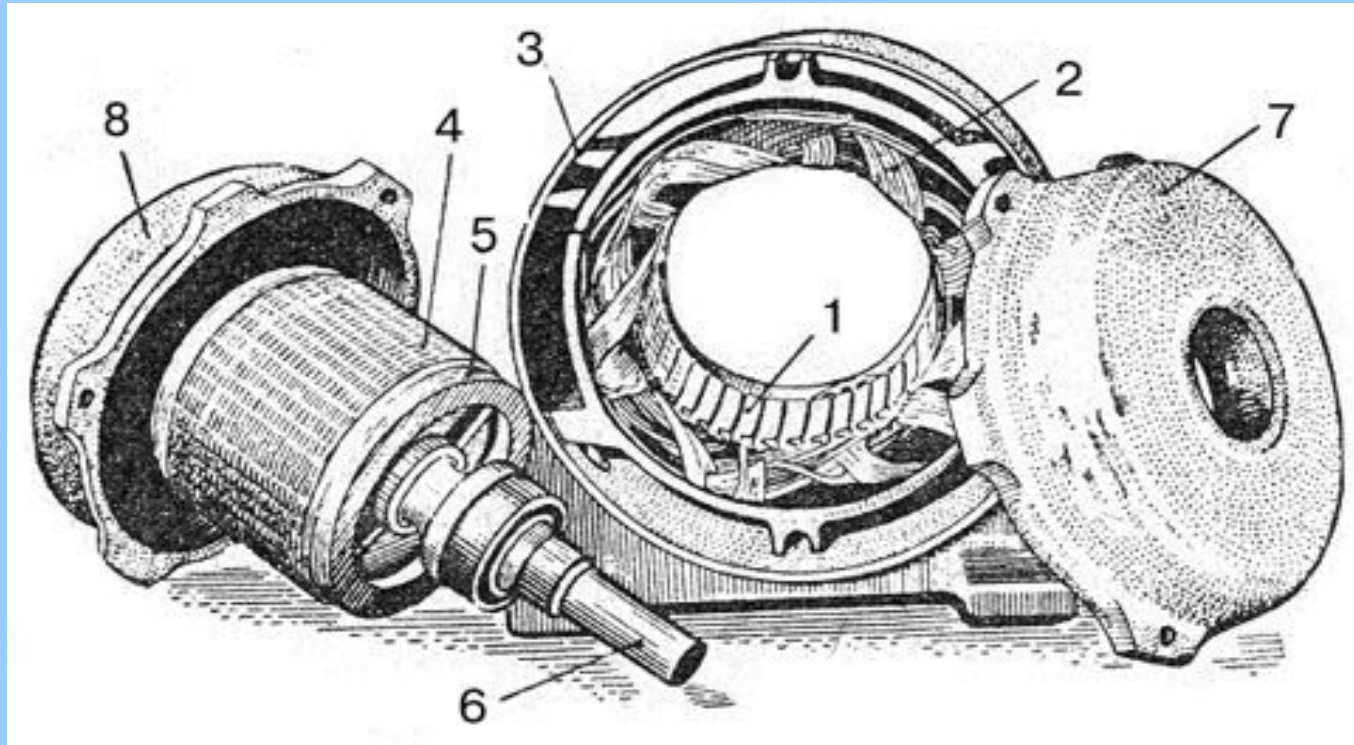
Вал



Контактные  
кольца

Обмотка  
ротора

## *Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором*



- 1 – магнитопровод статора; 2 – обмотка статора; 3 – корпус; 4 – магнитопровод ротора; 5 – кольца; 6 – вал; 7,8 – подшипниковые щиты

# Получение ВМП в трехфазном асинхронном двигателе

## Условия возникновения ВМП:

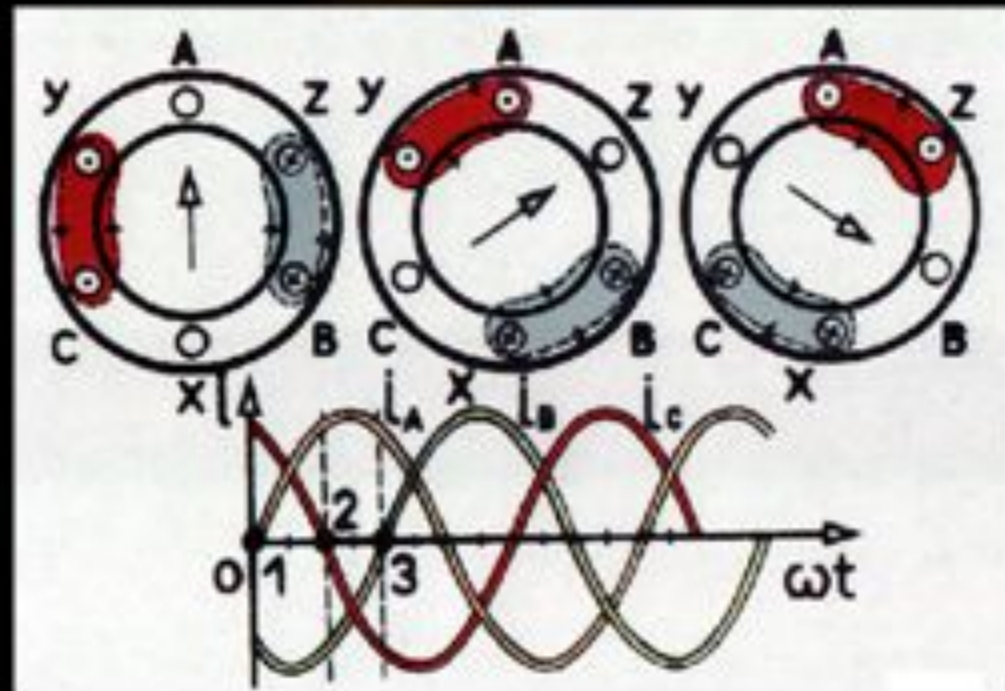
1. Наличие трех обмоток, размещенных в пространстве под углом  $120^\circ$ .

2. Протекание в обмотках токов, имеющих сдвиг фаз  $120^\circ$  эл.градусов:

$$i_1 = I_m \sin(\omega t + 0^\circ);$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$i_3 = I_m \sin(\omega t + 120^\circ).$$



Н ← К



– положительное направление тока

Н → К,

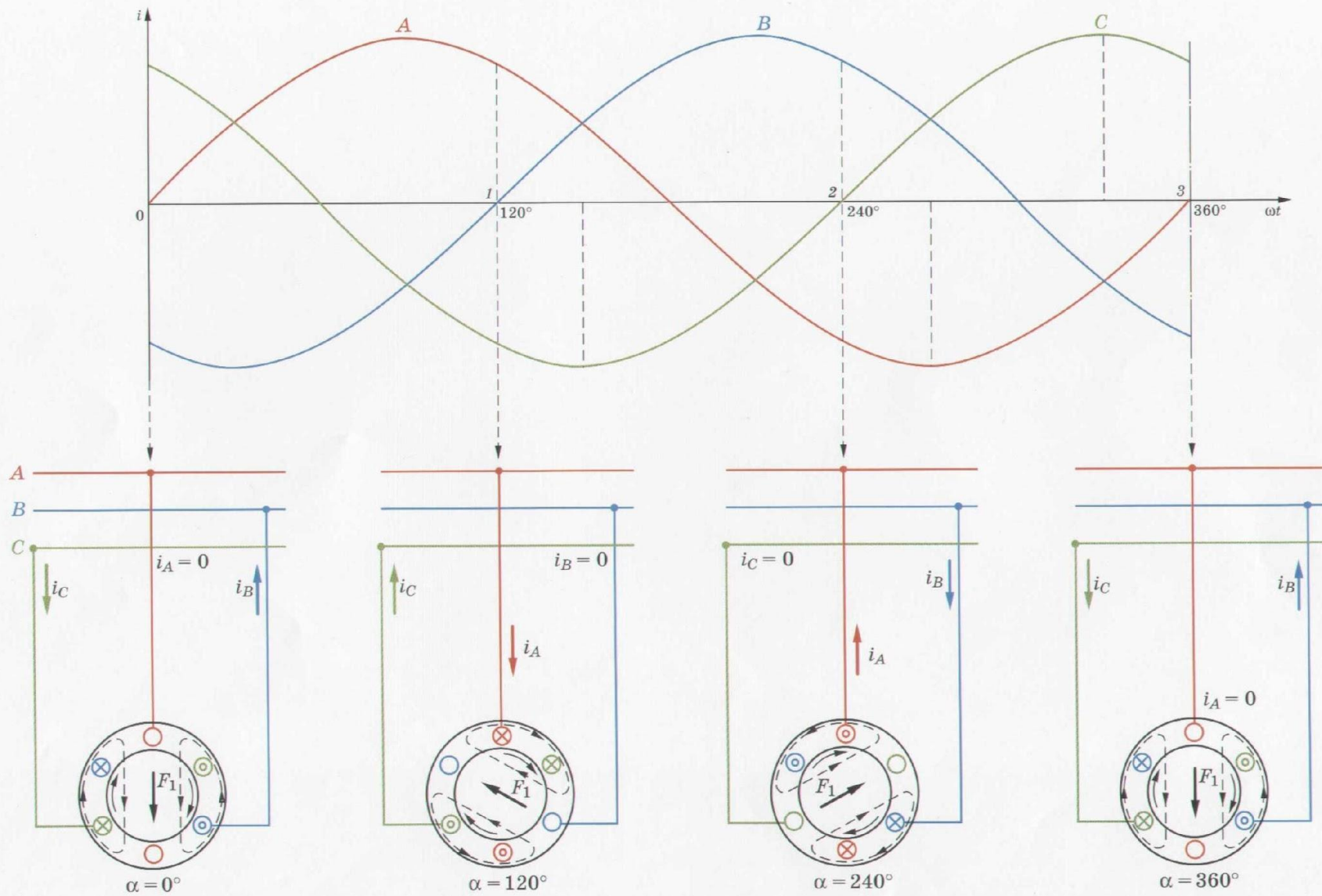


– отрицательное направление тока

$n_0 = 1 / T, \text{ об/сек} = 60f / p, \text{ об/ мин}$  – частота вращения магнитного поля статора

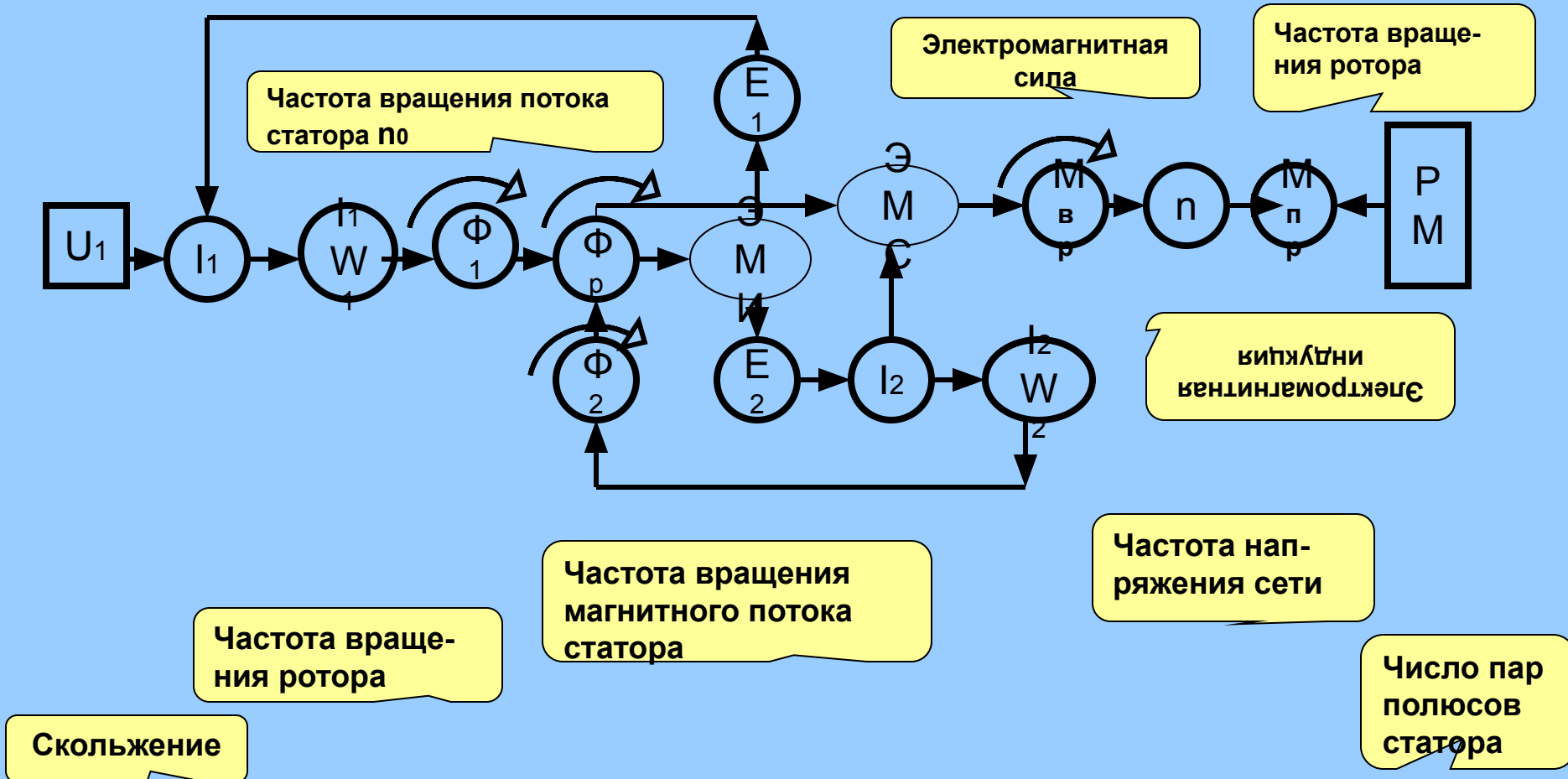


# Образование вращающегося магнитного поля



Положения векторов МДС статора в разные промежутки времени волновой диаграммы токов

# Условно-логическая схема принципа работы асинхронного двигателя

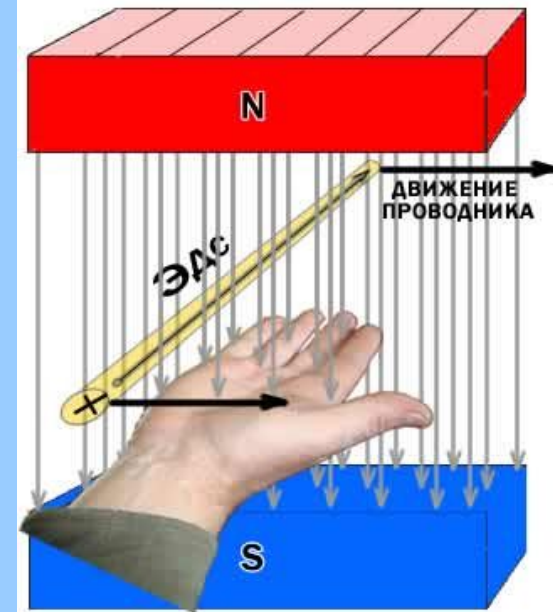


**$S = (n_0 - n)/n_0$**  →  **$n = n_0(1 - s) = 60f_1(1 - s)/p$**

## Принцип действия асинхронного двигателя

- Принцип действия АД основан на создании вращающегося магнитного поля (ВМП), получаемое с помощью
- 3-х фазной обмотки статора, токи в каждой фазе которой сдвинуты на 120 электрических градусов относительно друг друга. Возникает вращающееся магнитное поле, которое пересекая проводники обмотки ротора, наводит в них (на основании закона электромагнитной индукции) переменную ЭДС, направление которой определяют по правилу правой руки. Так как обмотка ротора замкнута, переменная ЭДС вызывает в ней ток того же направления, что и сама ЭДС. В результате взаимодействия тока ротора с вращающимся магнитным полем возникает сила, действующая на проводники ротора, направление которой определяют по правилу левой руки (сила определяется по закону Ампера:  $F = BIl$ ).
- Сила создает вращающий момент, направленный в ту же сторону, что и сила, под действием которой ротор приходит в движение.

### Правило правой руки.

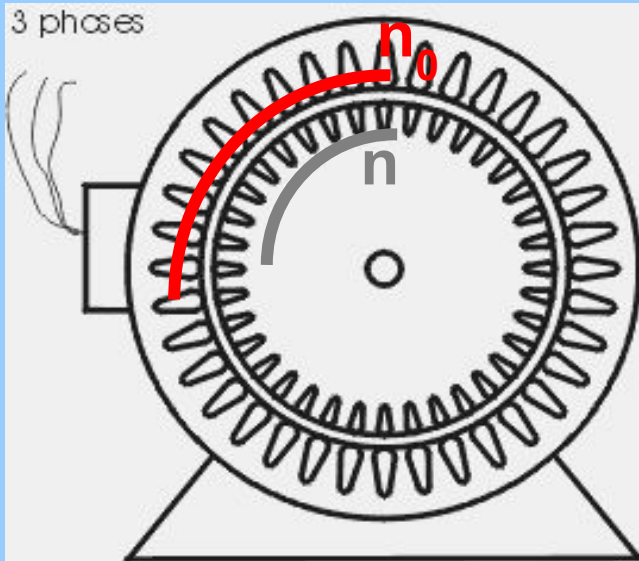


### Правило левой руки.



## Скольжение асинхронного двигателя

**Скольжение  $s$**  – показывает насколько частота вращения ротора  $n$  отличается от частоты вращения магнитного поля статора  $n_0$ . Чем меньше  $s$ , тем меньше отставание вращения ротора от статора.



Частота вращения магнитного поля статора (синхронная частота), об/мин

Частота вращения ротора, об/мин

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

$s \rightarrow 0$  – минимальное отставание вращения ротора от поля статора, т.е. ротор вращается без нагрузки (режим ХХ)

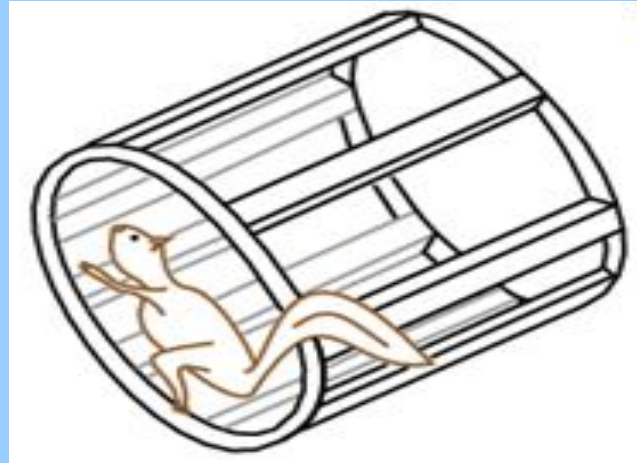
$s=1$  – максимальное отставание, т.е. ротор АД неподвижен (режим пуска или КЗ)

$s=0.02 \dots 0.05$  – ротор незначительно отстает от поля статора (на 2...5%), что соответствует работе АД при номинальной нагрузке



Так как **частота вращения ротора АД всегда меньше частоты вращения поля статора**, т.е. не синхронна с ней и возникло название двигателя - **асинхронный**

## Изменение параметров ротора при его вращении



Частота пересечения проводников обмотки ротора магнитным потоком статора:

$$n_s = (n_0 - n) = (n_0 - n) n_0 / n_0 = n_1 s,$$

Частота ЭДС и токов ротора:

$$f_{2s} = n_s p / 60 = s f_1,$$

где  $f_1$  – частота токов статора.

Например, при питании АД от сети с частотой  $f_1 = 50$  Гц при  $s_{\text{ном}} = 0,04$  частота токов ротора в номинальном режиме составляет  $f_{2\text{ном}} = 2$  Гц;

при пуске ( $s = 1$ )  $f_{2\text{п}} = f_1 = 50$  Гц

ЭДС обмотки вращающегося ротора:

$$E_{2s} = 4,44f_2s w_2 K_{об2} \Phi_m = sE_2,$$

где  $E_2 = 4,44f_2 w_2 K_{об2} \Phi_m$  – ЭДС неподвижного ротора;  $w_1, w_2$  – числа витков обмотки ротора;

$K_{об1}, K_{об2}$  – обмоточные коэффициенты, учитывающие снижение ЭДС из-за распределения обмоток по пазам, укорочения их шага и скоса пазов (для короткозамкнутого ротора  $K_{об2} = 1$ ).

В прикладных расчетах параметров двигателей коэффициент  $K_{об}$  принимают равным 0,95.

Индуктивное сопротивление обмотки ротора

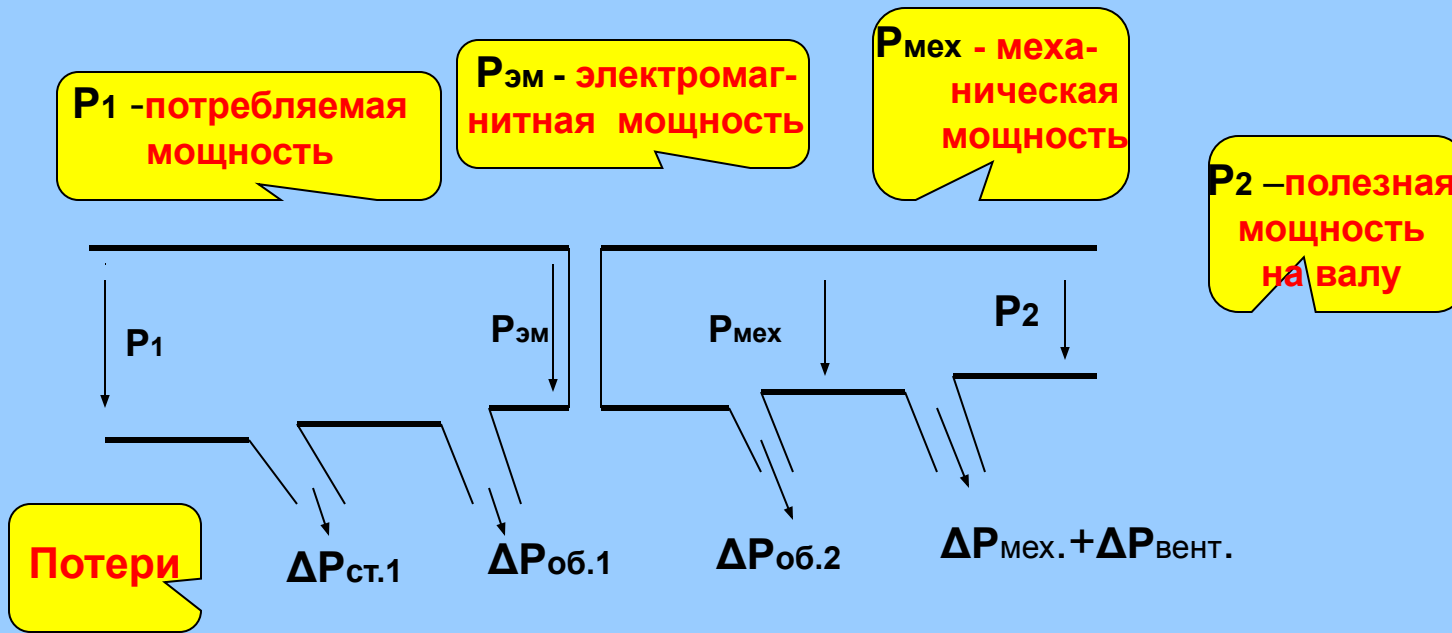
$$X_{2s} = 2\pi f_2 s L_2 = sX_2$$

Ток  $I_2$  в обмотке ротора:

$$I_{2s} = E_{2s} / Z_{2s} = E_2 / \sqrt{(R_2 / s)^2 + X_2^2}$$

Изменение тока  $I_2$  учитывается  $R_2/s$ , которое зависит от  $s$ .

# Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя



$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$P_{эм} = P_1 - \Delta P_{ст.1} - \Delta P_{об.1}$$

$$P_{мех} = P_{эм} - \Delta P_{об.2}$$

$$P_2 = P_{мех} - \Delta P_{мех.} - \Delta P_{вент}$$

## Вращающий момент асинхронного двигателя

Из энергетической диаграммы:

$$\Delta P_{\text{об.2}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{мех}} = M\Omega_1 - M\Omega_2 = M(\Omega_1 - \Omega_2)(\Omega_1/\Omega_1) = M\Omega_1 S$$



$$M = \Delta P_{\text{об.2}} / \Omega_1 S$$

$$\Delta P_{\text{об.2}} = m_2 E_{2s} I_2 \cos \Psi_2 = m_2 4,44 k_{\text{об}m2} f_1 S w_2 \Phi_{\text{max}} I_2 \cos \Psi_2$$

$\Omega_1 = 2\pi n_0 / 60 = 2\pi f_1 / p$  – угловая частота вращения магнитного потока статора

$$M = p m_2 4,44 k_{\text{об}m2} f_1 S w_2 \Phi_{\text{max}} I_2 \cos \Psi_2 / 2\pi f_1 S = C_M \Phi_{\text{max}} I_2 \cos \Psi_2, \text{ где}$$

$C_M = p m_2 4,44 k_{\text{об}m2} / 2\pi f_1$  – постоянная момента

**Универсальная формула вращающего момента**

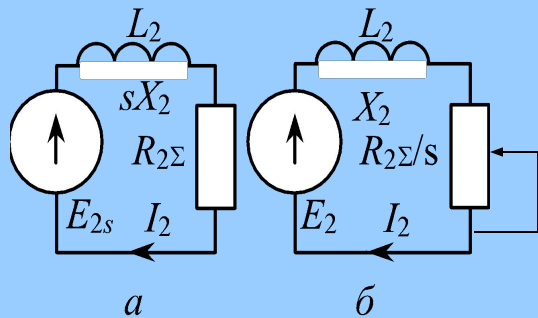
$$M = C_M \Phi_{\text{max}} I_2 \cos \Psi_2$$

- Вращающий момент АД пропорционален току ротора, амплитуде вращающегося магнитного потока и  $\cos$  угла между векторами ЭДС и тока ротора. Вращающий момент создается только активной составляющей тока ротора –  $I_2 \cos \Psi_2$ .



## Схема замещения асинхронного двигателя

Схемы замещения ротора АД



В схеме рис.а мощность, выделяемая на участке с  $R_2$  равна по значению потерям в обмотках ротора

$$\Delta P_{об.2} = 3R_2 I_2^2$$

В схеме рис.б ток  $I_2$ , протекающий по участку с  $R_2/s$  равен:

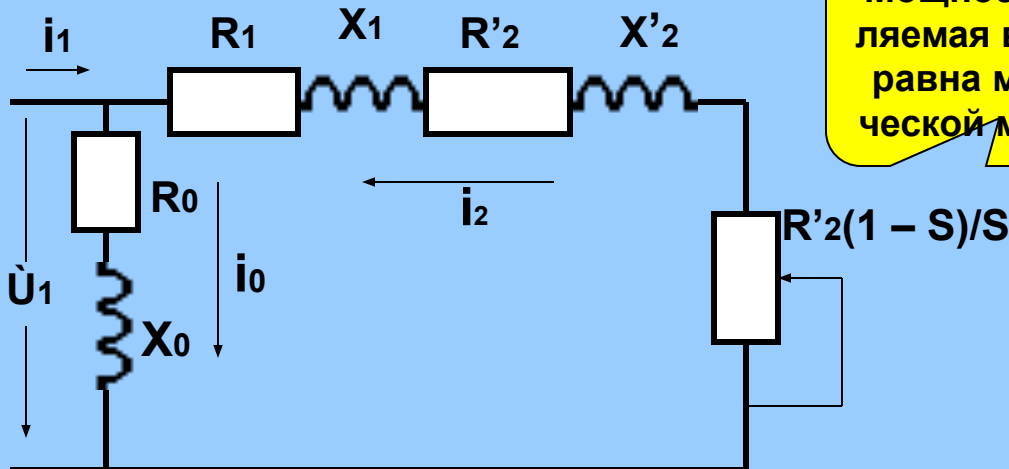
$$I_{2s} = E_{2s} / Z_{2s} = E_2 / \sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}$$

Мощность, выделяемая на резисторе  $R_2/s$  равна:

$$P_{R2} = 3R_2 I_2^2 / s$$

Тогда:  $\Delta P_{об.2} / P_{R2} = s$ , т. е.  $P_{R2}$  – электромагнитная мощность

Схема замещения АД



Мощность, выделяемая в элементе, равна механической мощности

Выразив  $I_2$  из схемы замещения, получим формулу вращающегося момента:

$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

## Механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(s)$

$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

Рассмотрим работу АД при условии:  
 $U_1 = \text{const}$ . Введем  $C'_m = 3U_1^2 / \Omega_1 = \text{const}$   
пренебрегая  $R_1$ , получим:

$$M = \frac{c'_m R'_2 / s}{(R'_2 / s)^2 + X_k^2}$$

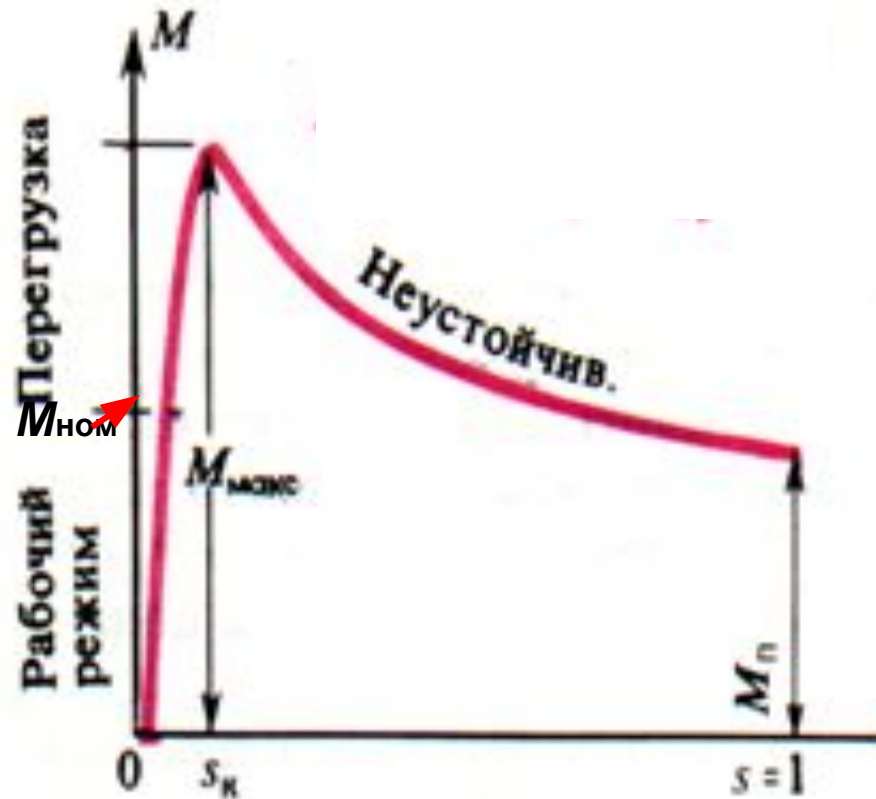
Взяв,  $dM/ds = 0$ , определим  $s_{кр}$ :

$$s_{кр} = R'_2 / X_{кр}$$

Подставив в формулу, получим:

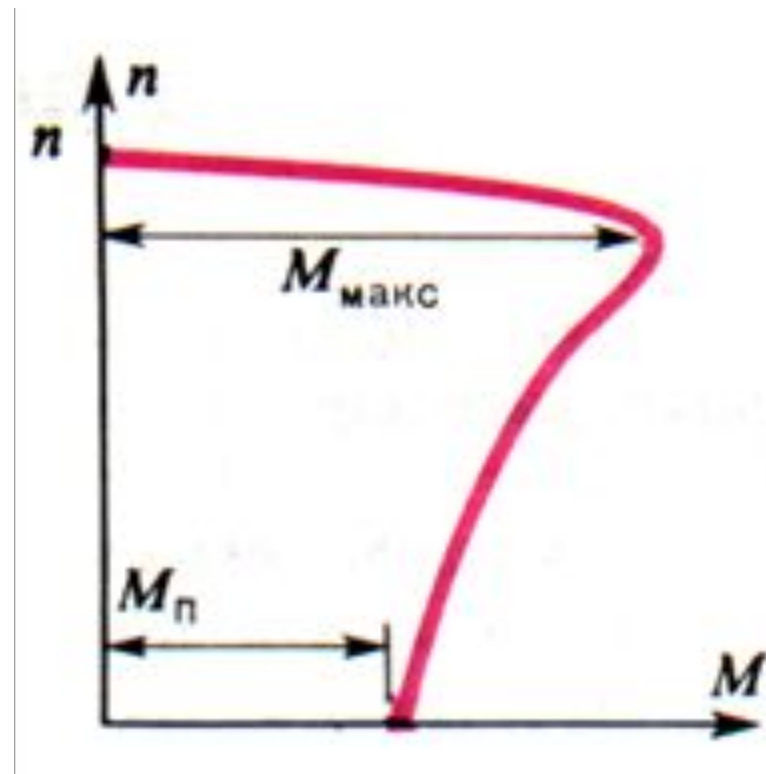
$$M_{\max} = C'_m / 2X_{кр}$$

$M_{\max}$  не зависит от  $R'_2$ , но сдвигает его в область больших скольжений, зависит от  $U_1^2$



Механическая характеристика асинхронного двигателя  $n = f(M)$

$$n = n_0(1-s)$$



# Механическая характеристика асинхронного двигателя



# Построение механической характеристики по паспортным данным

Паспортными данными электродвигателей являются следующие величины:

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность, кВт;  $n_{\text{ном}}$  – номинальная частота вращения ротора об/мин;  
 $\lambda_M$  – кратность максимального (критического) момента;  $\lambda_{\text{п}}$  – кратность пускового момента

$n_0$  – синхронная частота вращения;  $M=0$ ;

$n_{\text{ном}}$  – номинальная частота вращения ротора;  $M_{\text{ном}} = 9550 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}}$ ;

$M_{\text{кр}}$  – максимальный (критический) момент,  $M_{\text{кр}} = \lambda_M M_{\text{ном}}$ ;

$$s_K = s_{\text{ном}} (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}).$$

$M_{\text{п}} = \lambda_{\text{п}} M_{\text{ном}}$ ,  $n=0$

**Рабочий участок механической характеристики строится по точкам, задаваясь значением скольжения  $s$  от 0 до 1 по упрощенной формуле Клосса:**

$$M = \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

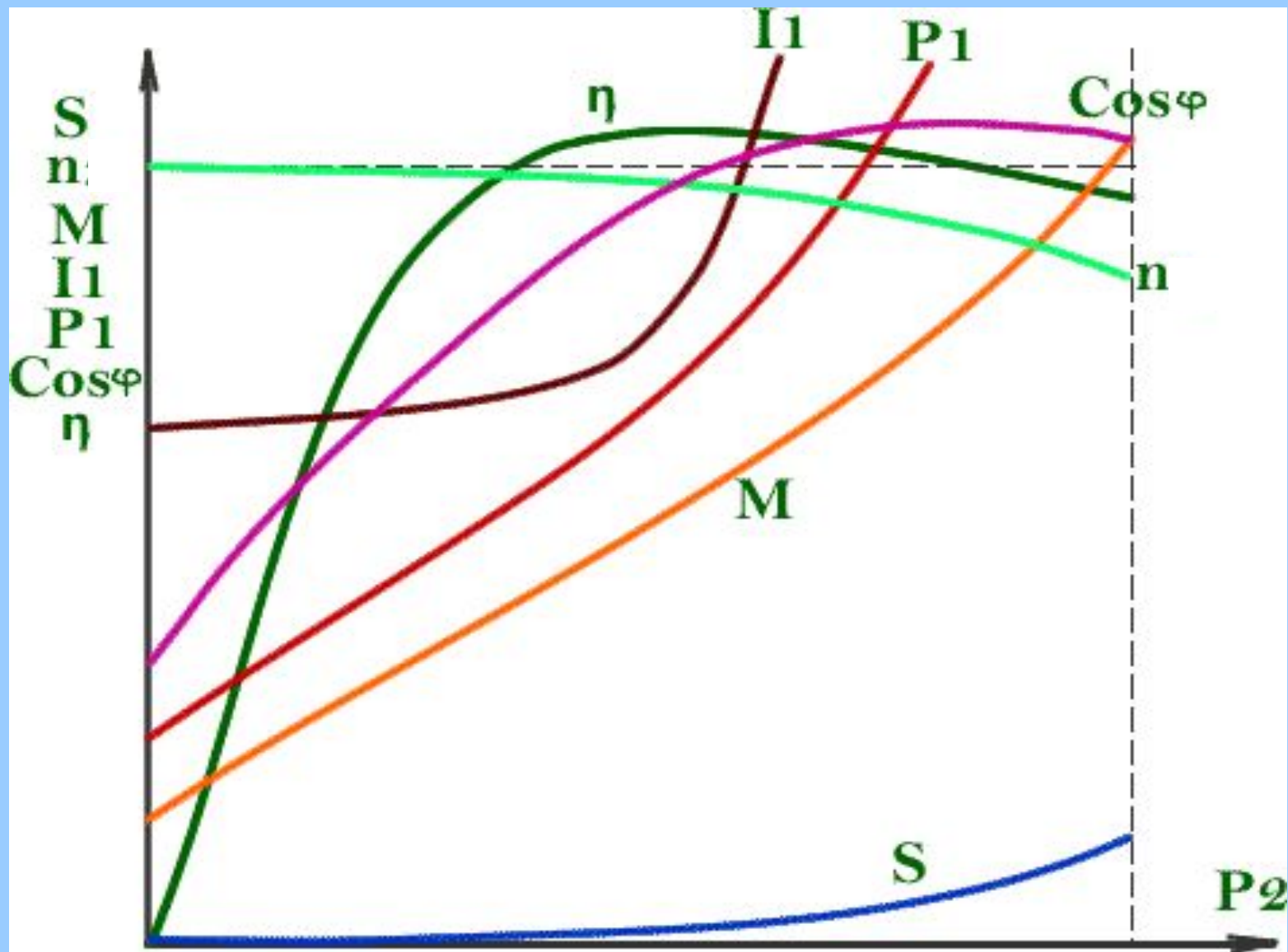
Важным показателем механических характеристик является их жесткость  $\beta = dM/dn$ . Чем жестче, т. е. чем меньше угол наклона рабочего участка характеристики двигателя, тем меньше изменяется частота вращения  $n$  при изменении момента нагрузки  $M_s$ .

Паспортный показатель  $\lambda_M = M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$  называют кратностью максимального момента.

Он характеризует перегрузочную способность двигателя. Для АД общего назначения  $\lambda_M = 1,7 \div 2,5$ , для АД, работающих с большими перегрузками (крановые, металлургические),  $\lambda_M = 2,2 \div 3,5$ .

Кратность пускового момента  $\lambda_{\text{п}} = M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$  для двигателей малой и средней мощности (менее 100 кВт) составляет  $\lambda_{\text{п}} = 1,0 \div 2,0$ .

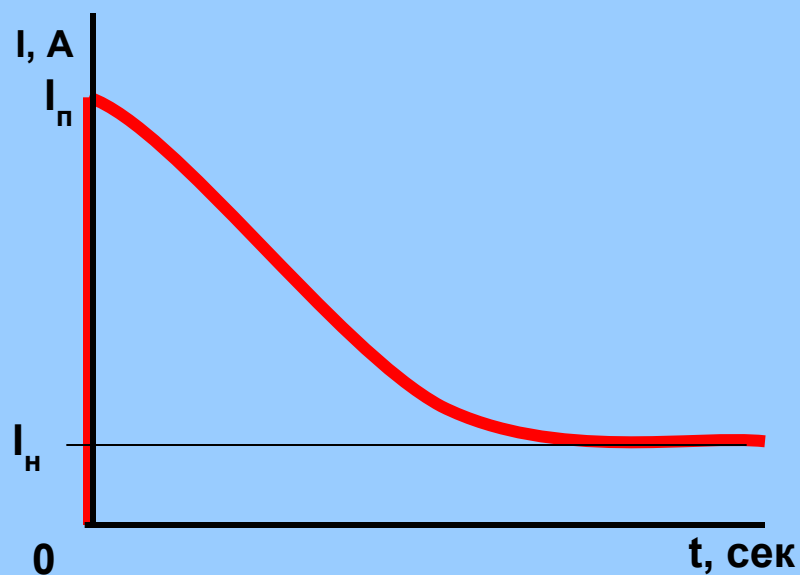
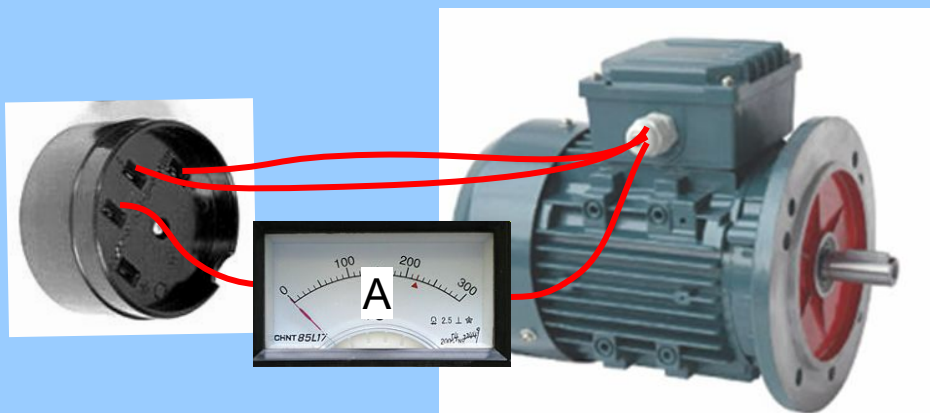
*Рабочие характеристики асинхронного двигателя*



## Пуск асинхронного двигателя

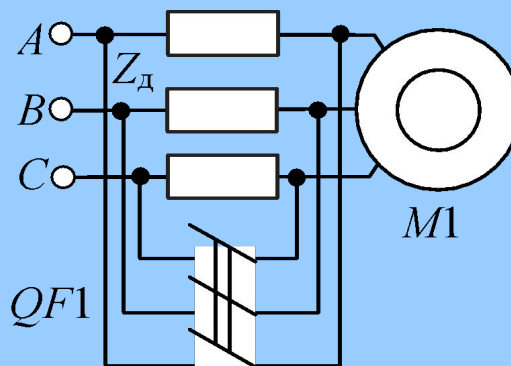
Пуск АД сопровождается скачком тока до  $I_p$ , который в 5-7 раз превышает номинальный ток  $I_n$ , на который рассчитаны провода или жилы кабеля, питающего двигатель.

Поэтому, прямое включение АД в сеть применяется только для АД не более 15-20кВт



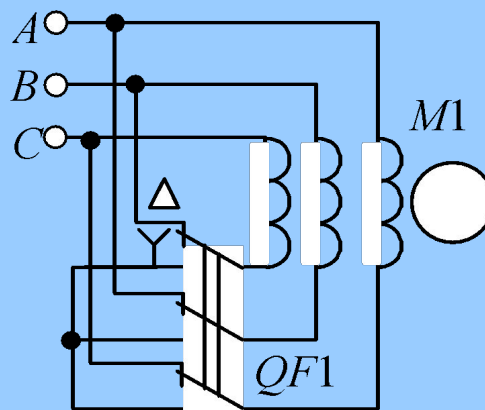
# 1. Пуск при пониженном напряжении

а) включение последовательно с обмотками статора реостатов или индуктивностей

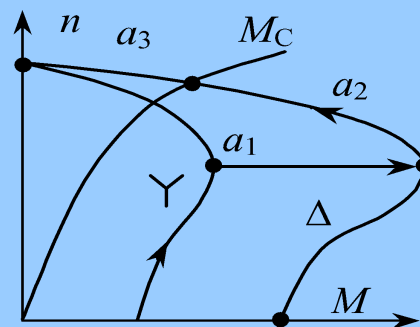
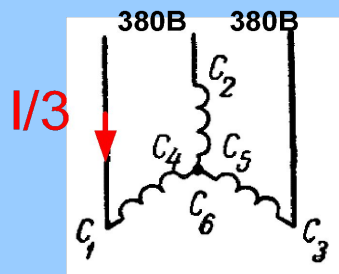
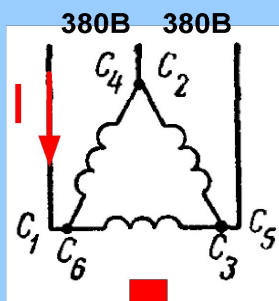


а

б) соединение обмоток статора на время пуска звездой

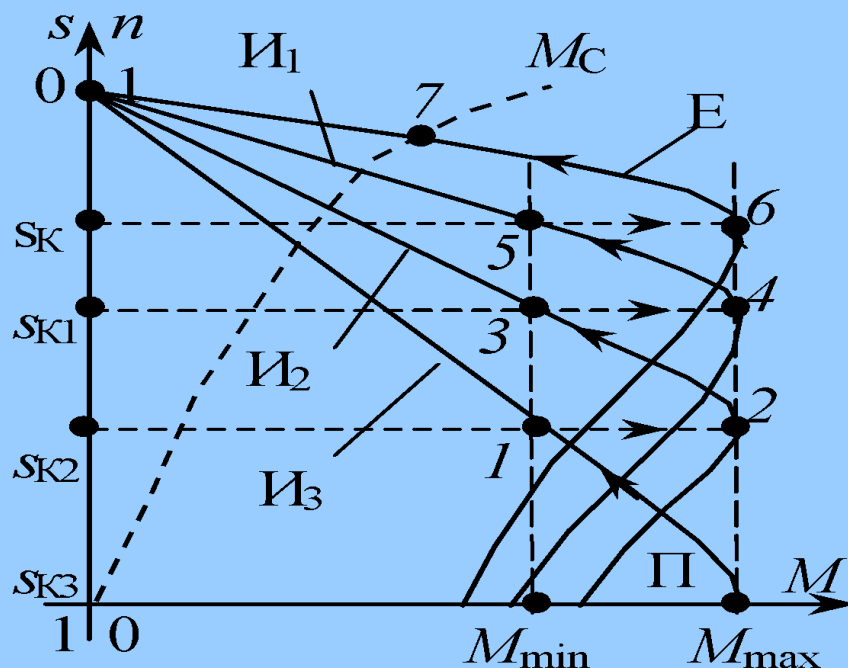
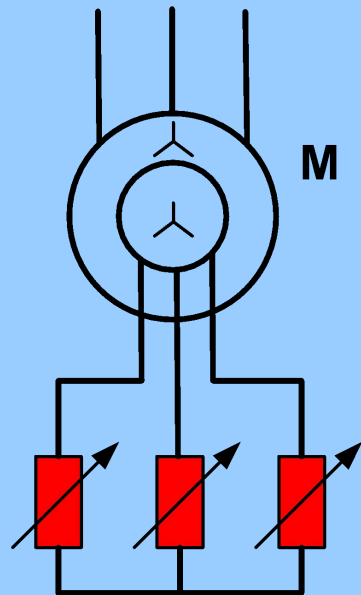


б





## 2. Пуск с помощью пускового реостата в цепи обмотки ротора (только для АД с фазным ротором)



Пуск АД начинается с введения в цепь ротора всех ступеней  $R_D$ , что соответствует пусковой точке П

на характеристике  $I_3$ . Характеристику  $I_3$  с пусковым моментом  $M_n = M_{max}$  получим при полном сопротивлении пускового реостата  $R_D = R_1 + R_{II} + R_{III} = R_2 \left( \frac{1}{s_k} - 1 \right)$

где  $s_k$  – критическое скольжение характеристики Е.

**Пусковой реостат, включенный в цепь фазного ротора через контактные кольца, позволяет увеличить пусковой момент до максимального (характеристика  $I_3$ ).**

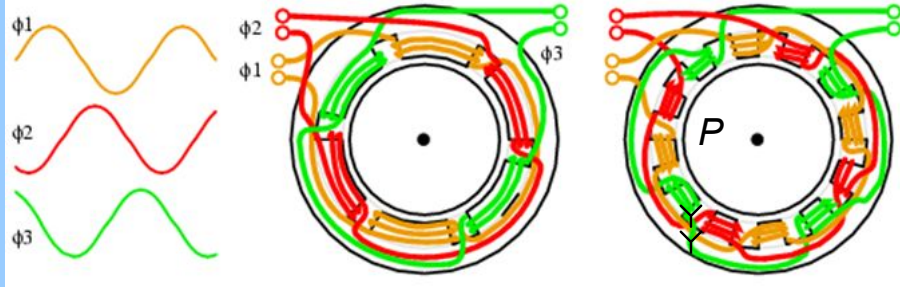
# Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя

Из формулы  $n = n_0(1 - s) = 60f_1(1-s)/p$ , следует, что частоту вращения ротора можно регулировать изменением числа пар полюсов  $p$ , частотой питающего напряжения  $f_1$  и скольжением  $s$ .

**1. Изменением количества полюсов** статора – включением в сеть разного количества полюсов.

Существуют **многоскоростные АД**: **двухскоростные**: 500/1000, 750/1500, 1500/3000 об/мин

**трехскоростные**: 1000/1500/3000, 750/1000/1500 об/мин: **четырёхскоростные**: 500/750/1000/1500 об/мин

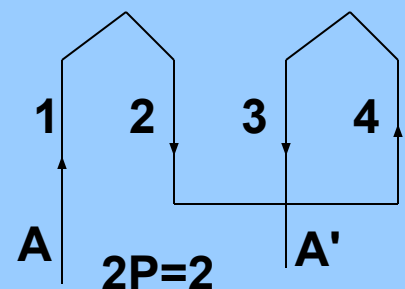
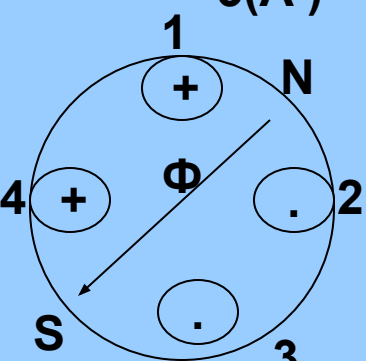
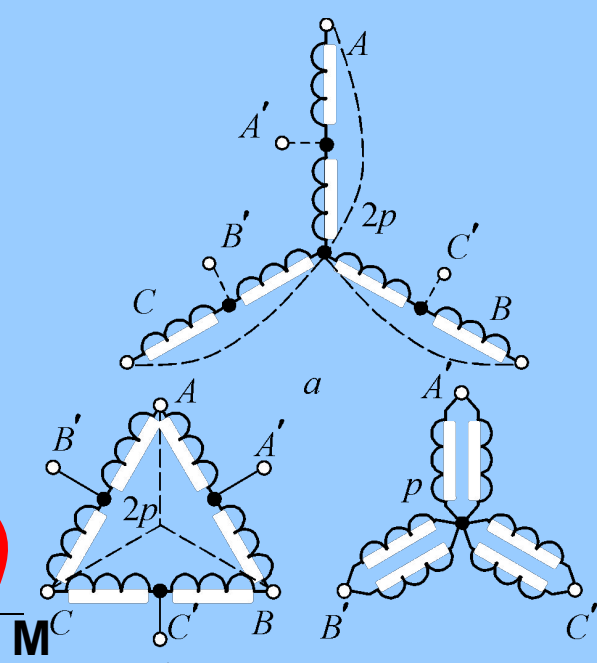
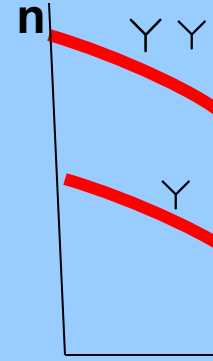
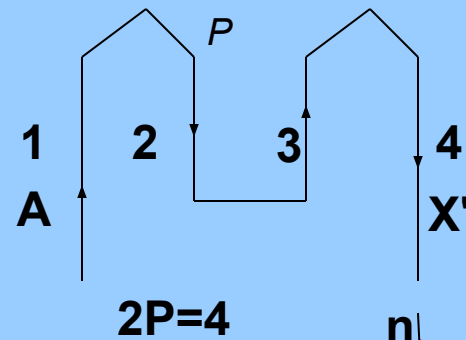
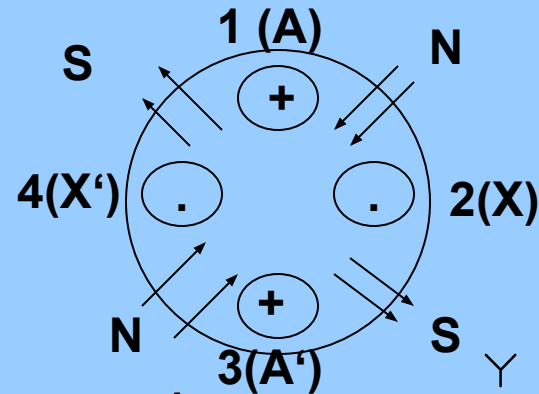


При переключении  $Y \rightarrow YY$

$$YY \approx 2P_Y, \quad M_{YY} \approx \frac{1}{2} M_Y$$

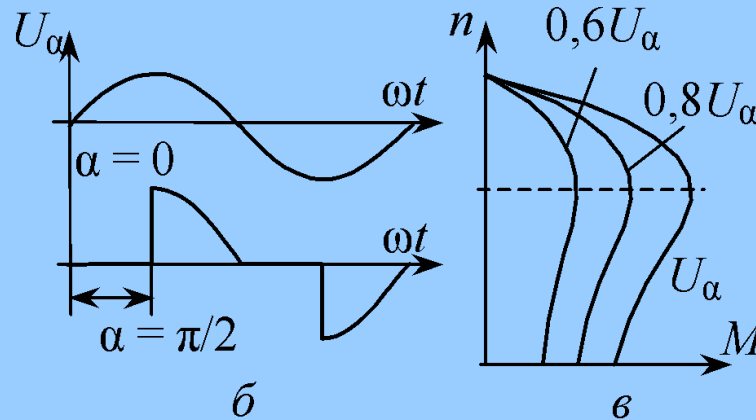
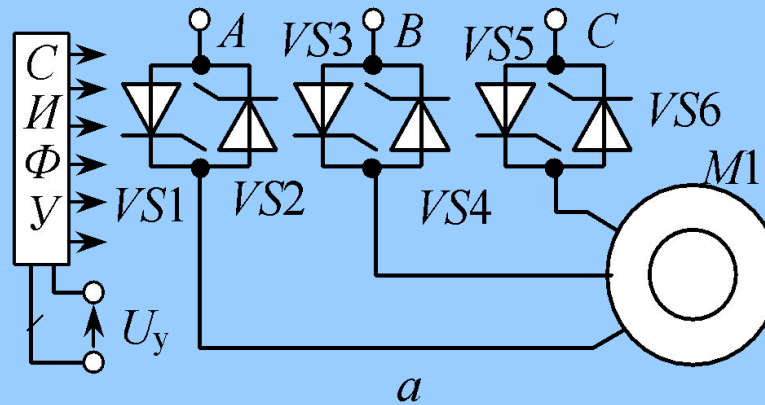
при переключении  $\Delta \rightarrow YY$

$$YY \approx P_{\Delta}, \quad M_{YY} \approx \frac{1}{2} M_{\Delta}$$



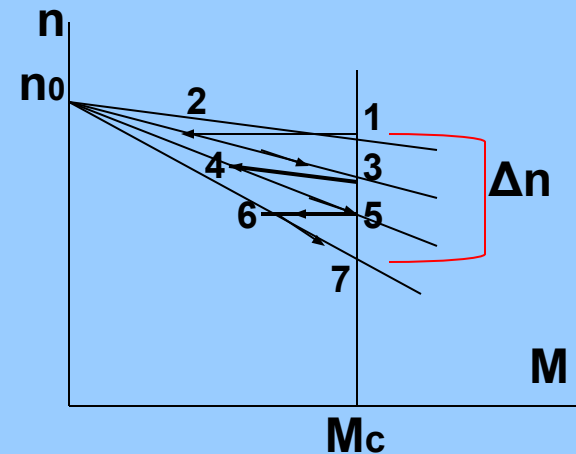
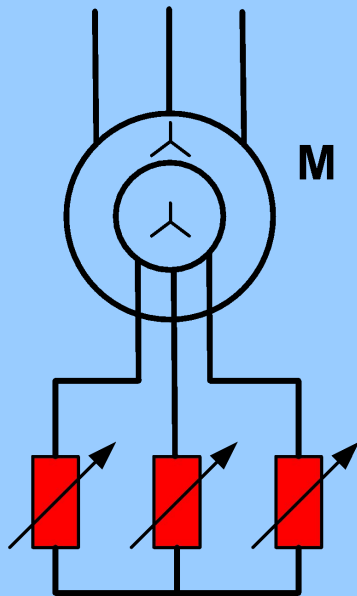
## 2. Изменением скольжения для двигателя с короткозамкнутым ротором

Система  
Импульсно-  
фазового  
управления



# Изменением скольжения для двигателя с фазным ротором

Путем введения в цепь обмоток ротора реостатов.



- 1 – включение 1-ой ступени реостата →  
 $R_p \uparrow | I_2 \downarrow | M_{вр} \downarrow < M_c$  •(2) →  $n \downarrow | s \uparrow | I_2 \uparrow | M_{вр} \uparrow = M_c$  •(3)
- (3) – включение 2-ой ступени реостата.
- (5) – включение 3-ей ступени реостата.
- (1) - •(7) – диапазон регулирования частоты вращения ротора  $\Delta n$

Недостатки данного способа:

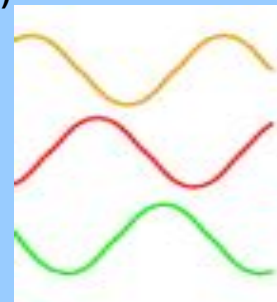
- 1) низкая экономичность из-за потерь в реостате  $R_p$ ;
- 2) снижение жесткости механических характеристик;
- 3) частоту вращения можно регулировать только в сторону понижения

### 3. Частотное регулирование

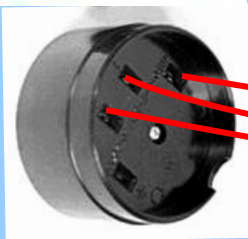
Изменением частоты питающего напряжения - **частотное регулирование**. Бесступенчатый способ. Экономичный и перспективный. Необходим **ПЧ (преобразователь частоты)**



$f_{\text{сети}} = 50 \text{ Гц}$



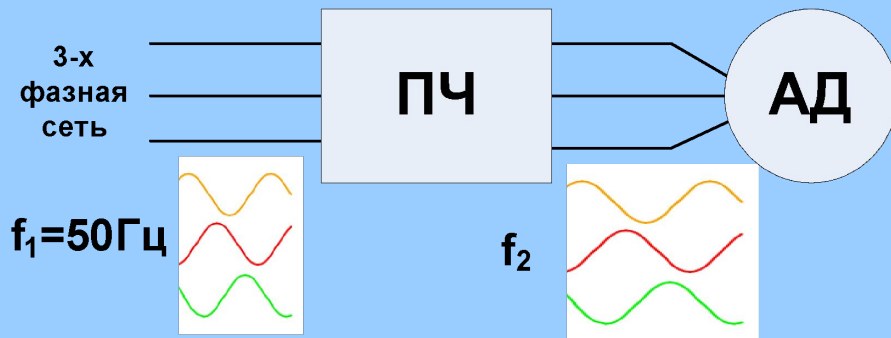
$f_{\text{пч}} < f_{\text{сети}}$



Уменьшение только частоты питающего напряжения ведет к уменьшению максимального момента двигателя



# Продолжение частотного регулирования



Изменение частоты по закону:

$$\frac{f}{U} = \text{const}$$

позволяет регулировать частоту вращения без изменения момента

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{f_{1\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{M_C(\Omega)}{M_{C\text{НОМ}}}}$$

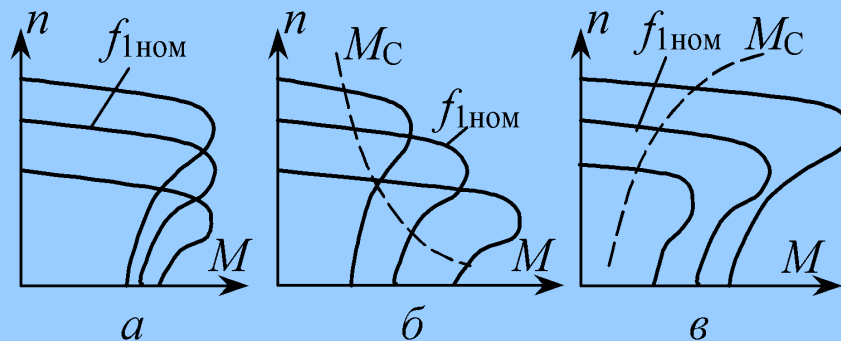
Для механизмов:

а) с постоянным моментом  $M_C$ ;

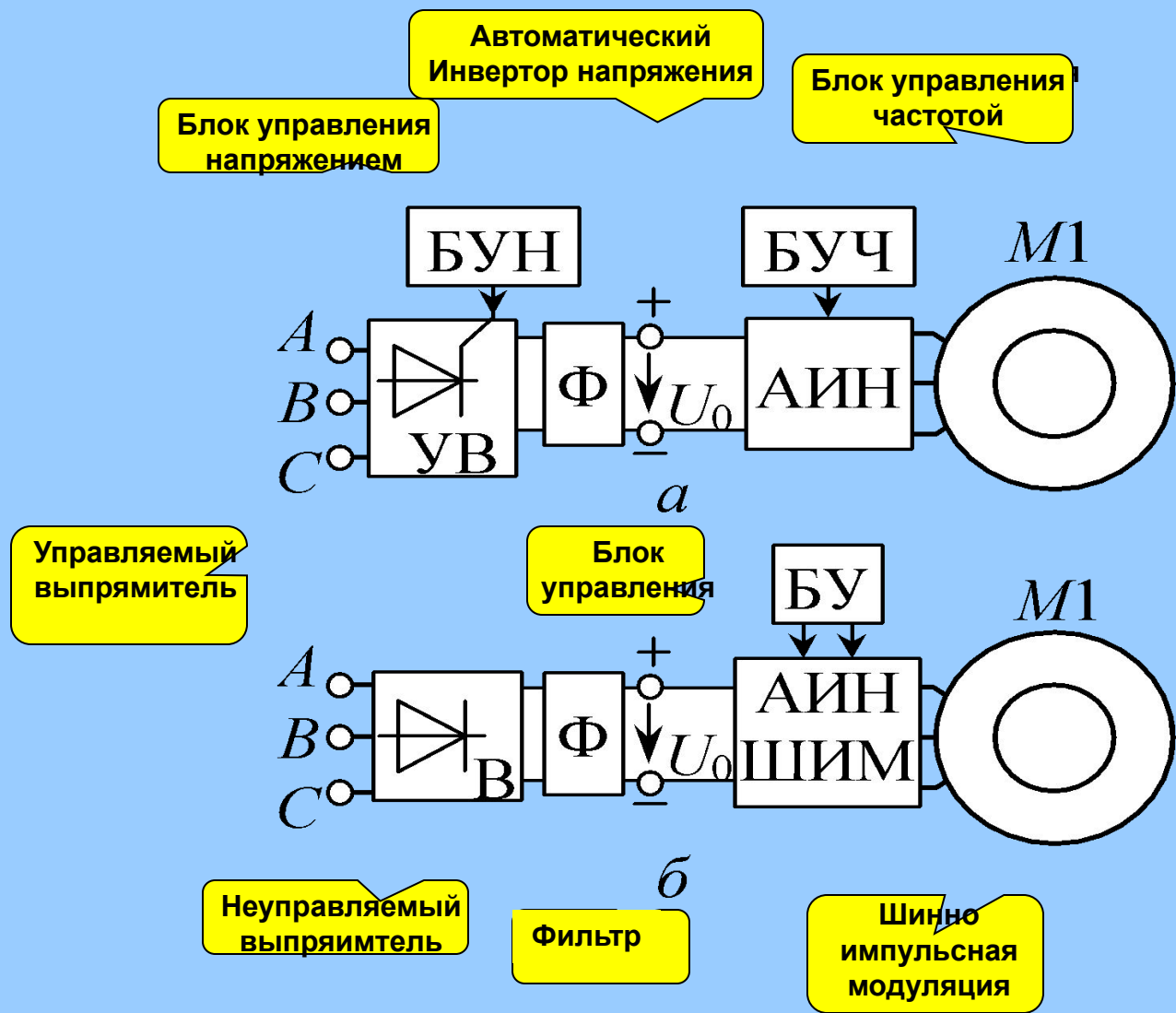
б) постоянной мощности  $P_C$ ;

в) вентиляторного типа получаем:

а)  $\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{f_{1\text{НОМ}}} = \text{const}$     б)  $\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}$     в)  $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$



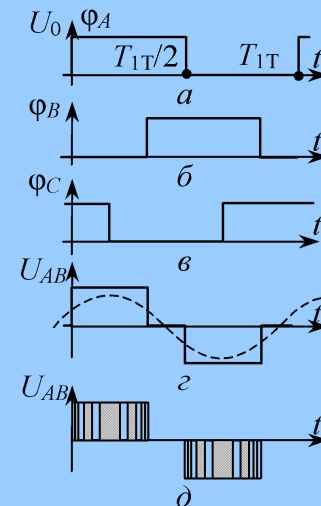
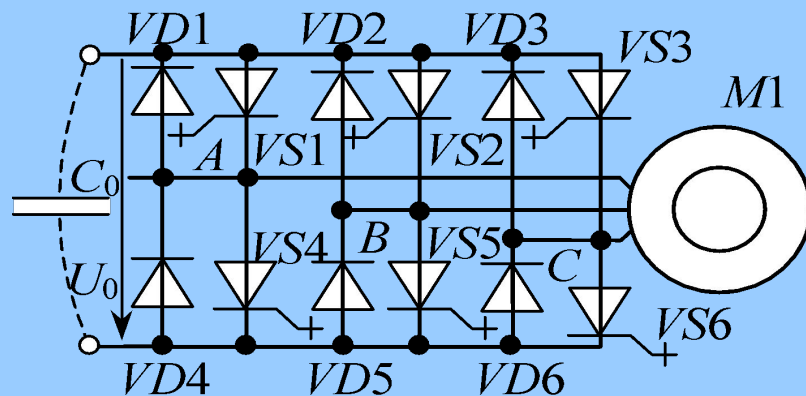
# Управление асинхронного двигателя преобразователями частоты



## Схема трехфазного АИН на запираемых тиристорах VS1–VS6.

Пусть  $f_{1T} = 1/T_{1T}$  – требуемая частота напряжения статора.

Форма линейного напряжения на статоре может быть различной в зависимости от алгоритма коммутации тиристоров. Пусть в каждой фазе тиристоры открываются и закрываются попеременно через  $\Delta t = T_{1T}/2$  с фазным запаздыванием  $T_{1T}/3$ .



Временные диаграммы потенциалов точек A, B, C (потенциал нижней шины принят нулевым).

Линейное напряжение  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$  (рис. в) является последовательностью разнополярных прямоугольных импульсов, первая гармоника которой изображена пунктиром.

Данный инвертор допускает регулирование частоты  $f$  как вверх, так и вниз от номинального значения.

Выходное напряжение инвертора с учетом ШИМ (рис. д) состоит из импульсов повышенной

частоты, имеющих различную ширину, которая устанавливается так, чтобы получить на выходе

максимум первой гармоники. При использовании ШИМ возрастают требования к быстродействию

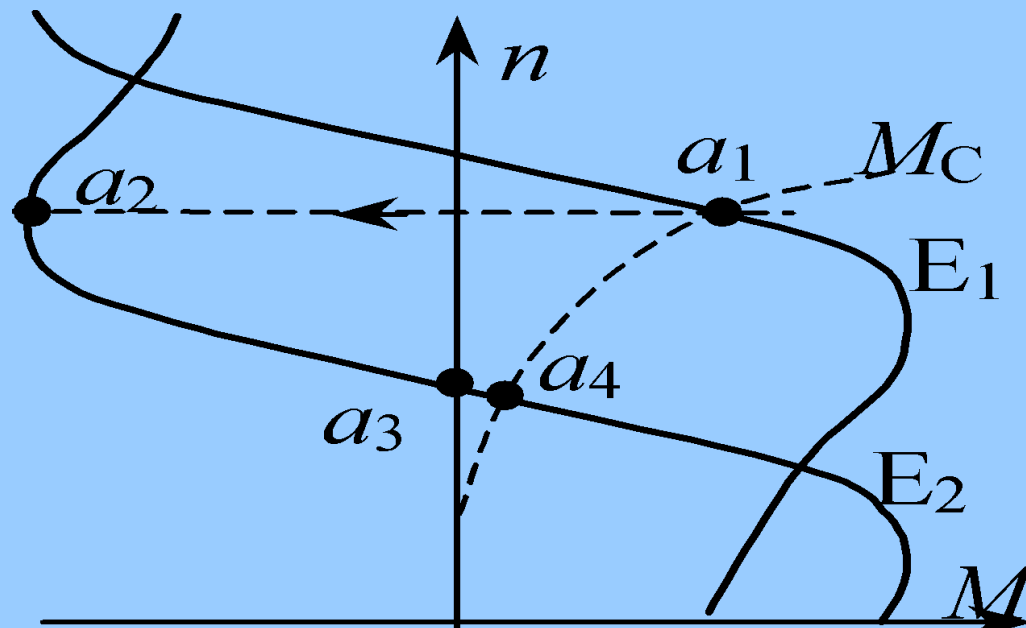
ключей, которые выполняют на транзисторах или тиристорах. Обратновключенные диоды VD1–VD6 совместно с емкостью C0 фильтра Ф образуют пути замыкания спадающих токов статорных обмоток.



# Способы торможения асинхронных двигателей

## Генераторное торможение

Этот вид торможения наблюдается в частотно-управляемых двигателях при понижении частоты  $f_1$ , а также в многоскоростных двигателях при переходе на низкую скорость. Например, при увеличении числа пар полюсов характеристика  $E_1$  заменяется на  $E_2$ , при этом рабочая точка  $a_1$  по горизонтали скачком переходит в точку  $a_2$  и далее по характеристике  $E_2$  плавно в точке  $a_3$ ,  $a_4$ . Участок  $a_2$ - $a_3$  является генераторным. Ему соответствует торможение ( $M < 0$ ) с возвратом (рекуперацией) энергии в сеть. Рекуперативное торможение может также использоваться в приводах подъемников в режиме быстрого спуска. Двигатель включается на спуск и под действием груза разгоняется до частоты  $n > n_1$ , т. е. переходит в генераторный режим, при этом кинетическая энергия груза преобразуется в электрическую энергию и отдается в сеть

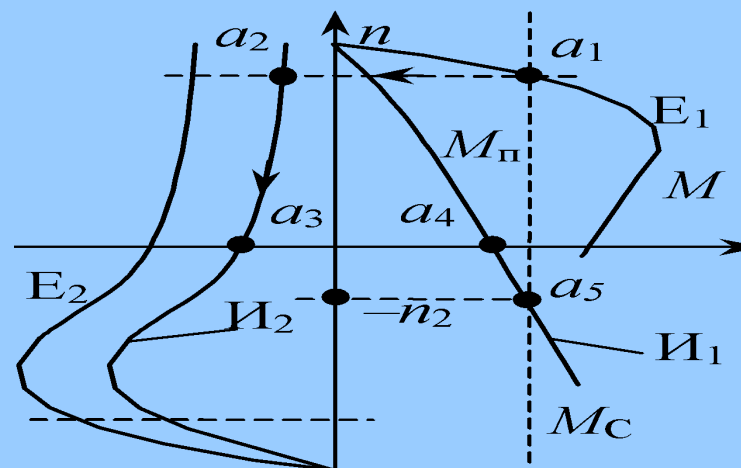
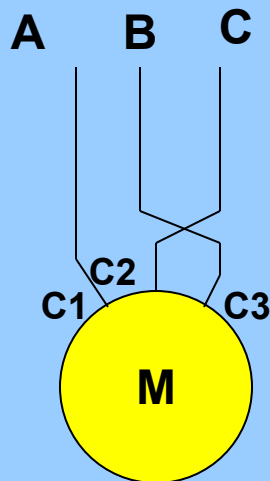
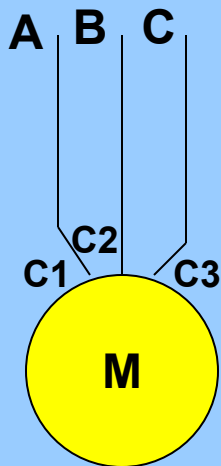


## Торможение противовключением

Торможение противовключением достигается изменением направления вращения поля статора. При этом характеристика  $E_1$  заменяется обращенной характеристикой  $E_2$ . Для уменьшения токов АД одновременно уменьшают напряжение статора (характеристика  $I_2$ ).

Рабочая точка из  $a_1$  по горизонтали скачком переходит в  $a_2$  и затем по характеристике  $I_2$  движется вниз. При достижении точки  $a_3$  ( $n = 0$ ) АД нужно отключить от сети, иначе начнется реверс.

При активном моменте  $M_c$  (груз в подъемнике) возможен второй способ торможения противовключением: в цепь ротора вводится большое сопротивление (характеристика  $I_1$ ) и АД включается на подъем. Под действием преобладающего момента  $M_c > M_n$  из точки  $a_4$  начнется спуск груза с подтормаживанием. В точке  $a_5$  пересечения характеристик  $I_1$  и  $M_c$  установится частота спуска  $-n_2$  (тормозной спуск).



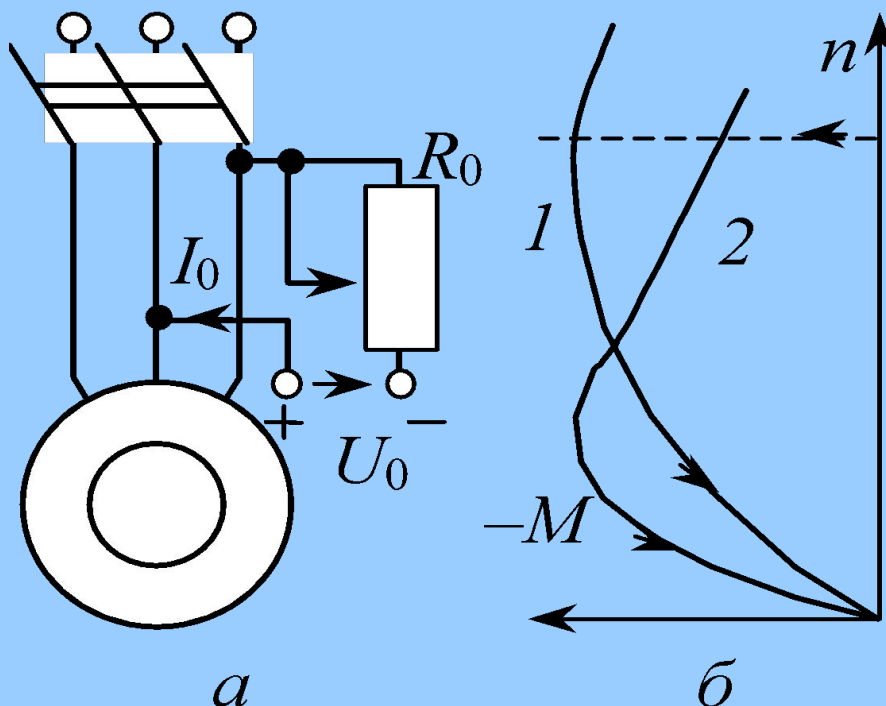
$$S = [n_1 - (-n_2)] / n_1 > 1$$

$$Z'_2 = \sqrt{(R'_2)^2 + X'_2{}^2}$$

уменьшается, а ток ротора и статора увеличивается

## Динамическое торможение

Осуществляют отключением обмоток статора от трехфазной сети и подключением к источнику постоянного напряжения  $U_0$  (рисунок а). Постоянный ток  $I_0$  обмоток статора создает неподвижное магнитное поле, под действием которого в обмотке вращающегося по инерции ротора индуцируются токи, создающие тормозной момент. Искусственные механические характеристики в режиме динамического торможения (рисунок б) можно регулировать изменением сопротивлений  $R_0$  или  $R_d$  в цепи ротора (кривая 1). Кривая 2 соответствует двигателю с короткозамкнутым ротором.



# Паспортные данные асинхронных двигателей

АД выпускаются с синхронной частотой вращения  $n_0$  (частотой вращения магнитного поля статора):

**3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 об/мин**

Перегрузочная  
способность

Номинальная  
мощность на  
валу

Номинальное  
КПД

Номинальное  
скольжение

Номинальный  
коэффициент  
мощности

Кратность  
пускового  
момента

Кратность  
пускового  
тока

Синхронная  
частота  
вращения

Типоразмер двигателя	Мощ- ность, кВт	Скольже- ние, %	КПД, %	$\cos\varphi$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{п}}{I_{ном}}$
-------------------------	--------------------	--------------------	-----------	---------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------

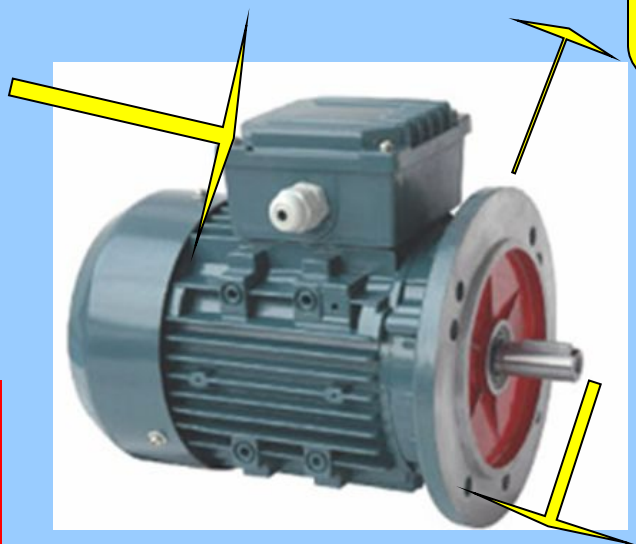
Синхронная частота вращения 3000 об/мин

RA 90L2	2,2	6,0	82	0,87	3,4	2,9	6,5
4A80B2У3	2,2	5,0	83	0,87	2,2	2,0	6,5
AIP80B	2,2	5,0	83	0,87	2,2	2,0	7,0

# Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей

$P_{\text{потр}}$  – потребляемая электрическая мощность от источника, Вт

$P_{\text{потерь}}$  – потери электрической мощности, Вт



$P_{\text{полезн}}$  (или  $P_{\text{н}}$ ,  $P_2$ ) – полезная механическая мощность на валу двигателя, Вт

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{потр}}}$$

$$I = \frac{P_{\text{потр}}}{\sqrt{3}U \cos \varphi}$$

КПД АД в номинальном режиме работы составляет 70-90%, причем для более мощных АД КПД 94 – 96%.

# Основные формулы

Частота напряжения сети

$$n_0 = 60 \frac{f_1}{p}$$

Число пар полюсов обмотки статора

Частота вращения магнитного потока статора

Скольжение

Частота вращения ротора

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

$$n = n_0(1 - S) = \frac{60 f_1}{p} (1 - S)$$

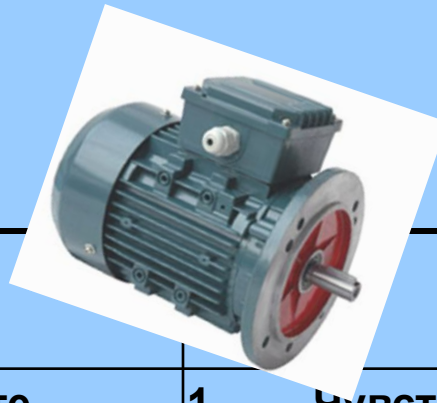
Амплитуда магнитного потока

Ток ротора

$$M = C_M \Phi_{max} I_2 \cos \phi_2,$$

$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

## *Достоинства и недостатки асинхронных двигателей*



### **Достоинства**

### **Недостатки**

<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
<b>1. Высокая надёжность в работе</b>	<b>1. Чувствительность к колебаниям сетевого напряжения</b>
<b>2. Возможность питания непосредственно от сети переменного трёхфазного напряжения</b>	<b>2. Меньший пусковой момент (по сравнению с ДПТ той мощности)</b>
<b>3. Простота конструкции</b>	
<b>4. Низкая стоимость</b>	
<b>5. Малые эксплуатационные расходы</b>	
<b>6. Высокая степень защиты от влияния окружающей среды</b>	

# Применение асинхронных двигателей



**Консольный центробежный насос для сточных масс**



**Пылевой вентилятор**

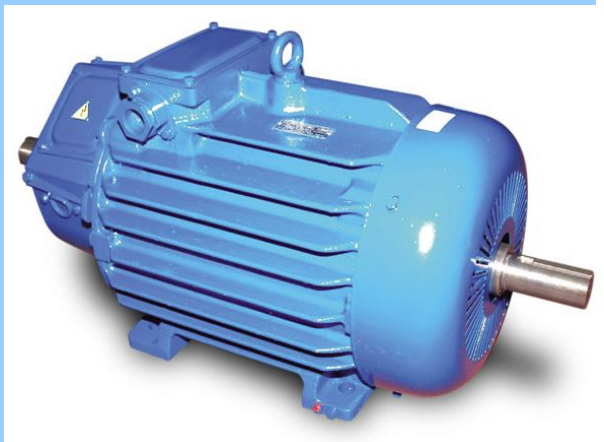
Общепромышленные двигатели применяются в станкостроении, деревообрабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве, строительной технике, системах промышленной вентиляции, на транспортерах, подъемниках, в насосном оборудовании, холодильных и вакуумных установках.



**Электронасосы моноблочные центробежные циркуляционные для воды**



**Центробежный многосекционный насос для подачи питательной воды в паровые котлы**



Крановые двигатели используются в строительстве, энергетике, на транспорте, работают на башенных, порталных, козловых, мостовых кранах, приводят в движение лифты и различные подъемные механизмы.

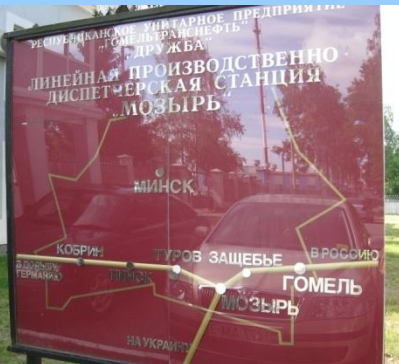


**Насос одновинтовой типа Н1В - химический**



# Станция перекачки нефти ЛПДС "Мозырь" Гомельского предприятия

## транспорта нефти "Дружба"



## Задачи

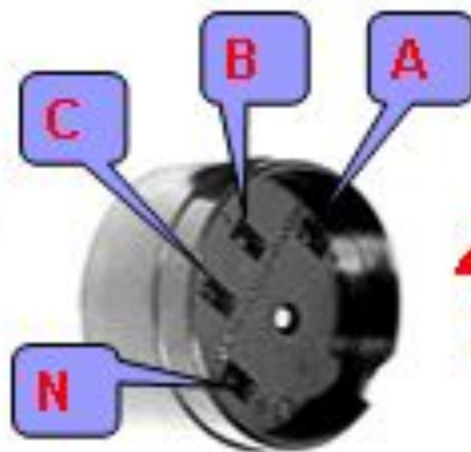
1. Трехфазный АД с КЗ ротором имеет номинальную мощность 4кВт (напряжение 380В (50Гц)), КПД 0.84, коэффициент мощности 0.85 и кратность пускового тока 6.5. Найти потребляемую двигателем мощность из сети, протекающий ток в жиле кабеля, суммарные потери в двигателе в номинальном режиме нагрузки, а также ток в момент пуска двигателя.

2. Трехфазный АД с КЗ ротором имеет номинальную мощность 7.5кВт, номинальную частоту вращения 2900 об/мин, кратность пускового момента 1.8, перегрузочную способность 2.2. Найти номинальный, максимальный и пусковой моменты, скольжение.

А Б В Г Д Е Ё Ж З И К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Э Ю Я

## Задание

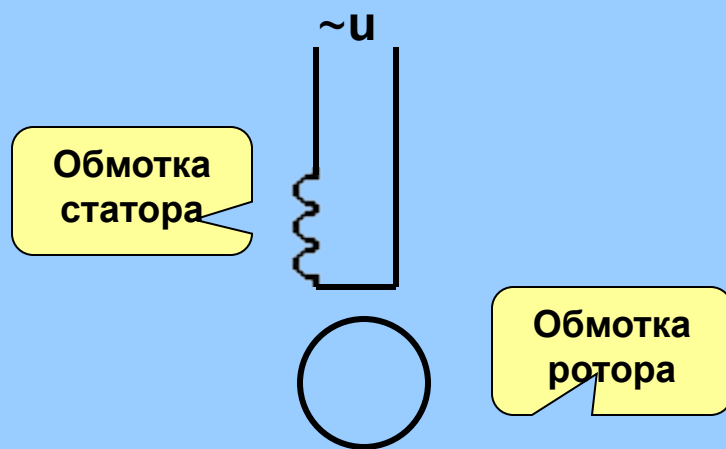
Как необходимо соединить обмотки в клеммной коробке АД (звездой или треугольником), и в какие гнезда трехфазной розетки подключить 3 вывода АД для его работы?



Сеть	Номинальное напряжение АД
<b>380/220 В</b>	<b>380/220 В</b>
380/220 В	660/380 В
<b>380/220 В</b>	<b>220/127 В</b>
220/127 В	380/220 В
<b>660/380 В</b>	<b>660/380 В</b>
660/380 В	380/220 В

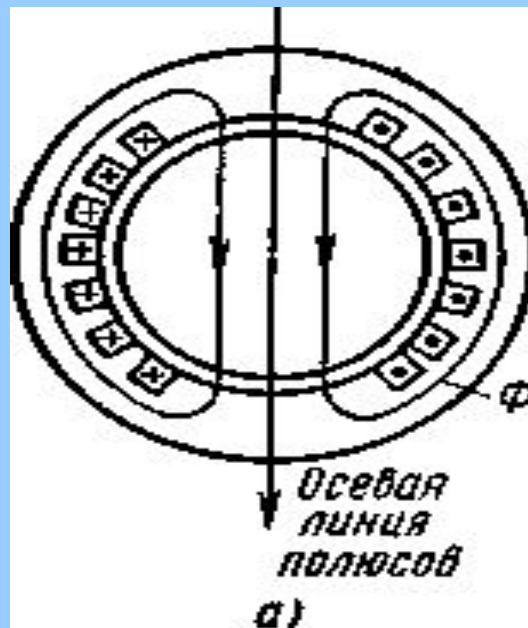
**А Б В Г Д Е Ё Ж З И К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Э Ю Я**

# Однообразный двигатель

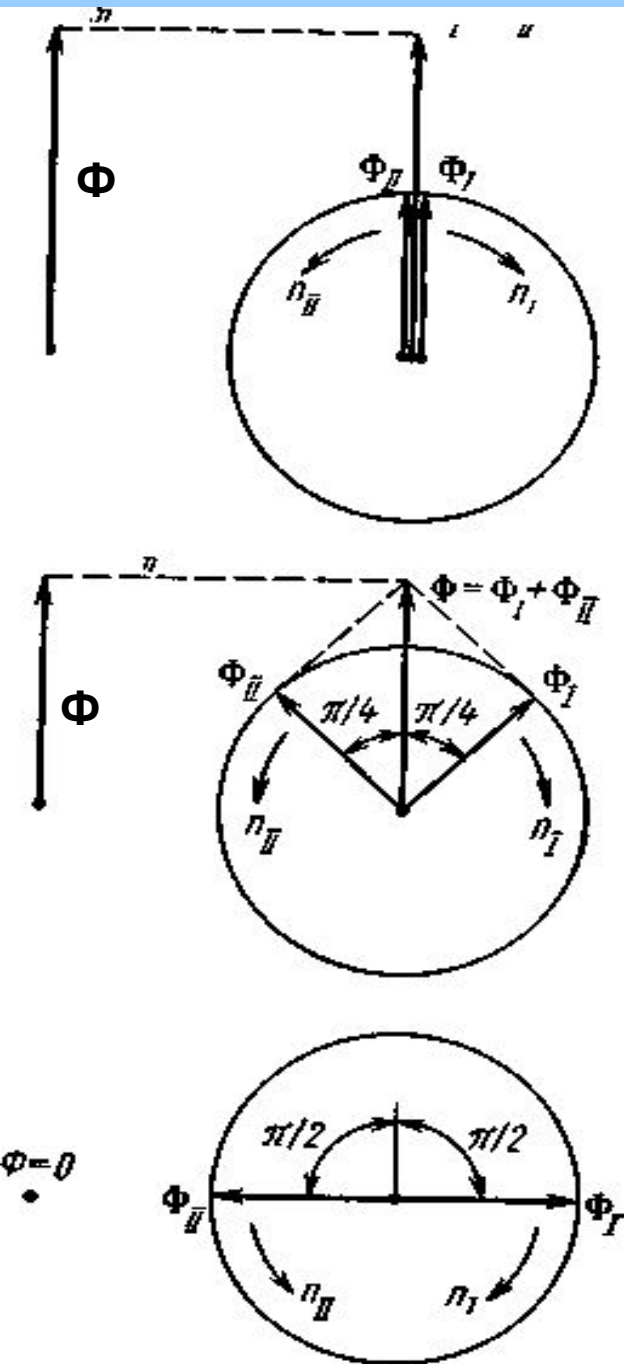


# Устройство однофазного асинхронного двигателя

## Магнитный поток АД



На статоре однофазного АД располагается **одна обмотка**. Ротор имеет короткозамкнутую обмотку. Протекающий по обмотке статора переменный ток создает пульсирующий магнитный поток, изменяющий свое направление с частотой напряжения сети. Этот **поток все время направлен по осевой линии полюсов**, и его значение во времени изменяется по **синусоидальному закону**.



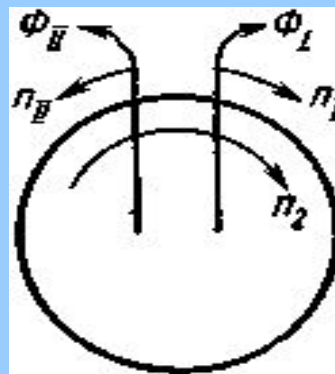
Если пульсирующий поток изменяется по закону  $\Phi = \Phi_{\max} \cos \omega t$ , то при  $t=0$  поток  $\Phi = \Phi_{\max}$ . Вращающиеся потоки  $\Phi_I$  и  $\Phi_{II}$  равны  $0,5 \Phi_{\max}$  и при  $t=0$  совпадают по направлению.

Сумма вращающихся потоков равна пульсирующему потоку при  $t=0$ .

Через некоторое время при  $t = T/8$  пульсирующий поток  $\Phi = \Phi_{\max} \cos(\pi/4) = 0,707 \Phi_{\max}$ . За это время поток  $\Phi_I$ , вращающийся по часовой стрелке с частотой  $n_I$ , повернется на угол  $\pi/4$ . на такой же угол, но в противоположном направлении, повернется вращающийся поток  $\Phi_{II}$ , частота вращения которого  $n_{II}$ . Частоты вращения равны между собой:  $n_I = n_{II} = 60f/p$ . При  $t = T/8$  имеем  $\Phi_I + \Phi_{II} = \Phi$ .

Таким образом, для каждого момента времени векторная сумма вращающихся потоков равна пульсирующему магнитному потоку.

**Это позволяет рассматривать однофазный АД при условии существования двух вращающихся магнитных потоков  $\Phi_I$  и  $\Phi_{II}$ .**



## Зависимость вращающего момента ОД от скольжения

Скольжение по отношению к прямому потоку  $s_1 = (n_1 - n_2)/n_1$ , а  $n_2 = n_1(1-s)$ .

Скольжение по отношению к обратному потоку, определяется так же, как в режиме электромагнитного тормоза,

$$s_{11} = (n_{11} + n_2)/n_{11} = [n_1 + n_1(1 - s_1)] = 2 - s_1.$$

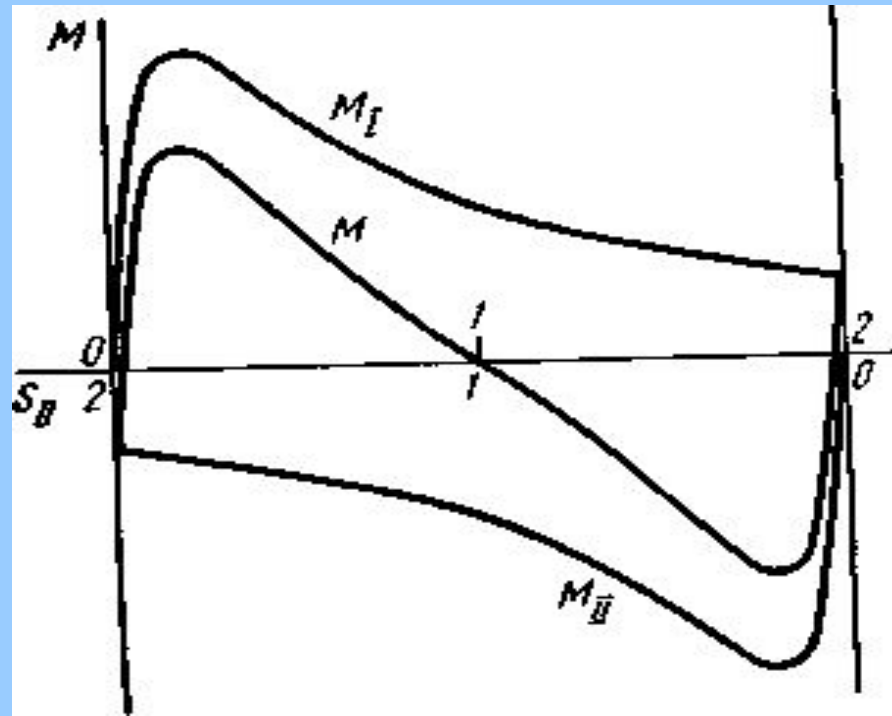
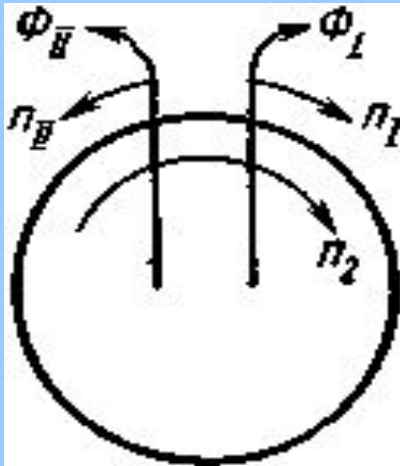
При пуске двигателя  $s_1 = 1$  и  $s_{11} = 1$ . Если  $s_1 = 0$ , то  $s_{11} = 2$ , а если  $s_1 = 2$ , то  $s_{11} = 0$ .

Каждый из вращающихся потоков создает вращающий момент зависимости от скольжения которых имеет такой же вид, как для трехфазных асинхронных двигателей.

$$M_1 = \frac{(c'_M R'_2 / s_1)}{(c'_M R'_2 / s_1)^2 + X_k^2}$$

$$M_{11} = \frac{(c'_M R'_2 / s_{11})}{(c'_M R'_2 / s_{11})^2 + X_k^2}$$

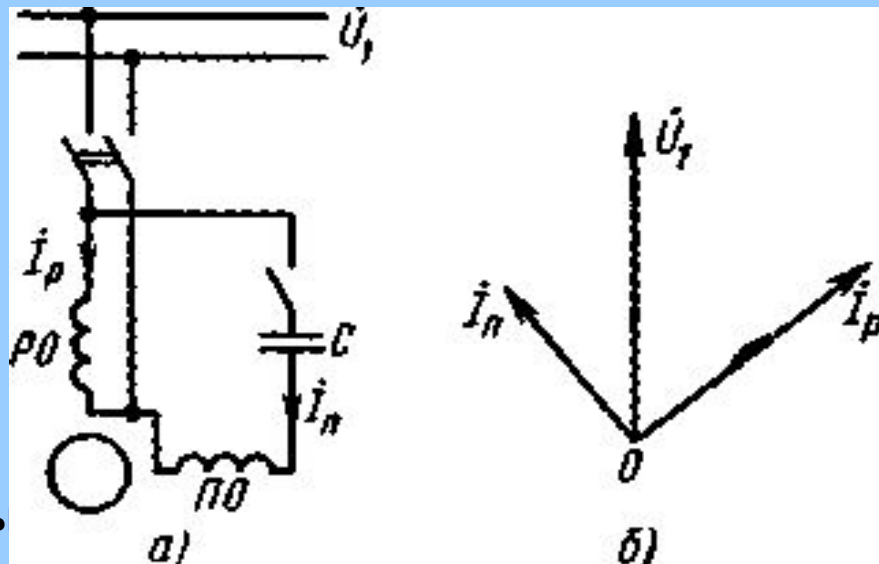
С учетом связи между  $s_1$  и  $s_{11}$  и того, что моменты  $M_1$  и  $M_{11}$  противоположны по направлению получают зависимость  $M_1(s_1)$ ,  $M_{11}(s_{11})$ , и суммарного момента  $M(s)$ .



## Однофазный асинхронный двигатель с пусковой обмоткой

Для пуска однофазного АД применяют специальную пусковую обмотку (ПО),

располагаемую на статоре под углом  $90^\circ$  к рабочей (РО).



Последователь  
которому ток  $I_n$

в этой обмотке опережает по фазе напряжение сети  $U_1$  на некоторый угол.

Применение

пусковой обмотки обеспечивает выполнение двух необходимых условий получения

вращающегося магнитного потока (сдвиг обмоток статора в пространстве и сдвиг токов

в обмотках по фазе на некоторый угол).

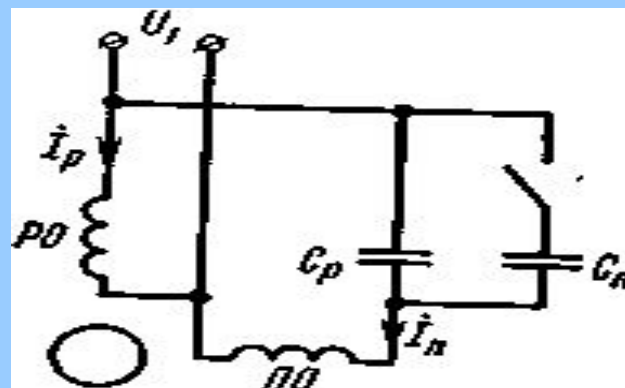
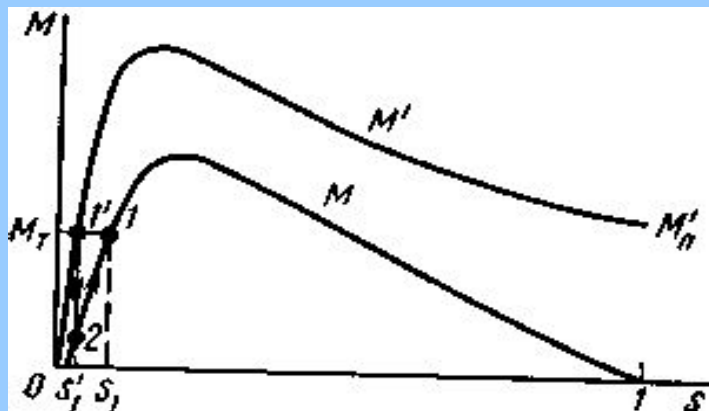
Пусковая обмотка включается только при пуске. Благодаря ей в двигателе образуется

вращающийся магнитный поток и появляется вращающий момент  $M'$ , причем пусковой

конденсатор  $C$ , благодаря



## Пуск однофазного асинхронного двигателя



Двигатель трогается с места и разгоняется в соответствии с зависимостью  $M'(s)$ . Разгон двигателя заканчивается в точке  $1'$ , когда вращающий момент становится равным тормозному ( $M' = M_T$ ). После этого пусковую обмотку отключают. Теперь магнитный поток создается только рабочей обмоткой. В этом режиме имеется вращающий момент  $M$ . При отключении пусковой обмотки благодаря инерции массы частота вращения ротора не изменится, скольжение останется равным  $s'_1$ , а рабочей точкой становится точка  $2$  на кривой  $M(s)$ . Так как тормозной момент  $M_T$  останется неизменным, то точки  $2$  имеем  $M < M_T$ . Двигатель начинает тормозиться, скольжение  $s$  увеличивается, вращающий момент увеличивается, и в точке  $1$  кривой  $M(s)$  наступает равенство моментов ( $M = M_T$ ). Получаем установившийся режим работы двигателя при несколько большем скольжении  $s_1$ .

При постоянно включенной пусковой обмотке с конденсатором двигатель называется конденсаторным. В этом случае для получения наибольшего пускового момента и лучших характеристик в рабочем режиме параллельно с рабочей ёмкостью  $C_p$  включают пусковую обмотку  $C_n$ , которую отключают после окончания пуска.

Коэффициент мощности конденсаторного двигателя выше, чем однофазного, и достигает значений  $0,8...0,95$ , а КПД —  $0,5-0,7$ .

## *Достоинства, недостатки и применение однофазных двигателей*

**Преимуществом** однофазного двигателя является то, что для его питания не требуется источник трехфазного напряжения.

### **Недостатки:**

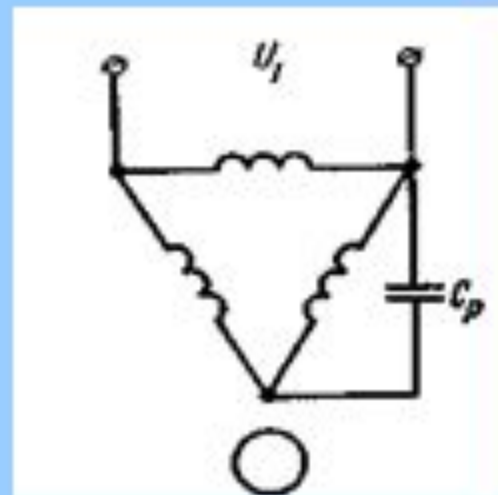
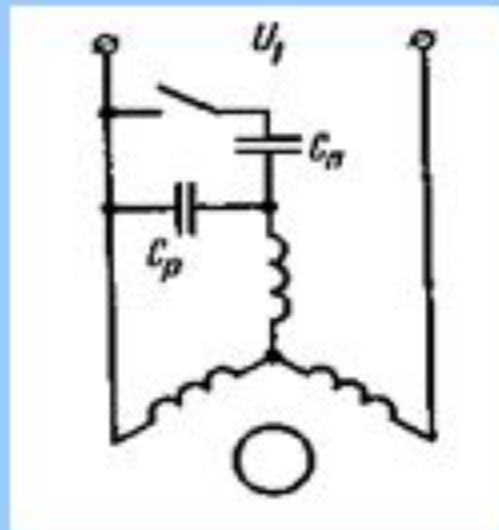
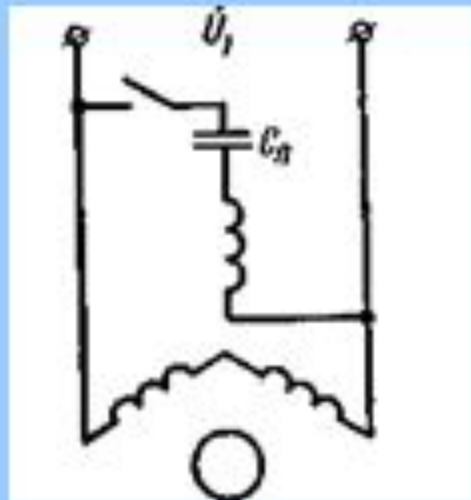
- отсутствие пускового момента;
- низкий  $\cos \varphi$  и КПД;
- меньшая перегрузочная способность;
- нерегулируемая частота вращения.

Однофазные двигатели с пусковой обмоткой выпускаются на мощность до 600 Вт.

**Однофазные асинхронные двигатели нашли применение в:**

- системах автоматического управления;
- бытовых приборах;
- промышленных устройствах.

## Схемы включения трехфазных асинхронных двигателей в однофазную сеть



Трехфазный асинхронный двигатель может оказаться в однофазном режиме при обрыве одной из линий (перегорание предохранителя, повреждение провода или нарушение контакта). Если это происходит до пуска двигателя, то двигатель с места не тронется и будет слышно лишь гудение, вызванное пульсирующим магнитным потоком. Если обрыв происходит при работе двигателя, то двигатель продолжает вращаться. При тяжелых условиях работы (при большом  $M_f$ ) может оказаться, что максимальное значение вращающего момента в однофазном режиме меньше тормозного момента. В этом случае двигатель остановится.