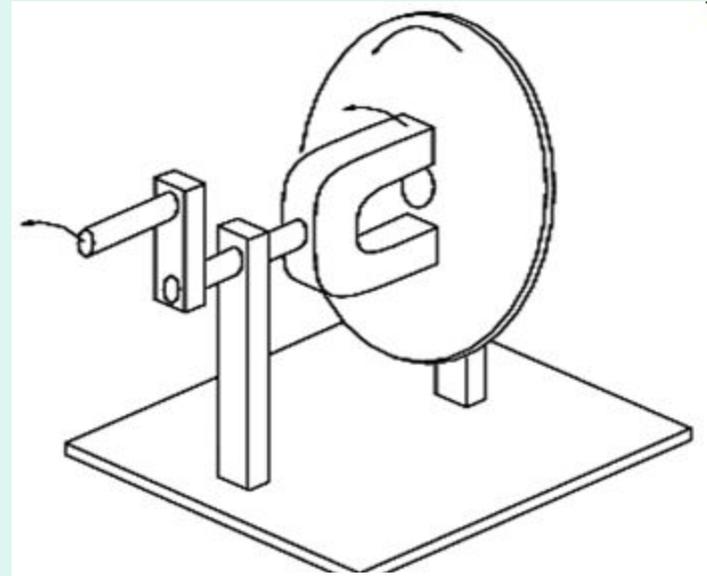




Историческая справка

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

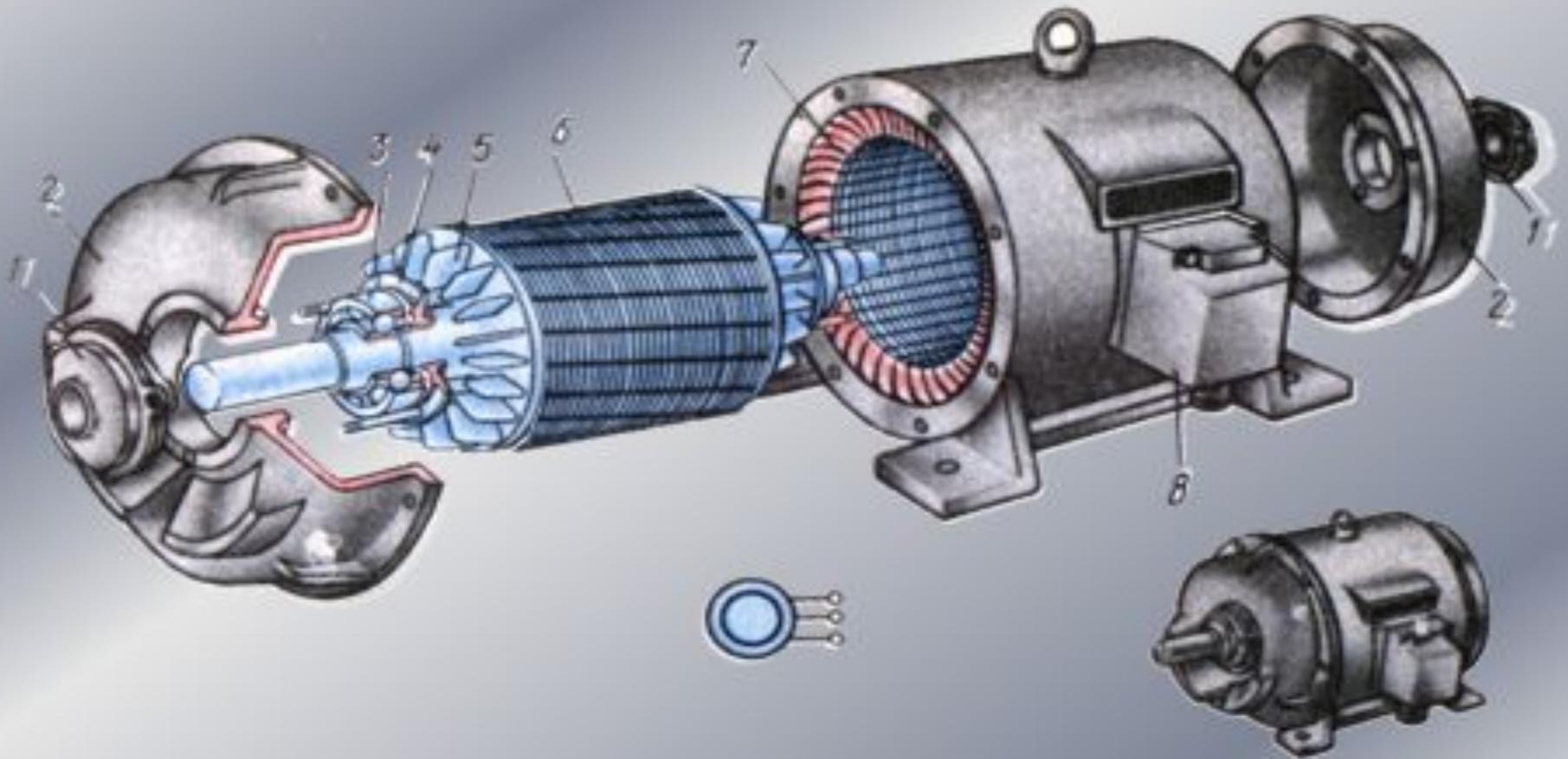


Двухфазный асинхронный электродвигатель был изобретен Н. Тесла (1887)

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

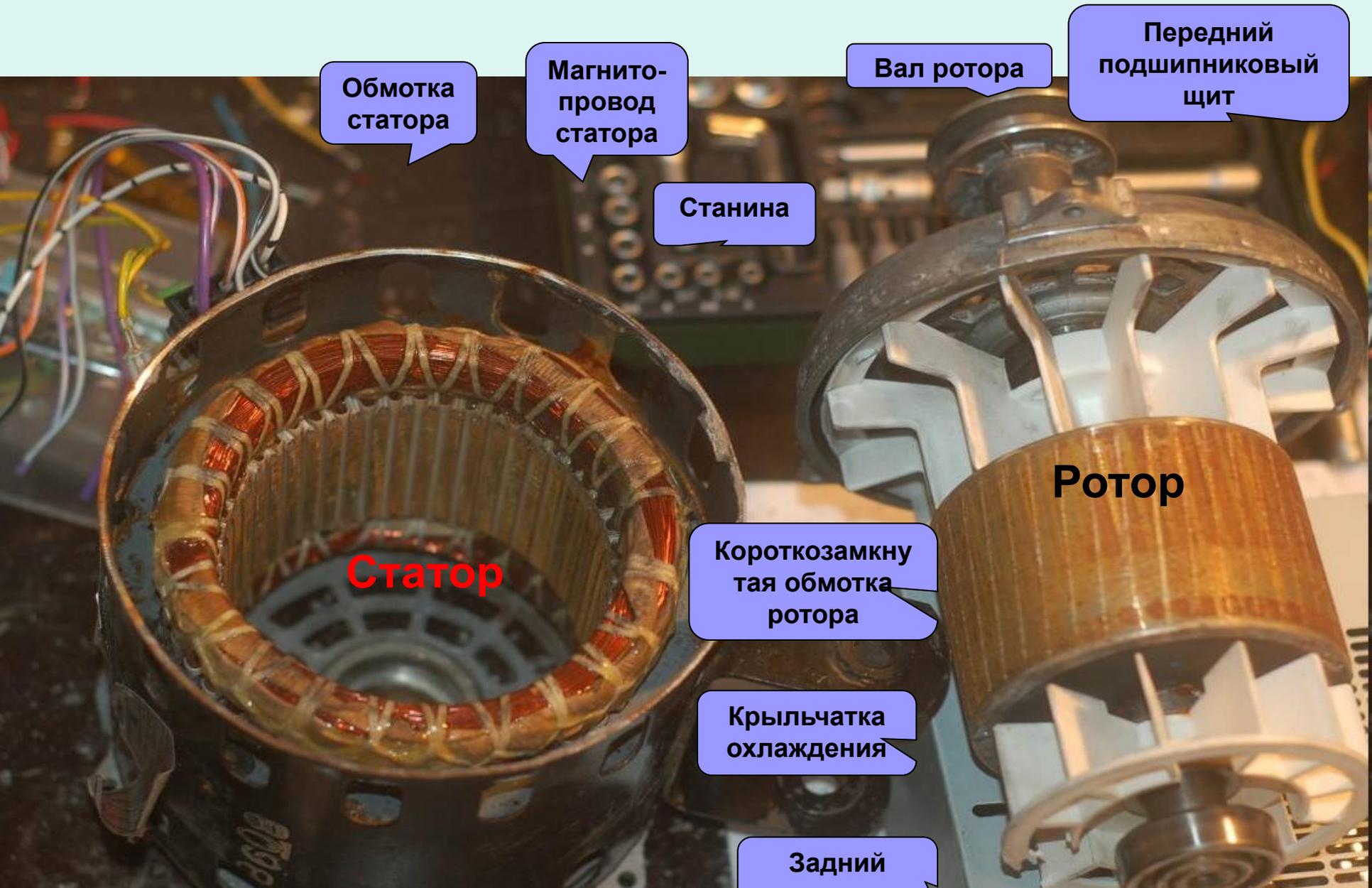


Асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором



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

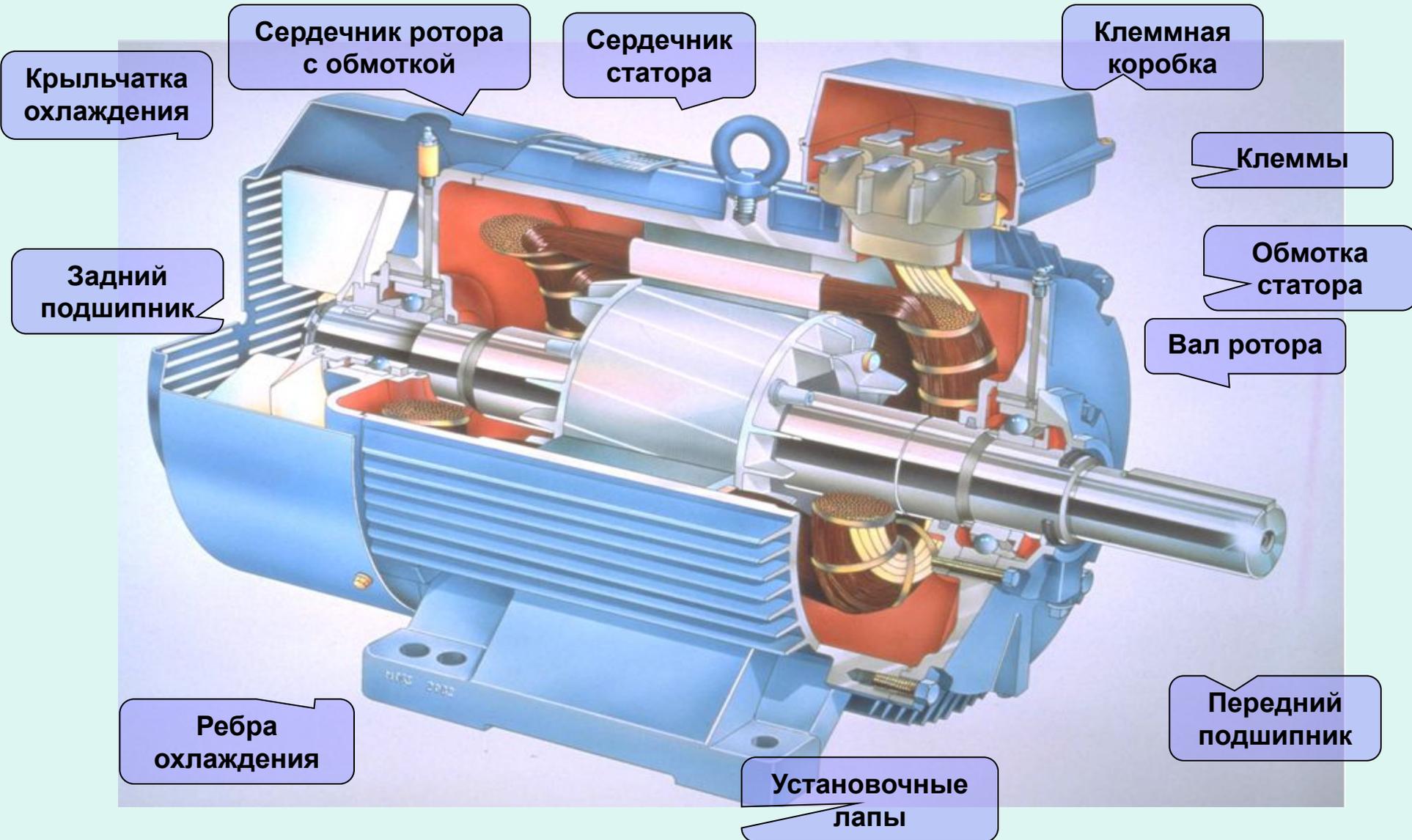
Короткозамкнутая обмотка ротора

Ротор

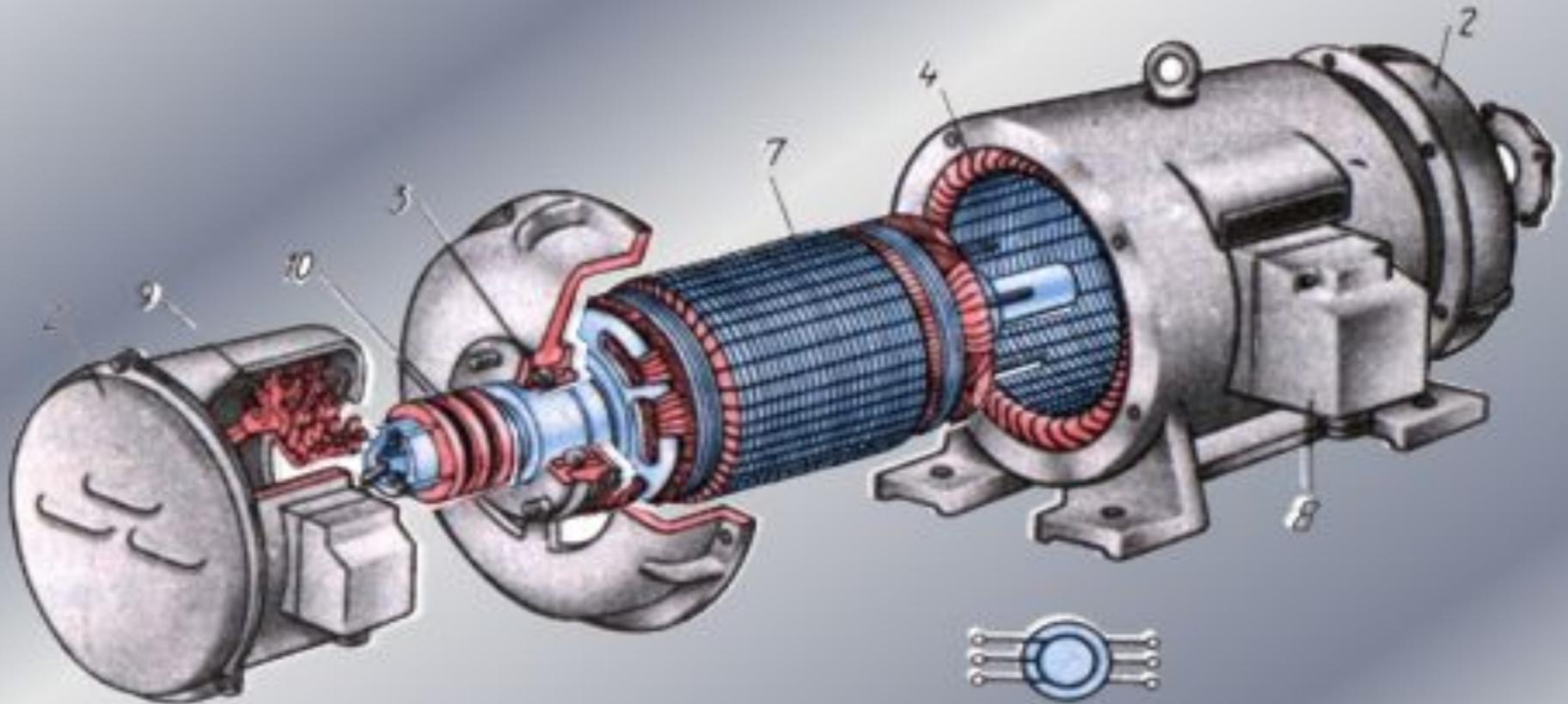
Крыльчатка охлаждения

Задний

Асинхронный двигатель (АД)

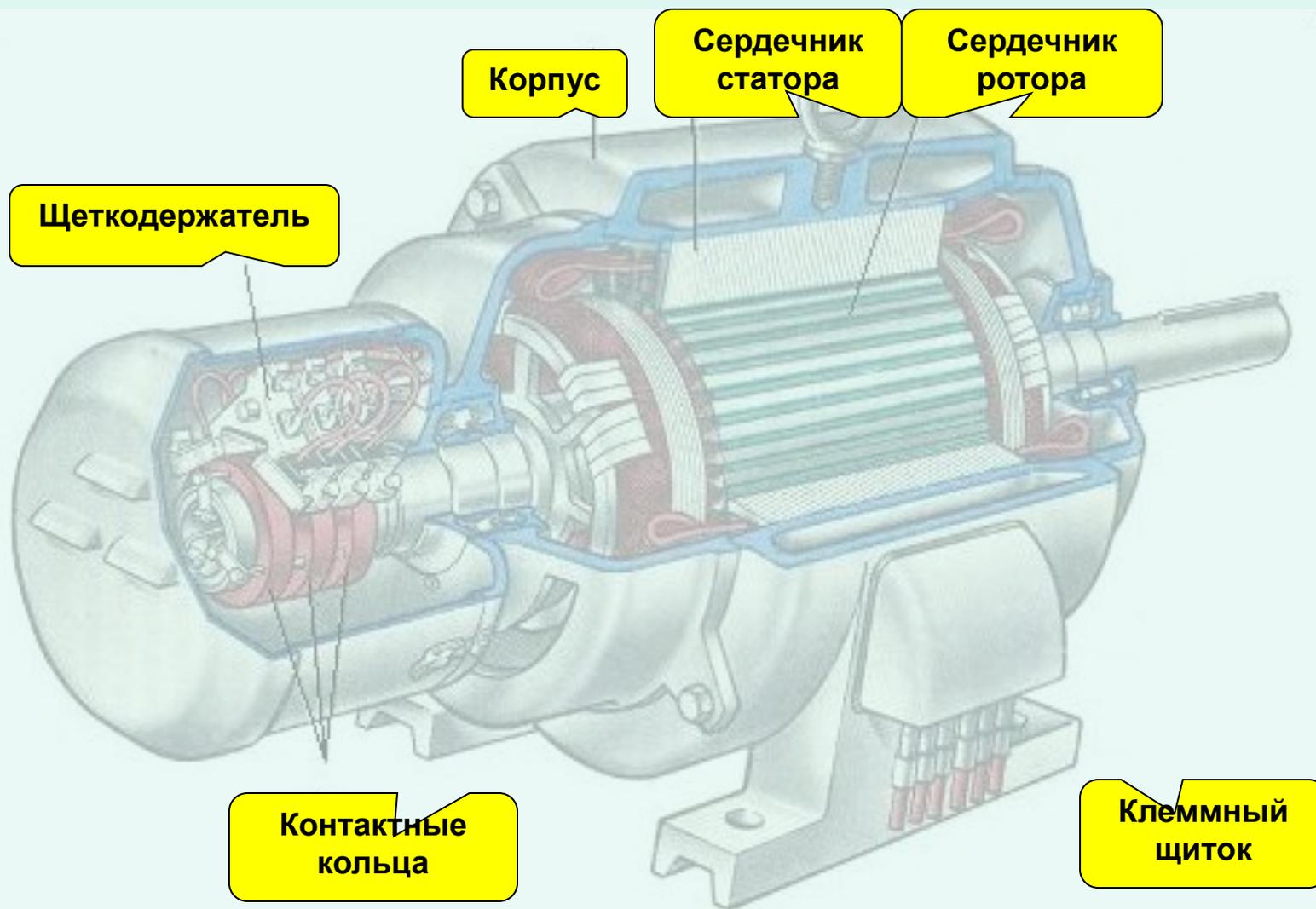


Асинхронный двигатель с фазным ротором

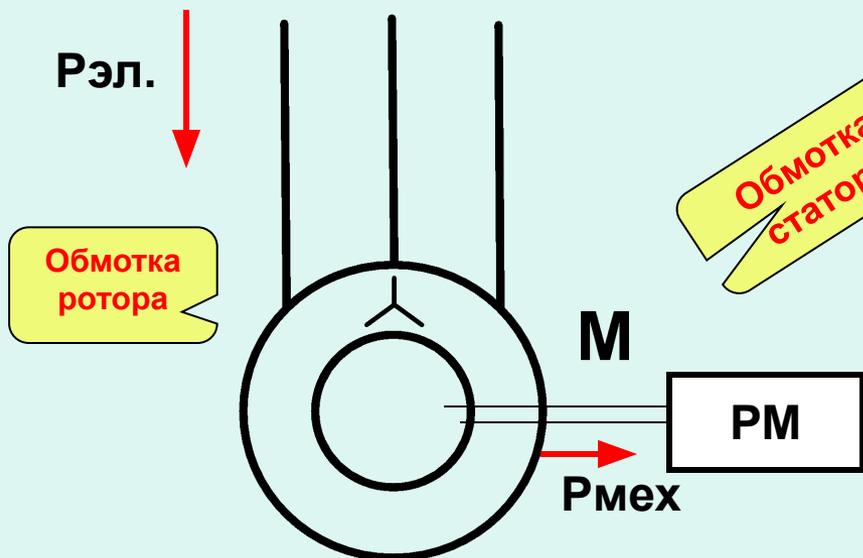


1 – крышка; 2 – подшипниковый щит; 3 – подшипник; 4 – прокладка; 5 – лопасти; 6 – стержни; 7 – обмотка статора; 8 – клемный щиток.

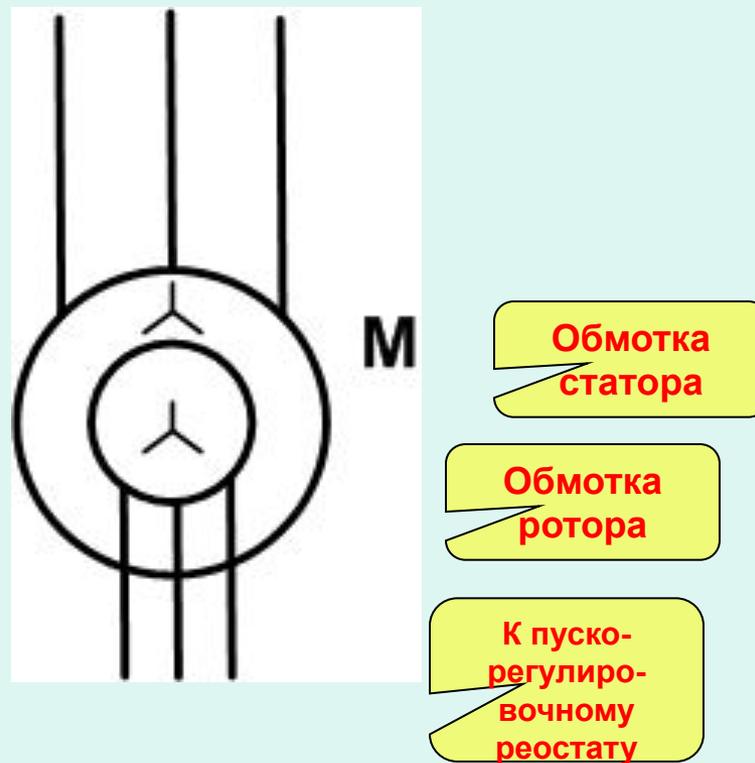
Асинхронный двигатель с фазным ротором



Обозначение асинхронных двигателей на схемах

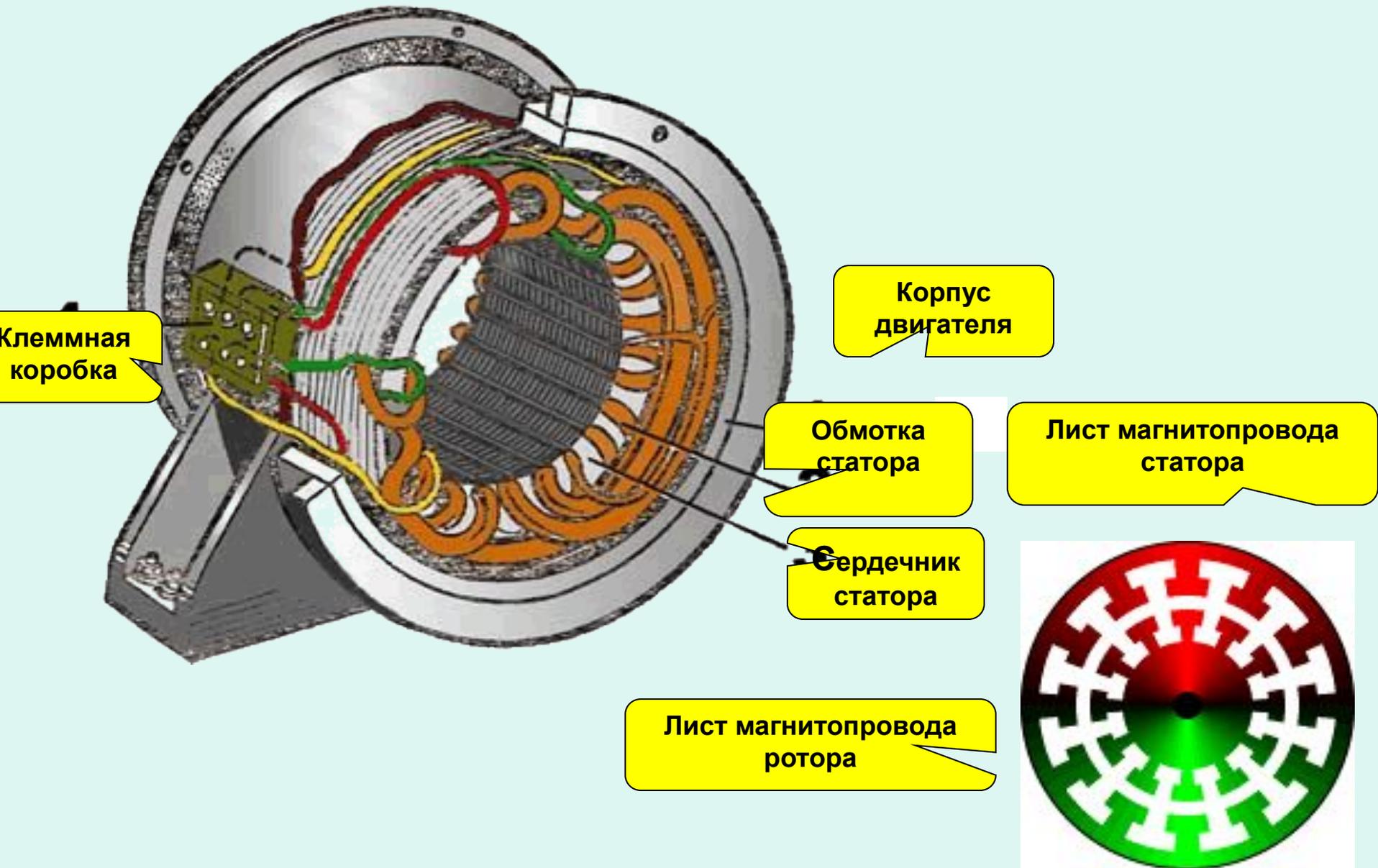


**АД с КЗ ротором
(обмотки статора
соединены звездой)**



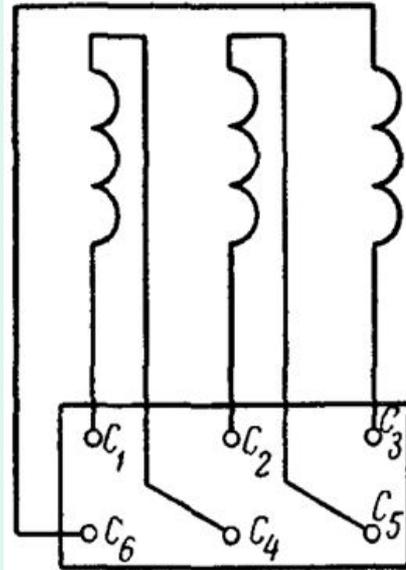
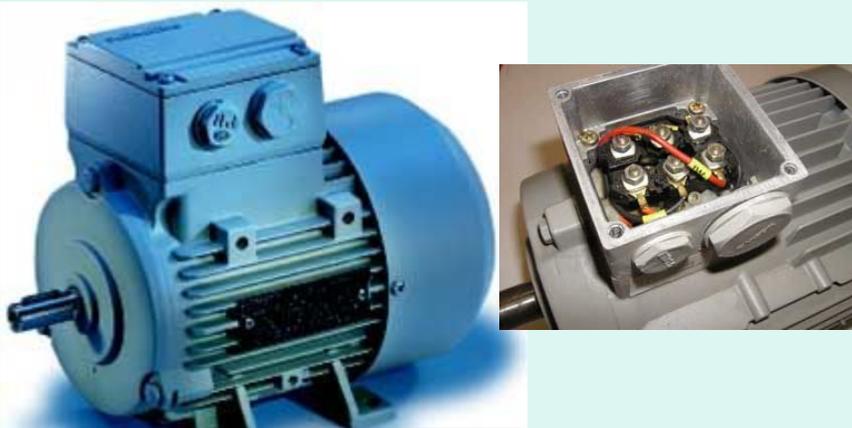
**АД с фазным ротором
(обмотки статора и
ротора соединены
звездой)**

Статор асинхронного двигателя



Подключение асинхронного двигателя к сети

АД подключаются к трехфазной электрической сети



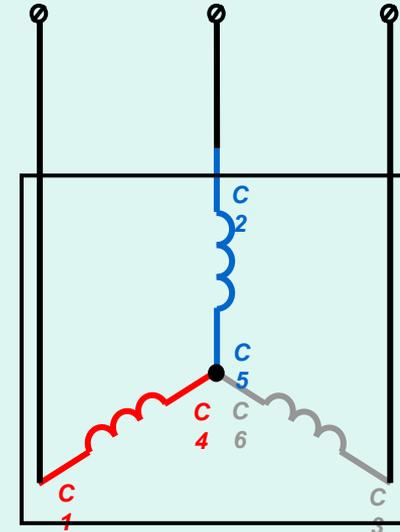
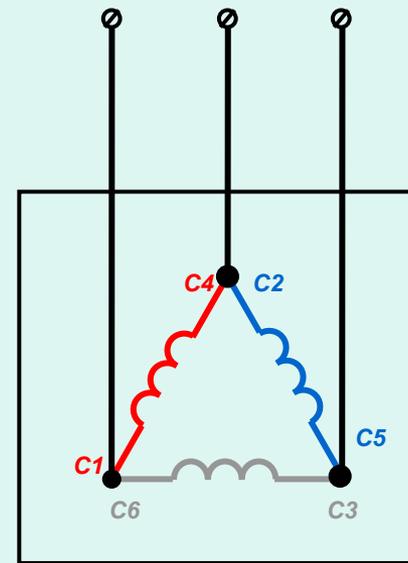
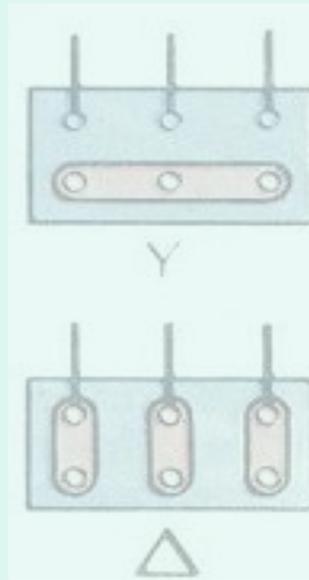
к сети

Клеммная колодка позволяет подключать обмотки статора к трехфазной сети.

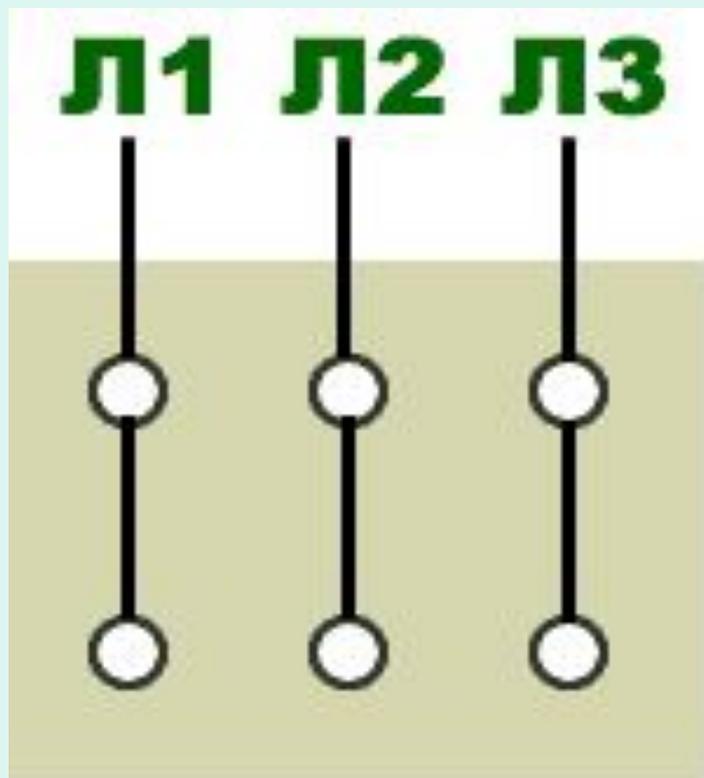
На клеммную колодку выведены концы 3-х обмоток статора. Начала и концы этих обмоток обозначены: **C1-C4, C2-C5 и C3-C6**

к сети

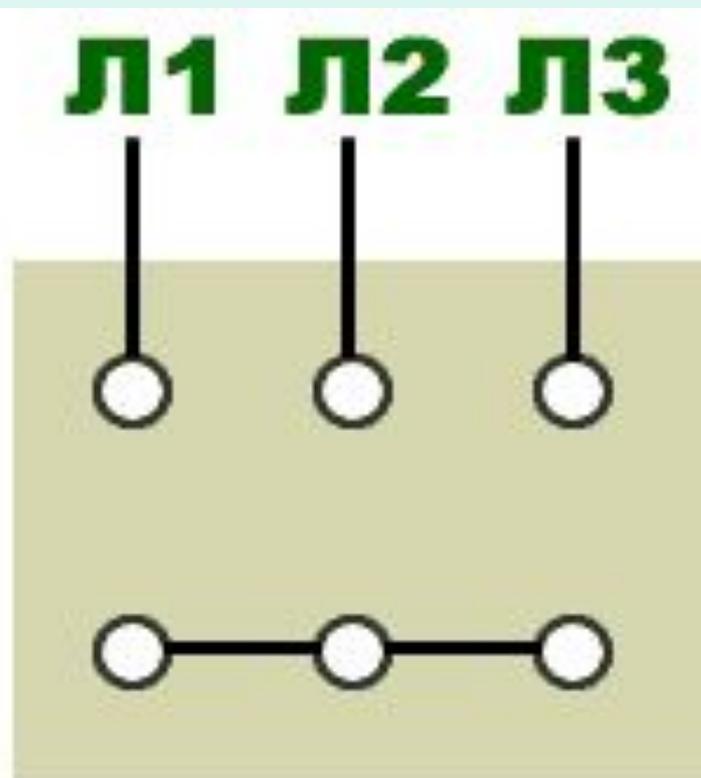
Соединение обмоток **звездой** дает возможность подключать АД на напряжение в **1,73** раза больше чем при подключении **треугольником**, и наоборот. Например, если двигатель рассчитан на работу под напряжением **380/220В** это значит, что его обмотки нужно соединить **звездой** при подключении к сети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



Схемы соединения обмоток статора

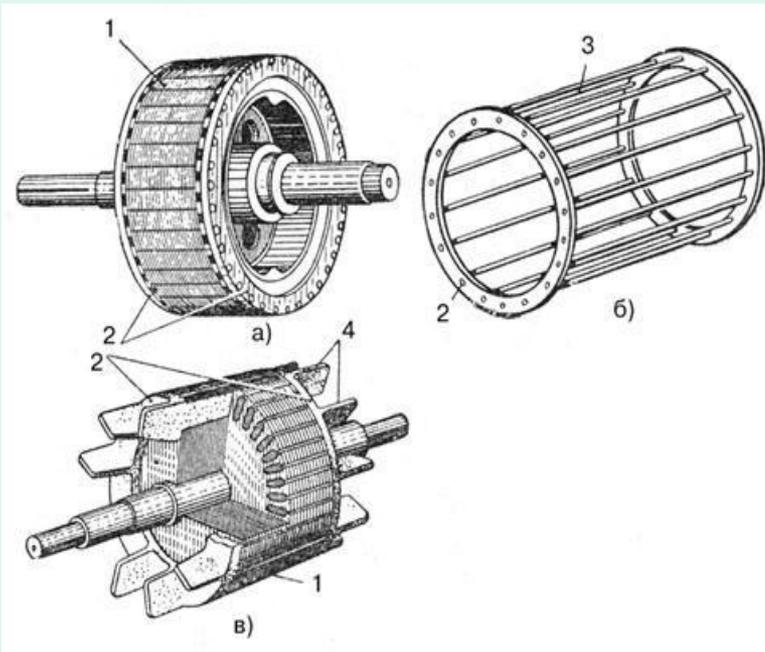


Δ а)



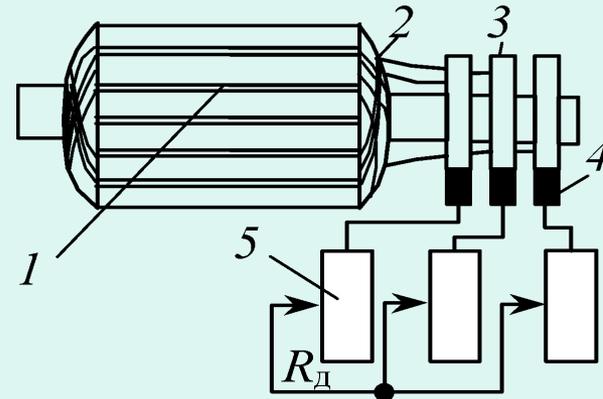
Y б)

Устройство короткозамкнутого и фазного роторов АД



•Короткозамкнутый ротор

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



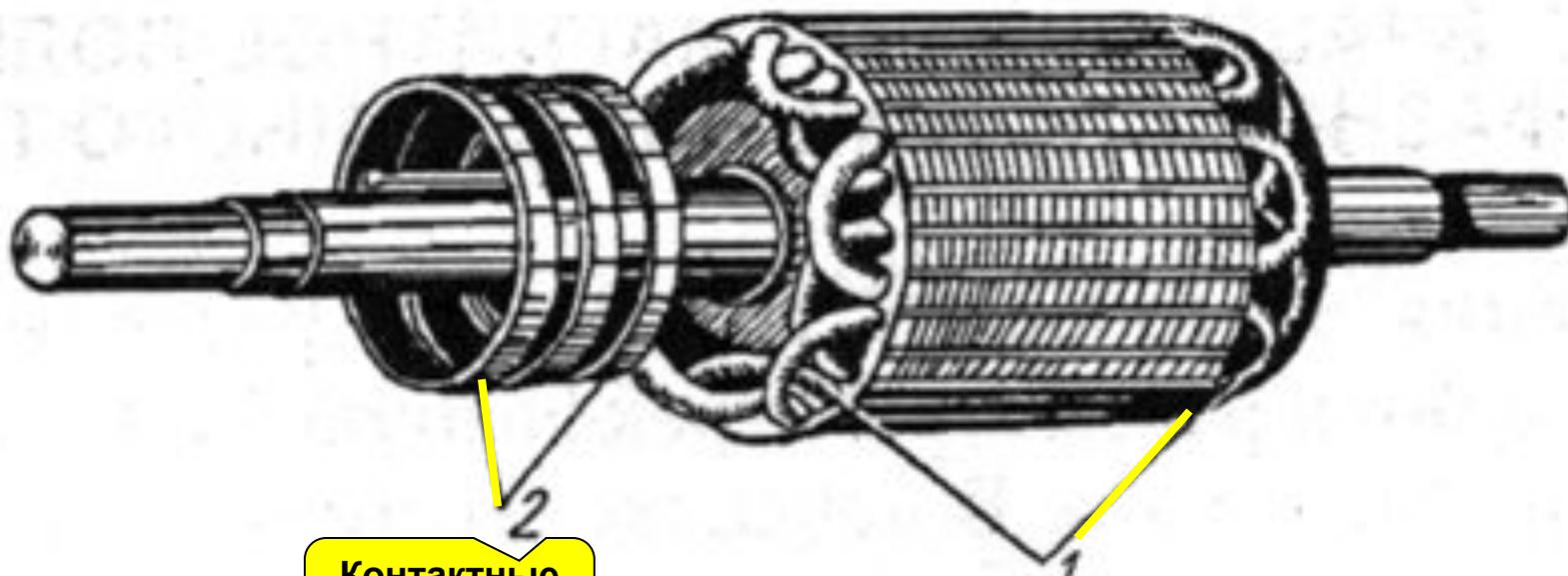
•Фазный ротор

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

Фазный ротор асинхронного двигателя

Сердечник
ротора

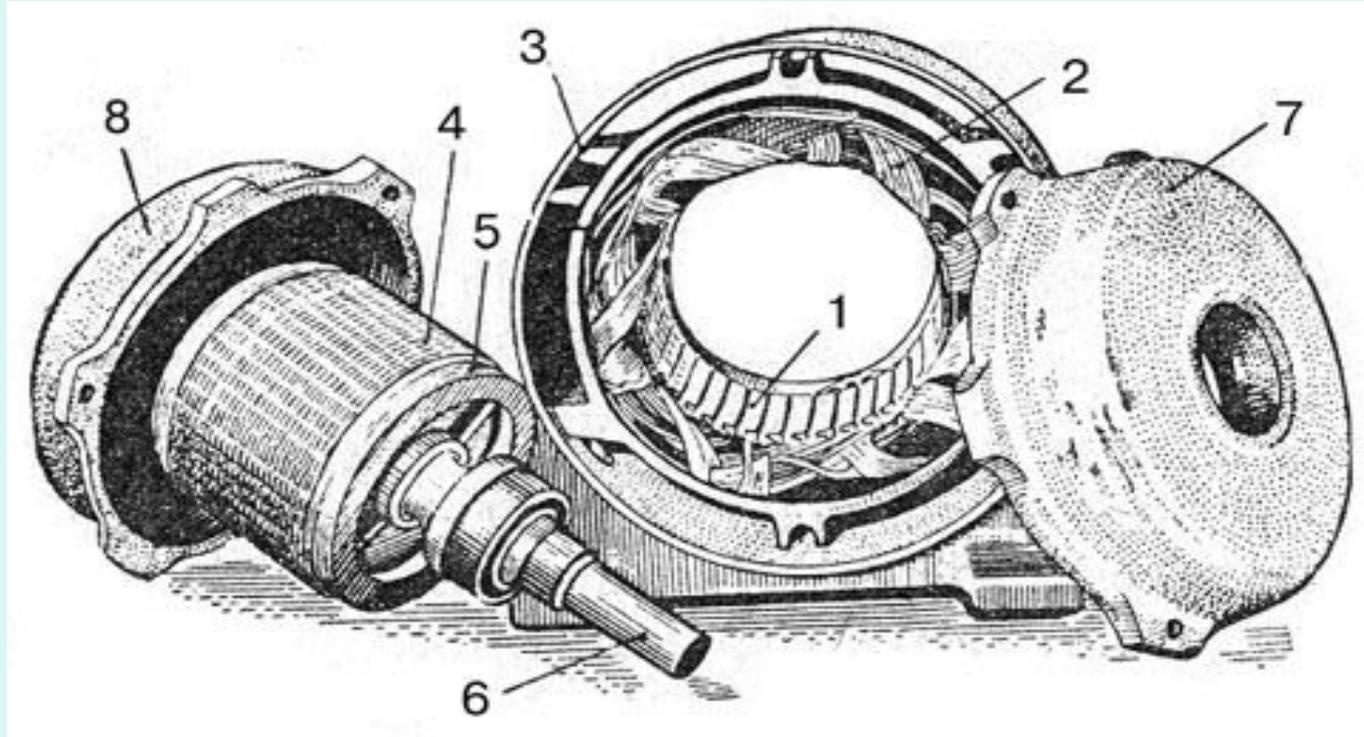
Вал



2
Контактные
кольца

1
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:

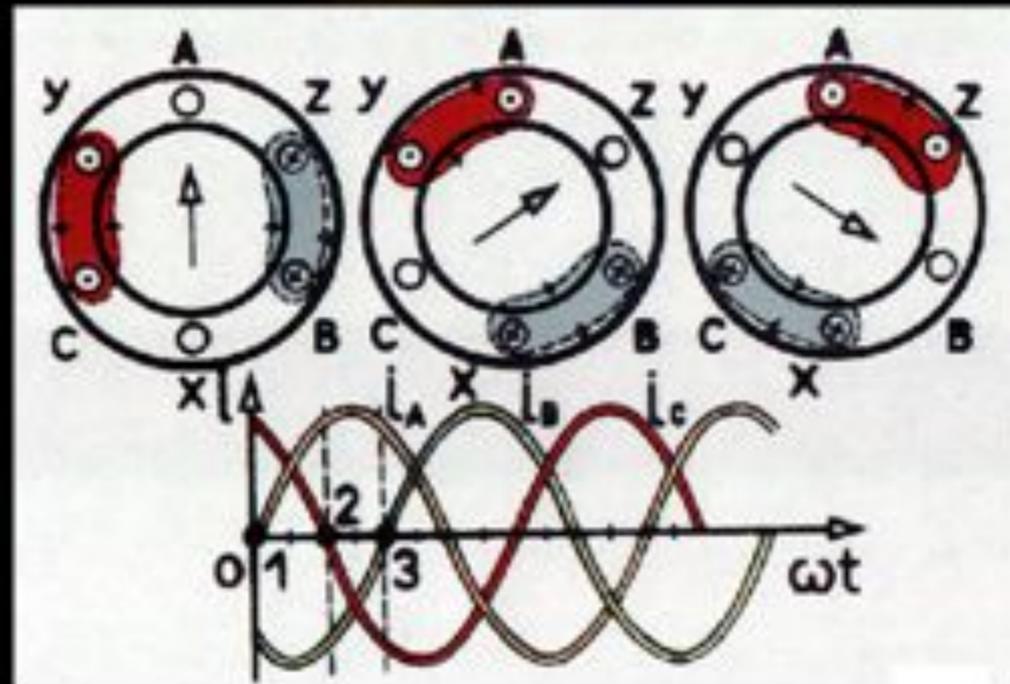
1. Наличие трех обмоток, размещенных в пространстве под углом 120° .

2. Протекание в обмотках токов, имеющих сдвиг фаз 120° 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

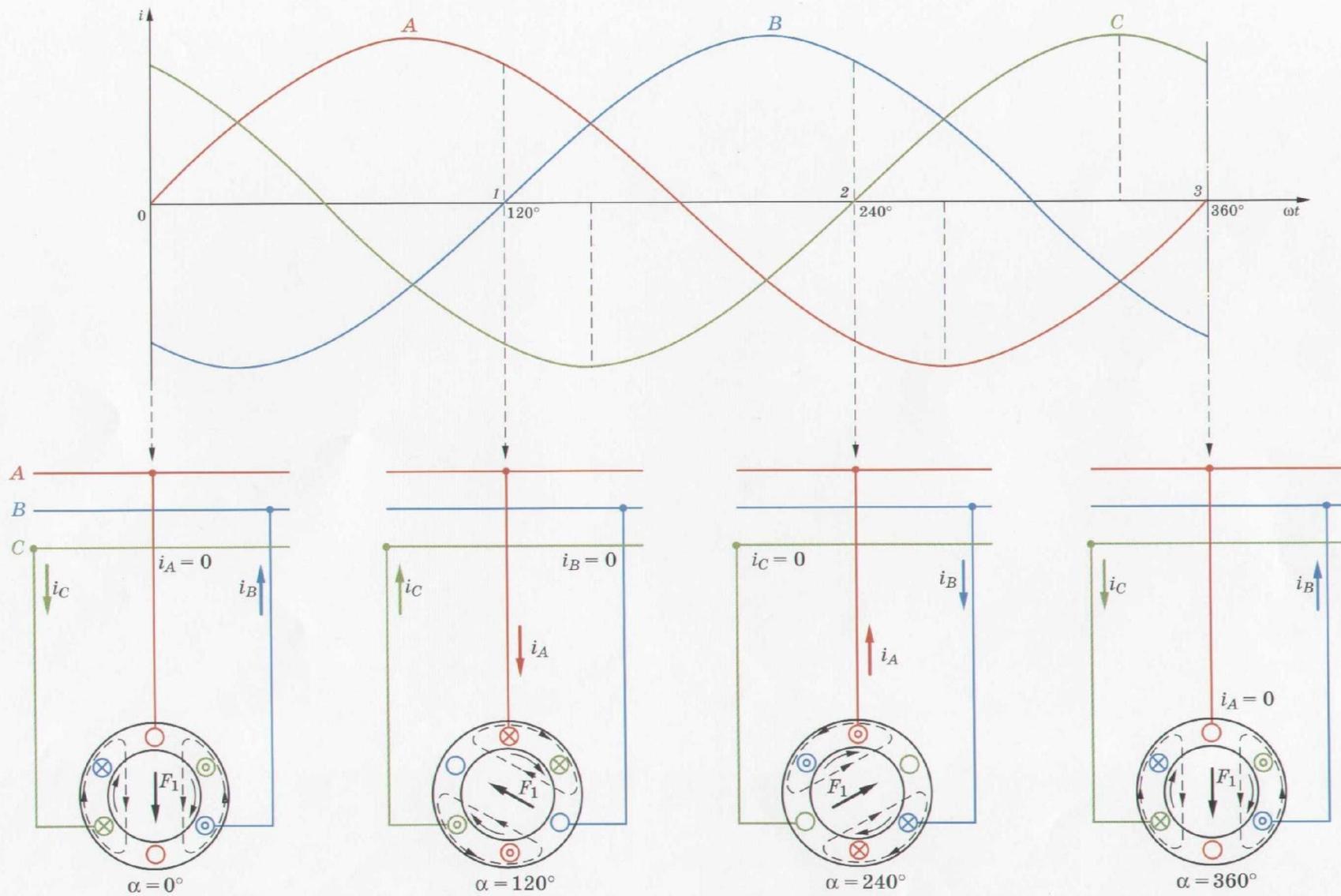
Н → К,



– отрицательное направление тока

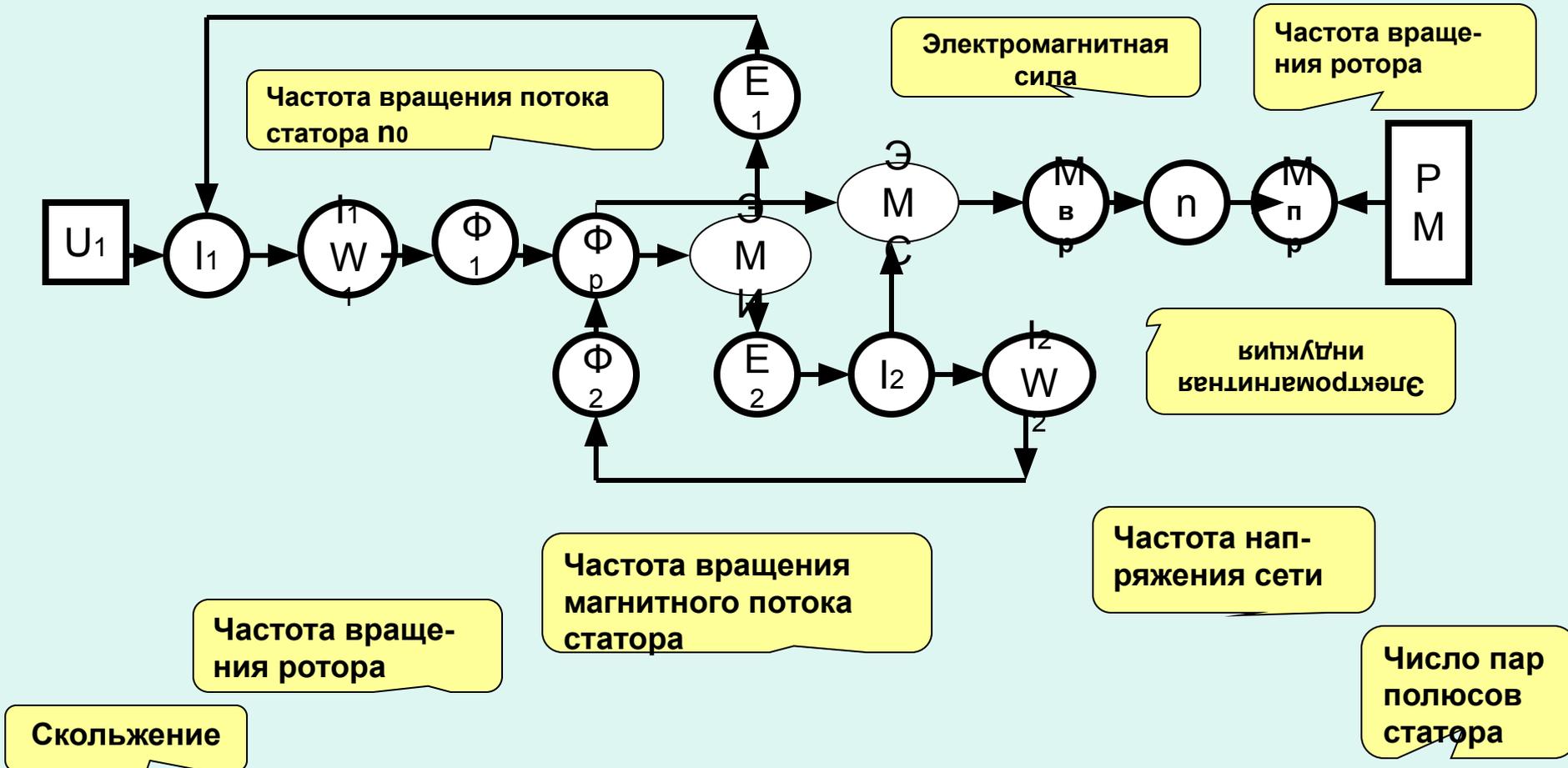
$n_0 = 1 / T, \text{ об/сек} = 60f / p, \text{ об/ мин}$ – частота вращения магнитного поля статора

Образование вращающегося магнитного поля



Положения векторов МДС статора в разные промежутки времени волновой диаграммы токов

Условно-логическая схема принципа работы асинхронного двигателя



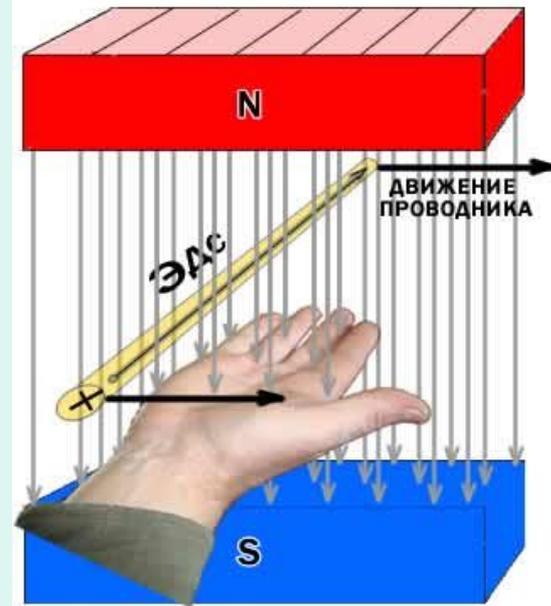
$$S = (n_0 - n)/n_0 \rightarrow n = n_0(1 - s) = 60f_1(1 - s)/p$$

$$n_0 = 60f_1/p$$

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.

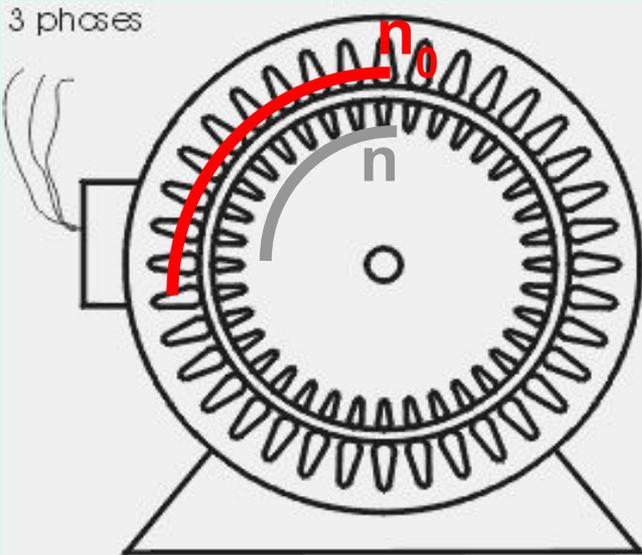


Правило левой руки.



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)

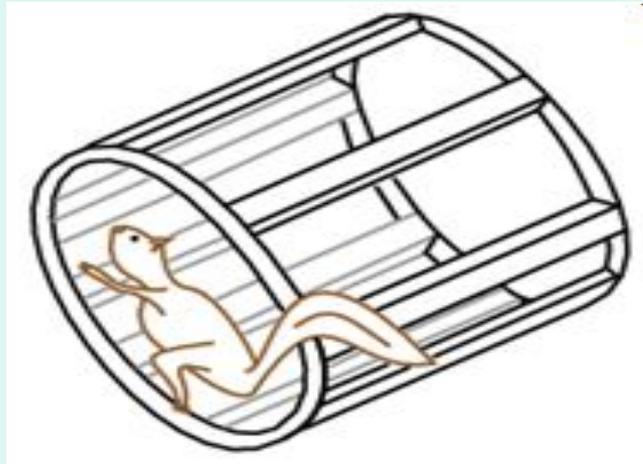
$s=1$ – максимальное отставание, т.е. ротор АД неподвижен (режим пуска или КЗ)

$s=0.02 \dots 0.05$ – 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:

$$ns = (n_0 - n) = (n_0 - n) n_0 / n_0 = ns,$$

Частота ЭДС и токов ротора:

$$f_{2s} = nsp/60 = sf_1,$$

где f_1 – частота токов статора.

Например, при питании АД от сети с частотой $f_1 = 50$ Гц при $s_{ном} = 0,04$ частота токов ротора в номинальном режиме составляет $f_{2ном} = 2$ Гц;
при пуске ($s = 1$) $f_{2п} = f_1 = 50$ Гц

ЭДС обмотки вращающегося ротора:

$$E_{2s} = 4,44f_{2s}w_2K_{об2}\Phi_m = sE_2,$$

где $E_2 = 4,44f_2w_2K_{об2}\Phi_m$ – ЭДС неподвижного ротора;

w_1, w_2 – числа витков обмотки статора и 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

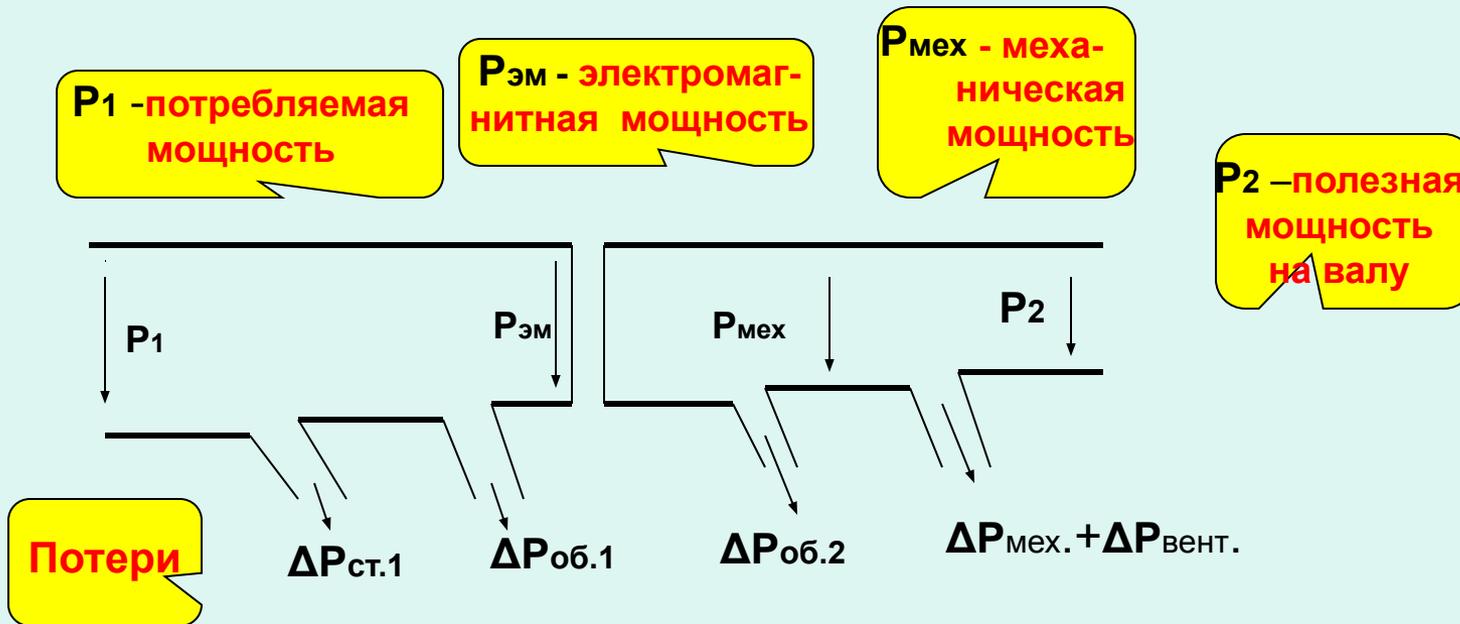
$$X_{2s} = 2\pi f_{2s}L_2 = sX_2$$

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:

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



$$M = \Delta P_{об.2} / \Omega_1 S$$

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

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

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

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

Универсальная формула вращающего момента

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

- 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 ротора асинхронного двигателя

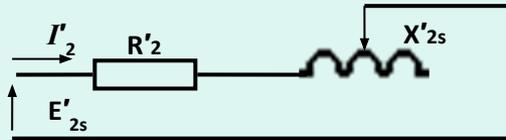


Рис.1

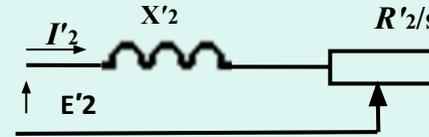


Рис.2

В схеме рис.1 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.2 ток I_2 , протекающий по участку с $R'2/s$ равен:

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

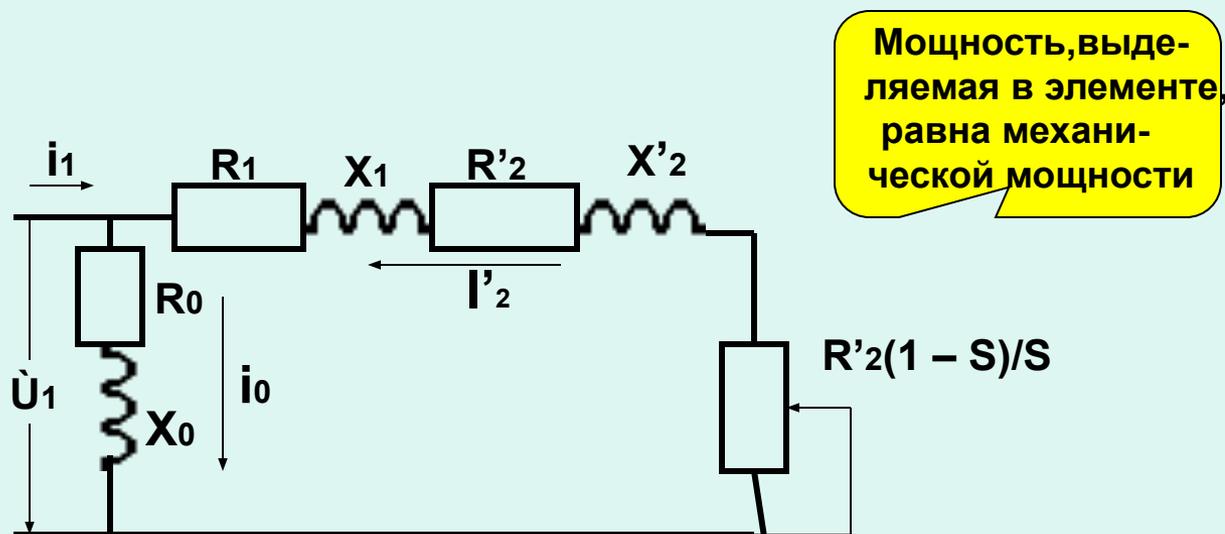
Мощность, выделяемая на резисторе $R'2/s$ равна:

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

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

$$\Delta P_{об.2} = M \Omega_1 s$$

Схема замещения асинхронного двигателя



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:

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

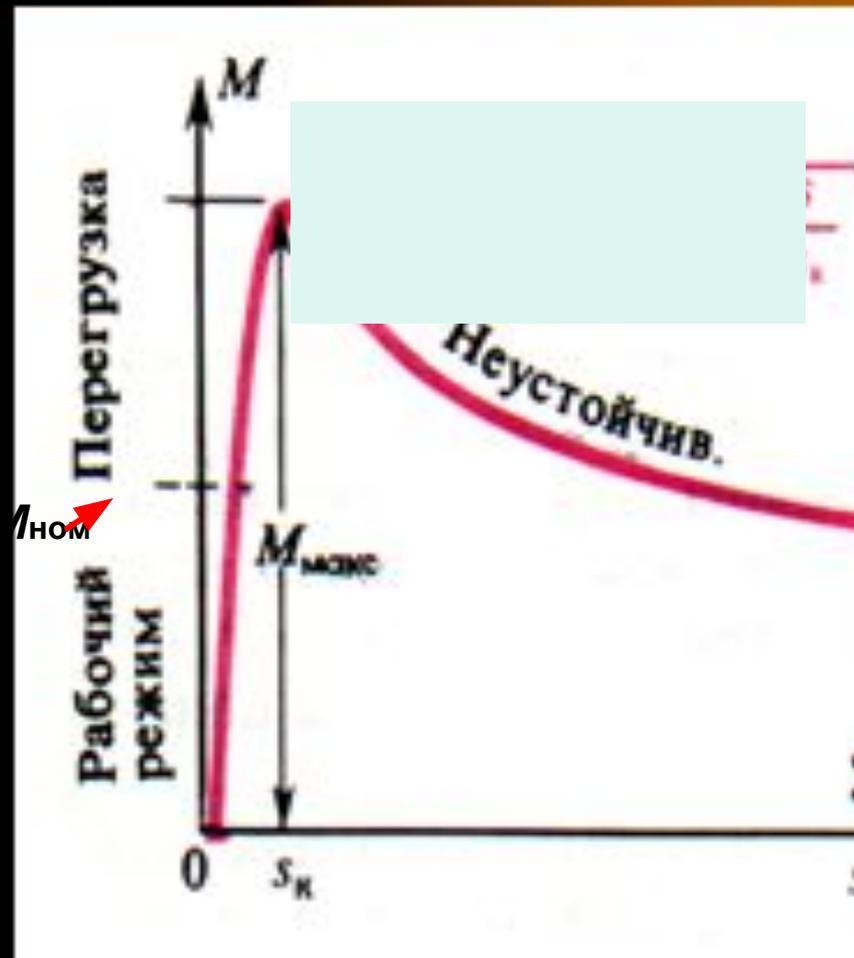
Взяв, $dM/ds = 0$, определим $s_{кр}$:

$$s_{кр} = R'_2 / X_{кр}$$

Подставив в формулу, получим:

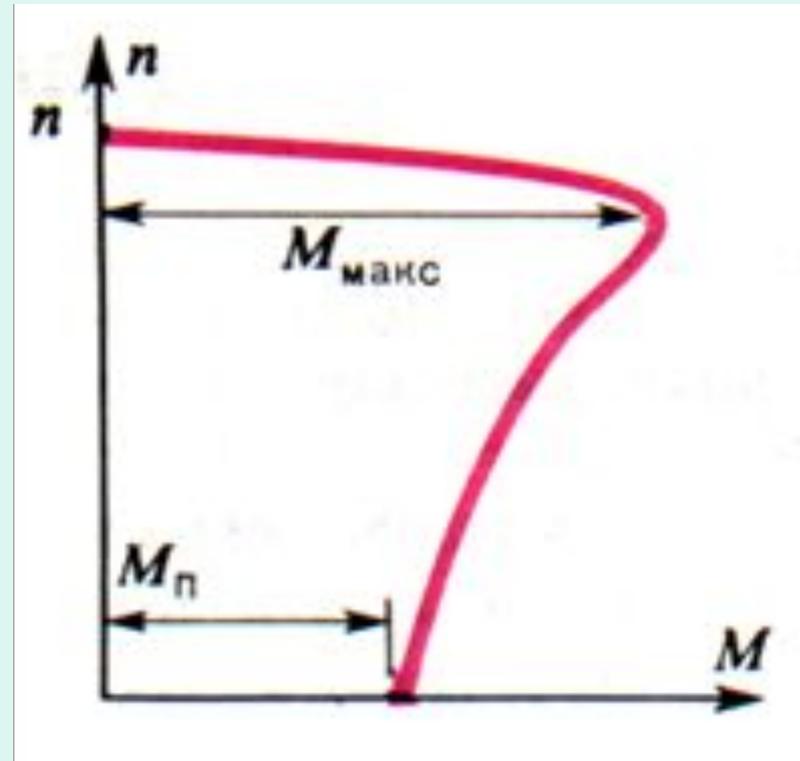
$$M_{\max} = C'_m / 2X_k$$

M_{\max} не зависит от R'_2 , но сдвигает его в области больших скольжений и зависит от



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:

$P_{ном}$ – номинальная мощность, кВт; $n_{ном}$ – номинальная частота вращения ротора об/мин;
 λ_m – кратность максимального (критического) момента; λ_{II} – кратность пускового момента

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

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

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

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

$M_{п} = \lambda_{II} M_{ном}$, $n=0$

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

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

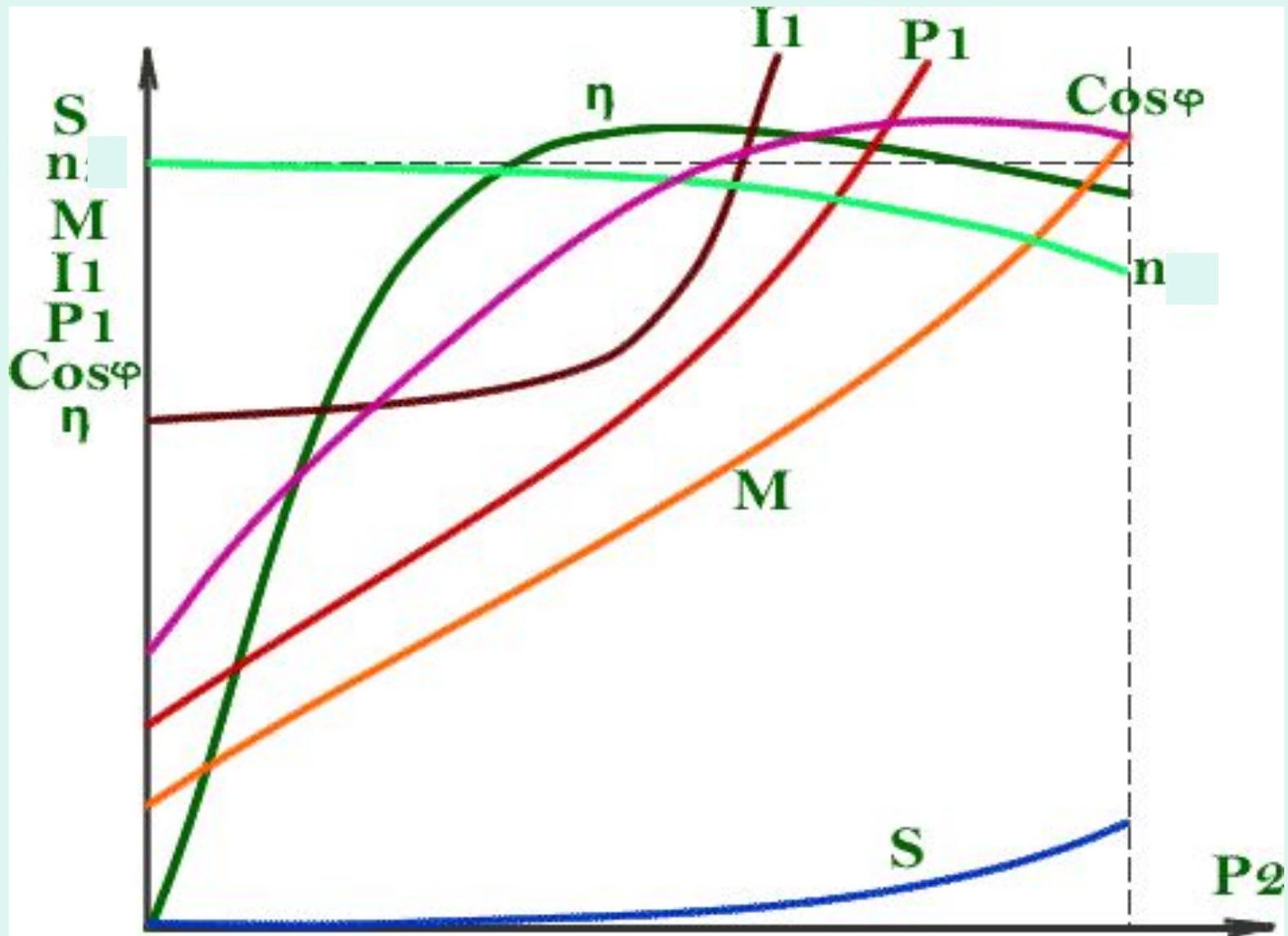
Важным показателем механических характеристик является их жесткость $\beta = dM/dn$. Чем жестче, т. е. чем меньше угол наклона рабочего участка характеристики двигателя, тем меньше изменяется частота вращения n при изменении момента нагрузки $Mс$.

Паспортный показатель $\lambda_m = M_{max} / M_{ном}$ 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 $\lambda_{п} = M_{п} / M_{ном}$ для двигателей малой и средней мощности (менее 100 кВт) составляет $\lambda_{п} = 1,0 \div 2,0$.

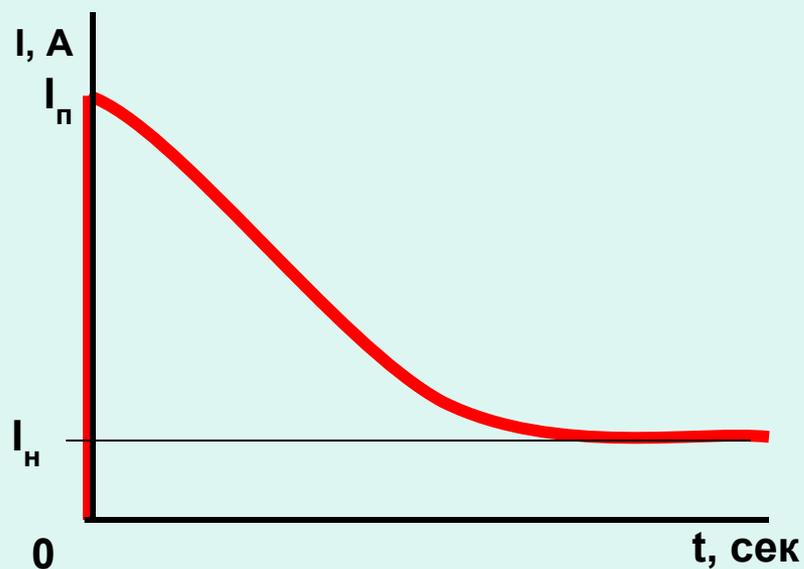
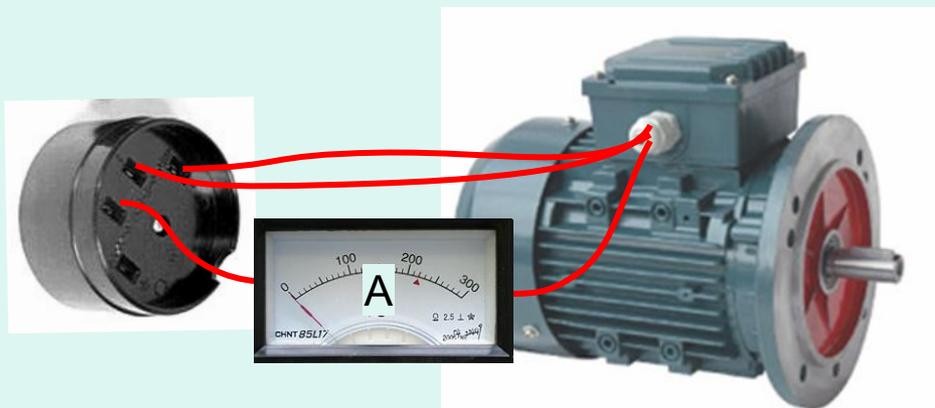
Рабочие характеристики асинхронного двигателя



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.

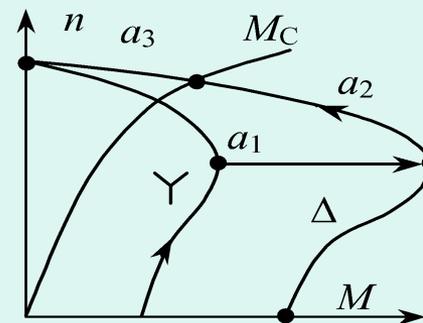
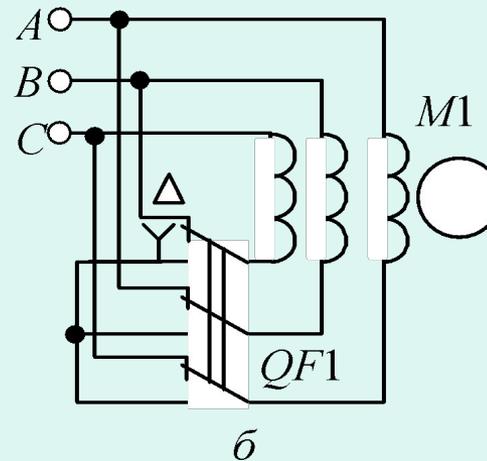
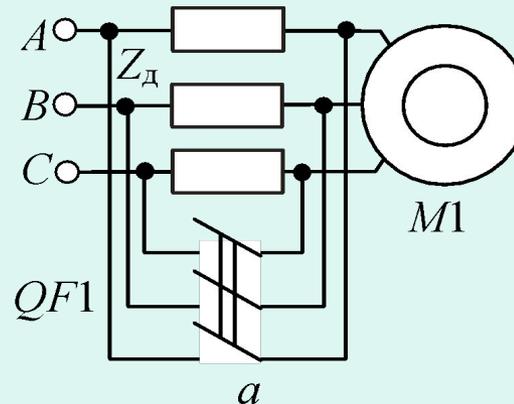
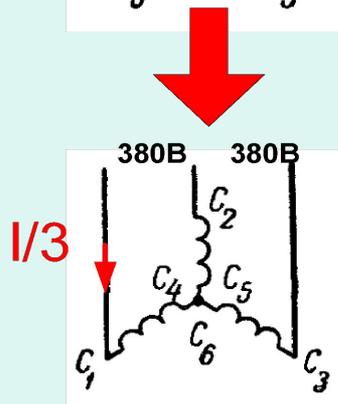
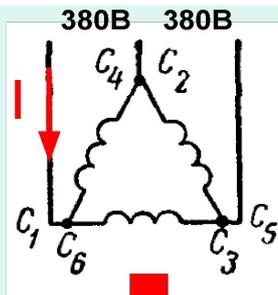
Поэтому, прямое включение АД в сеть применяется только для АД не более 15-20кВт



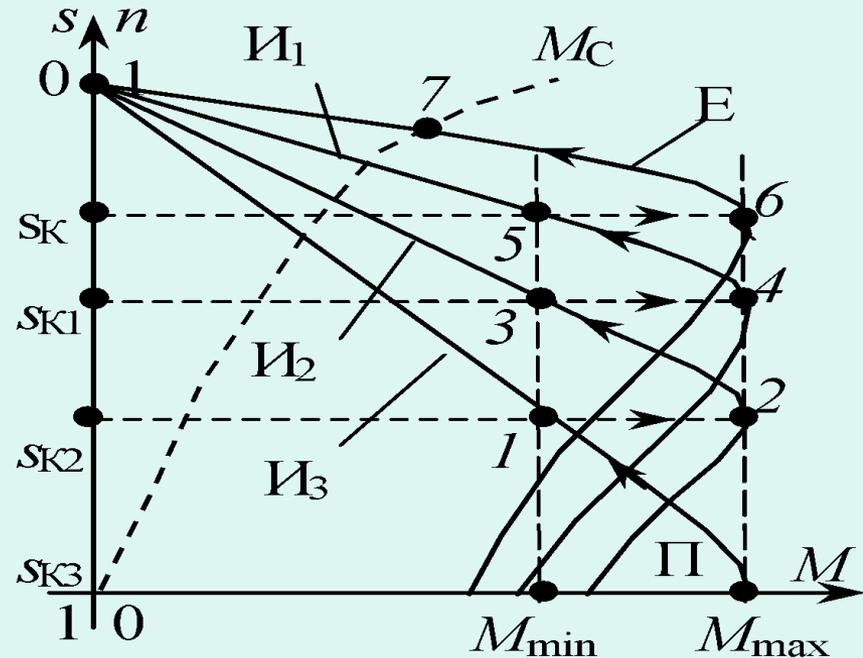
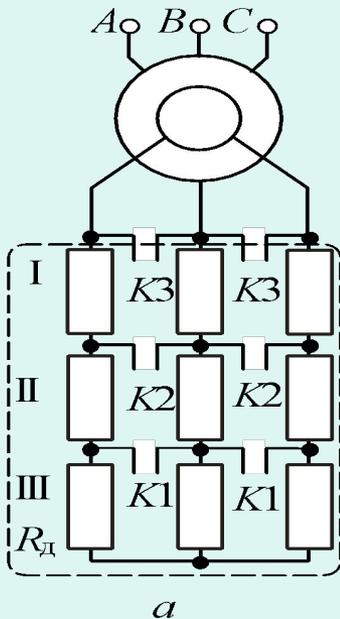
1. Пуск при пониженном напряжении

а) включение последовательно с обмотками статора реостатов или индуктивностей

б) соединение обмоток статора на время пуска звездой



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 $R_{д}$, что соответствует пусковой точке П на характеристике I_3 . Характеристику I_3 с пусковым моментом $M_{п} = M_{max}$ получим при полном сопротивлении пускового реостата

$$R_{д} = R_{I} + R_{II} + R_{III} = R_2 \left(\frac{1}{s_k} - 1 \right)$$

где s_k – критическое скольжение естественной 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

Параметры регулирования частоты вращения :

Диапазон регулирования n - вращения отношение n_{\max}/n_{\min} ;

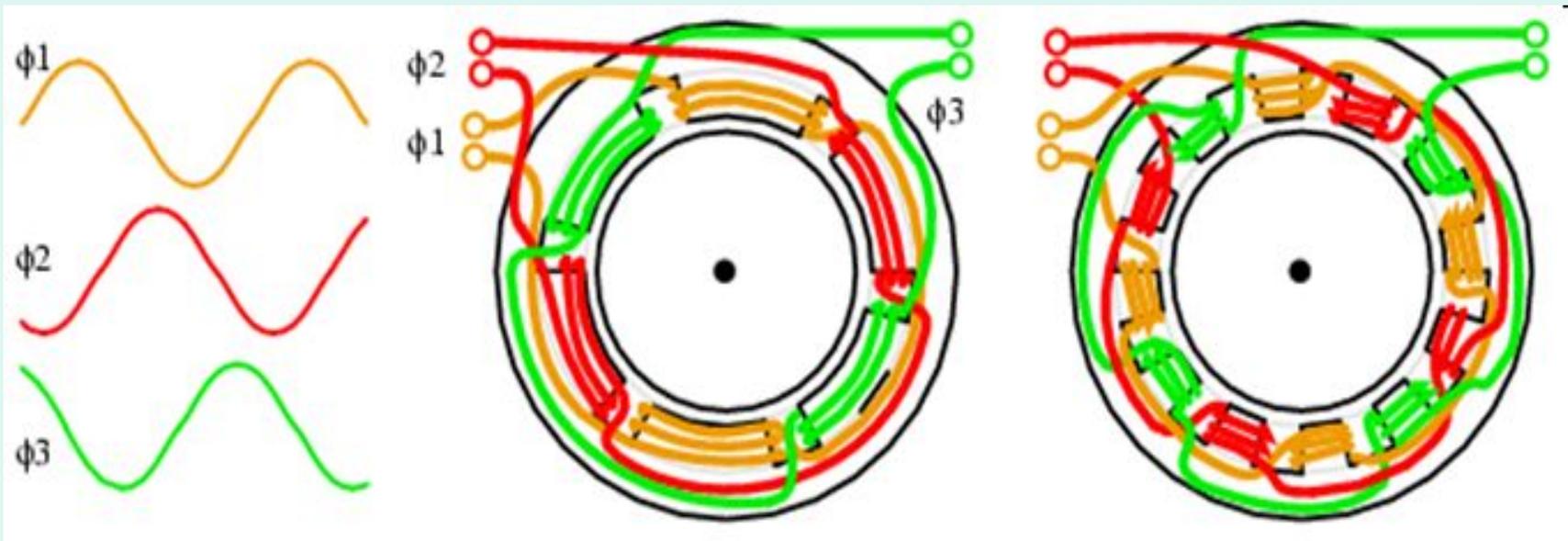
Плавность регулирования – минимальный скачок при переходе

1. от одной механической характеристики к другой;

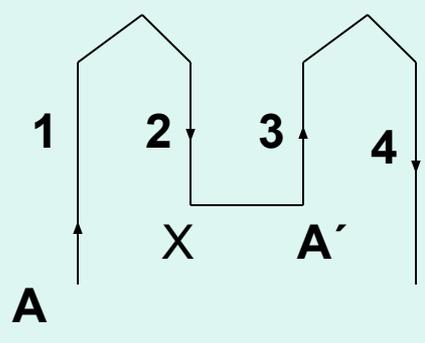
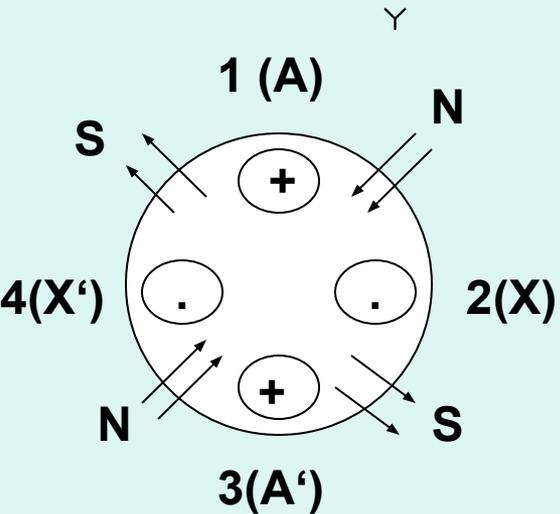
Направление возможного изменения частоты вращения ротора.

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 .

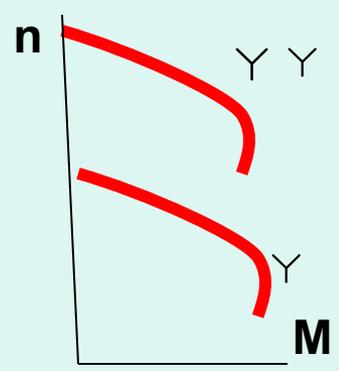
1. **Изменением количества полюсов** статора – включением в сеть разного количества полюсов. Существуют **многоскоростные АД**: **двухскоростные**: 500/1000, 750/1500, 1500/3000 об/мин
трехскоростные: 1000/1500/3000, 750/1000/1500 об/мин:
четырёхскоростные: 500/750/1000/1500 об/мин



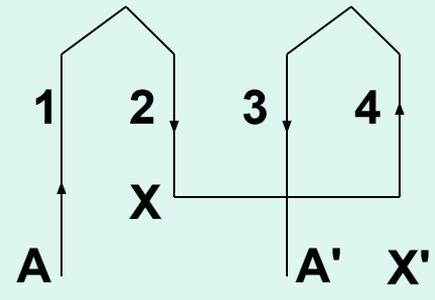
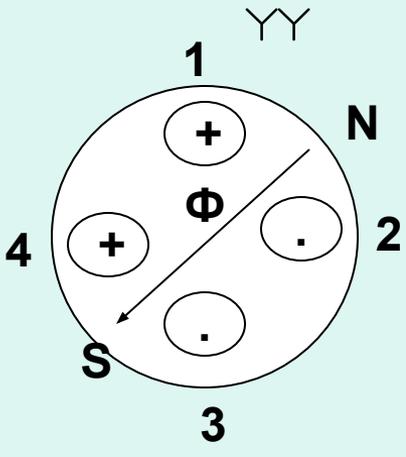
$2P=4$



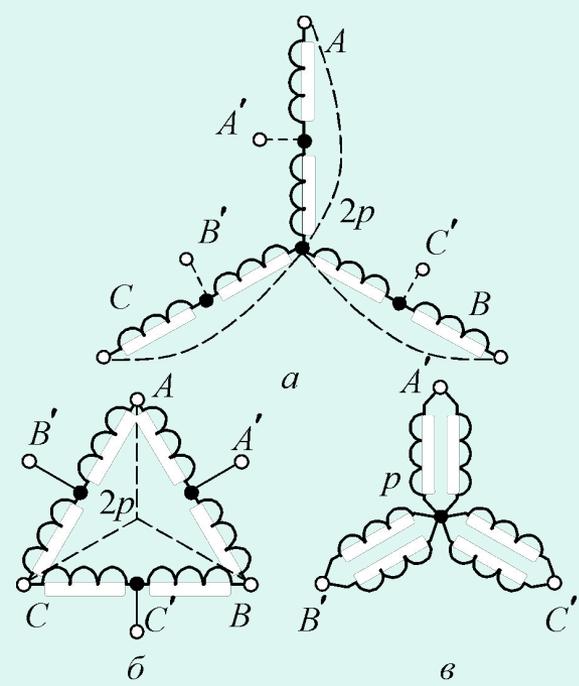
При переключении
 $Y \rightarrow YY$
 $p_{YY} \approx 2P_Y$
 $M_Y \approx M_{YY}$



$2P=2$

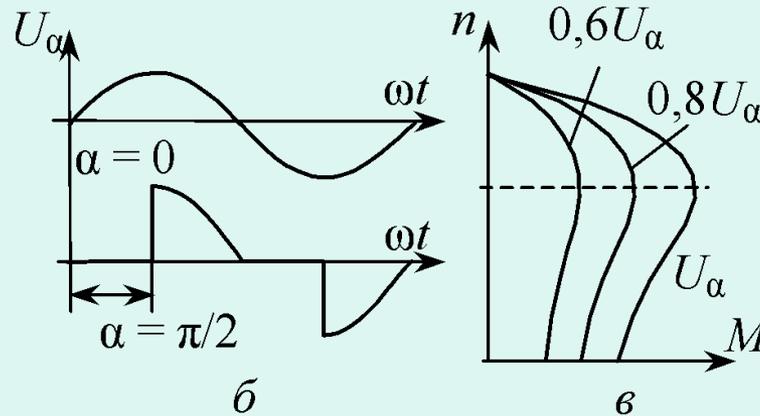
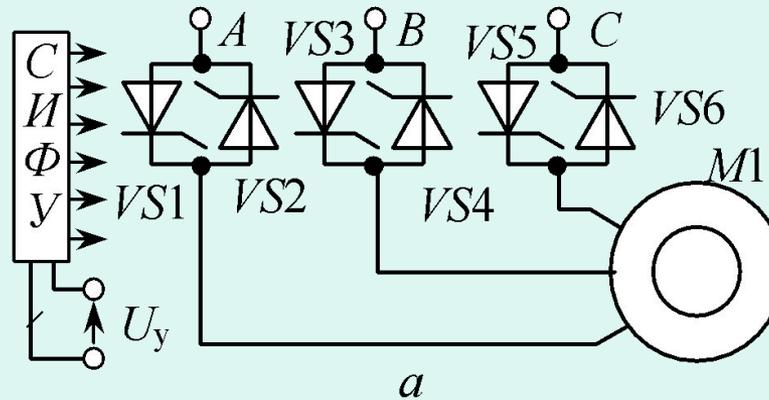


При переключении $\Delta \rightarrow YY$
 $P_{YY} \approx P_{\Delta}$, $M_{YY} \approx M_{\Delta}/2$



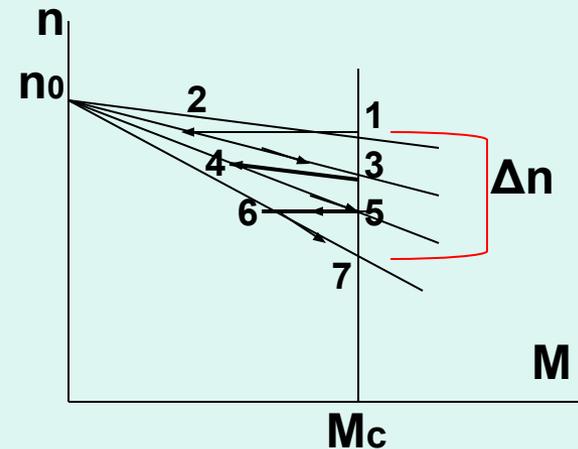
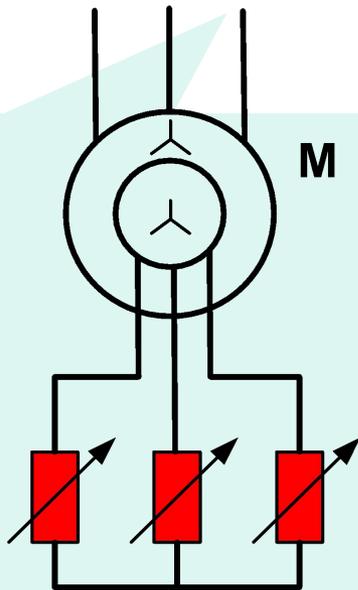
2. Изменением скольжения для двигателя с короткозамкнутым ротором

Система
Импульсно-
фазового
управления



Изменением скольжения для двигателя с фазным ротором

Путем введения в цепь обмоток ротора реостатов.



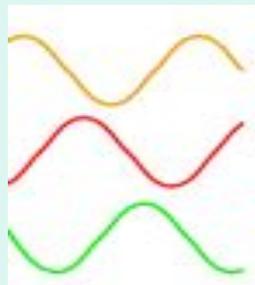
- 1 – включение 1-ой ступени реостата →
 $R_p \uparrow \quad I_2 \downarrow \quad M_{вр} \downarrow < M_c$ •(2) → $n \downarrow \quad s \uparrow \quad I_2 \uparrow \quad M_{вр} \uparrow = M_c$ •(3)
- (3) – включение 2-ой ступени реостата.
- (5) – включение 3-ей ступени реостата.
- (1) - •(7) – диапазон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

Недостатки данного способа:

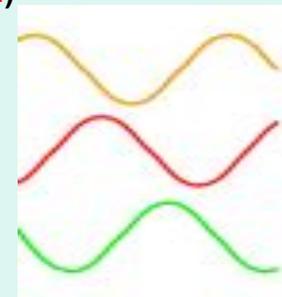
- 1) низкая экономичность из-за потерь в реостате R_p ;
- 2) снижение жесткости механических характеристик;
- 3) частоту вращения можно регулировать только в сторону понижения

3. Частотное регулирование

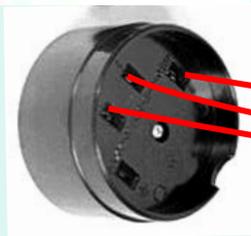
Изменением частоты питающего напряжения - **частотное регулирование**. Бесступенчатый способ. Экономичный и перспективный. Необходим ПЧ (преобразователь частоты)



$f_{\text{сети}} = 50 \text{ Гц}$



$f_{\text{пч}} < f_{\text{сети}}$

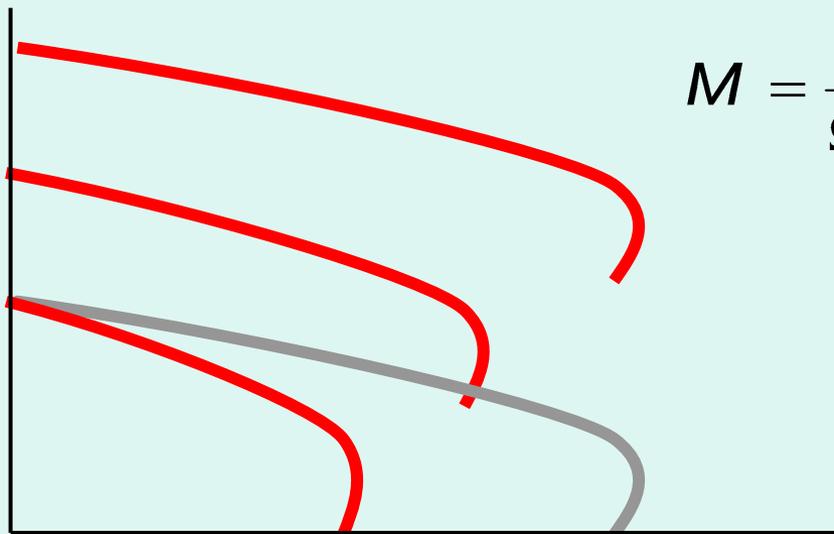


n ,
об/мин

$f_{\text{пч}} = 25 \text{ Гц}$

$f_{\text{пч}} = 35 \text{ Гц}$

$f_{\text{пч}} = 50 \text{ Гц}$

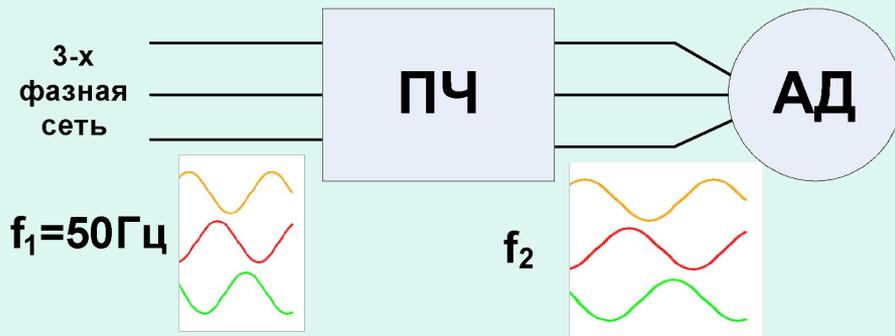


$$M = \frac{1}{\Omega_1 s} \frac{3U_{1\phi}^2 R'_{2\Sigma}}{\left(R_1 + \frac{R_{2\Sigma}}{s}\right)^2 + X_K^2}$$

$$\Omega_1 = 2\pi f_1 / p$$

M , Нм

Продолжение частотного регулирования



Изменение частоты по закону:

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

позволяет регулировать частоту вращения без изменения момента

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

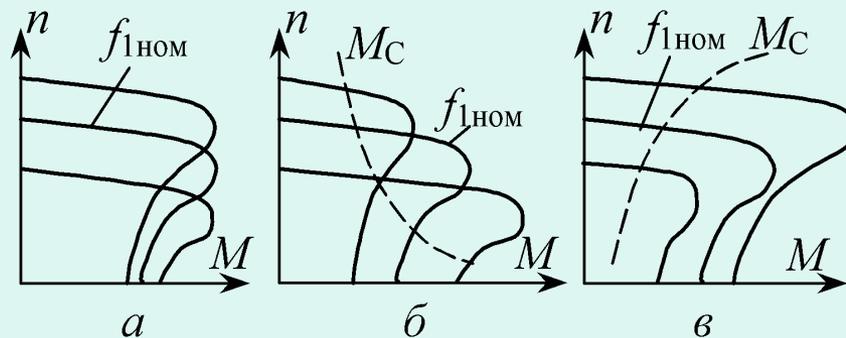
Для механизмов:

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

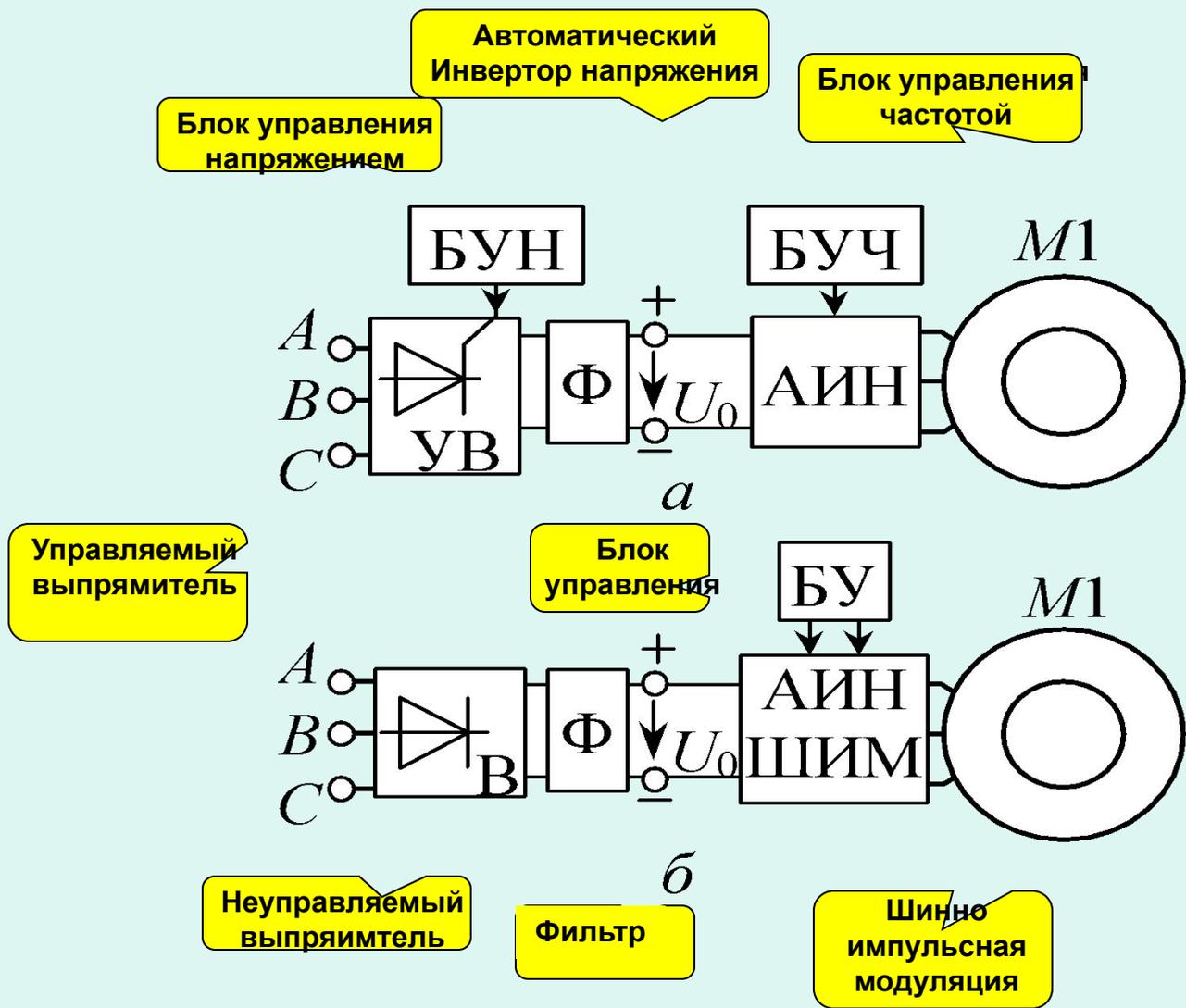
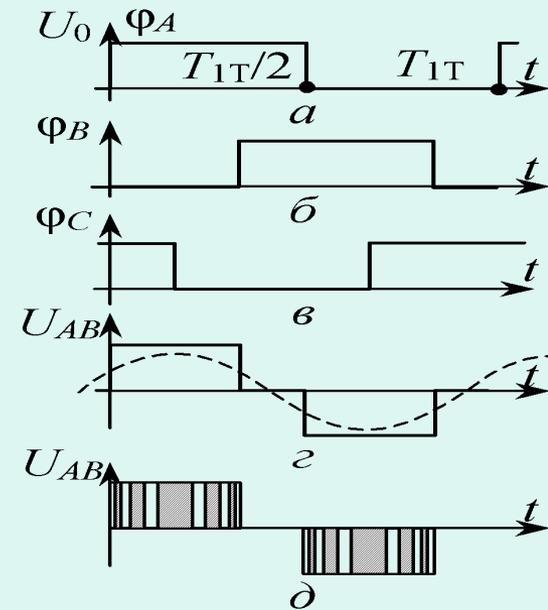
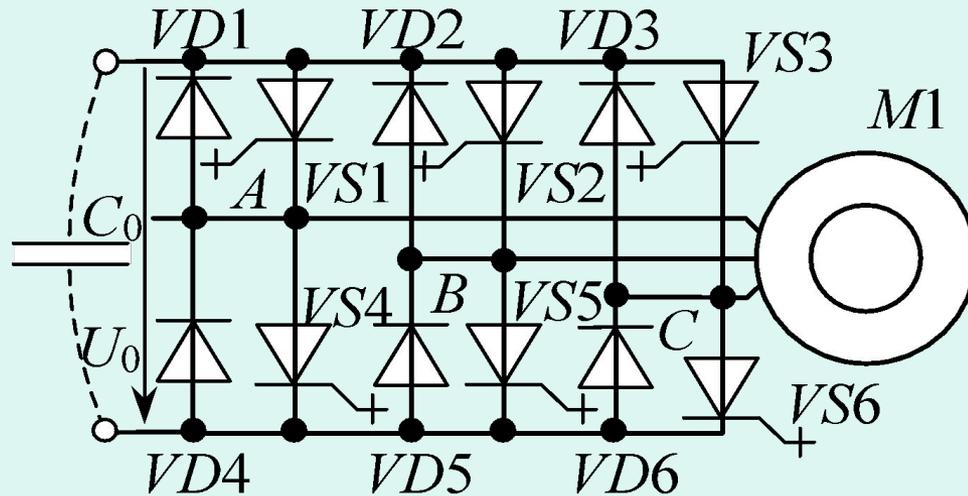


Схема трехфазного АИН на запираемых тиристорах VS1–VS6.

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). - а

Диаграммы потенциалов Φ_A, Φ_B, Φ_C – г,

Диаграмма выходного напряжения инвертора с учетом ШИМ.- в

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

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

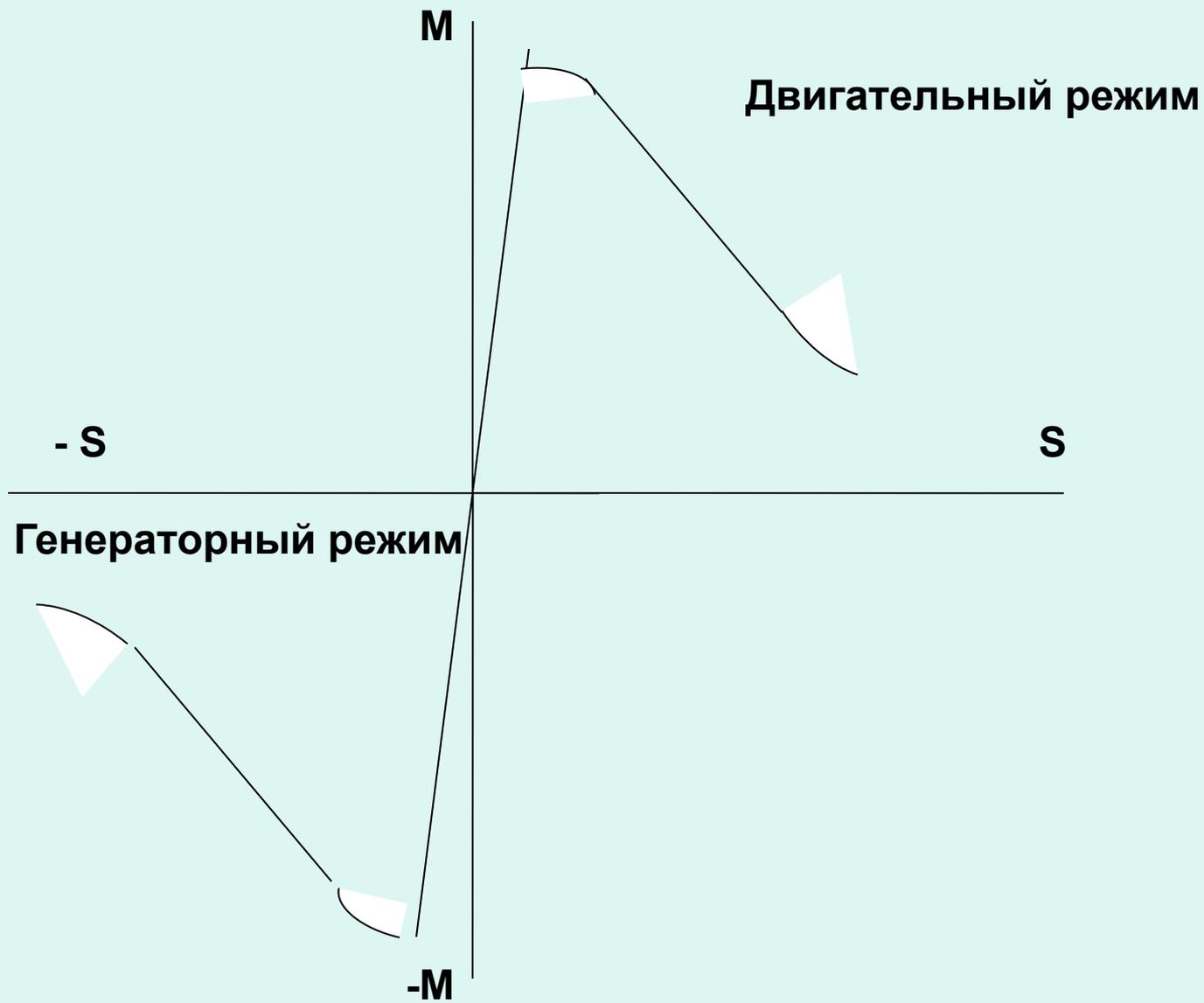
Выходное напряжение инвертора с учетом ШИМ (рис. д) состоит из импульсов повышенной частоты, имеющих различную ширину, которая устанавливается так, чтобы получить на выходе максимум первой гармоники.

При использовании ШИМ возрастают требования к быстродействию ключей, которые выполняют на транзисторах или тиристорах. Обратные включенные диоды $VD1-V D6$ совместно с емкостью C_0 фильтра образуют пути замыкания спадающих токов статорных обмоток.

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.

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

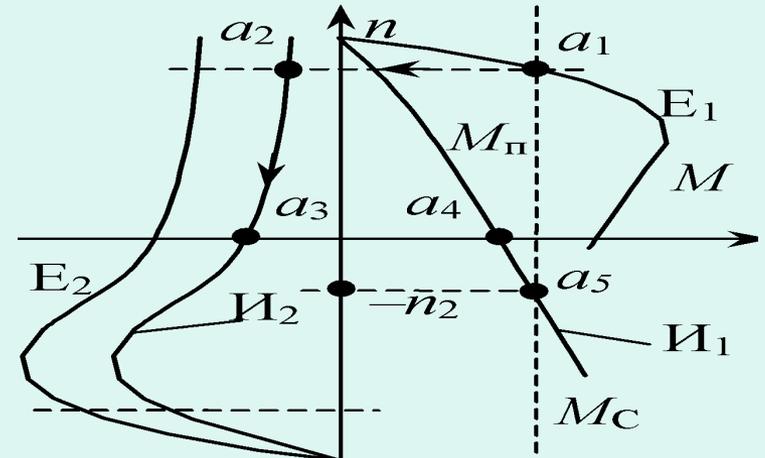
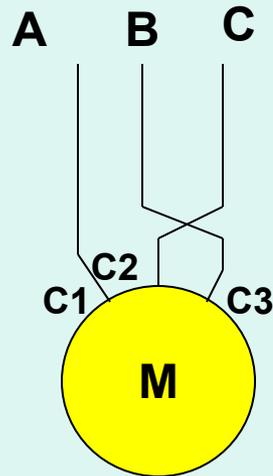
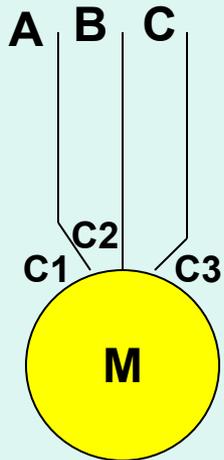


Торможение противовключением

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).



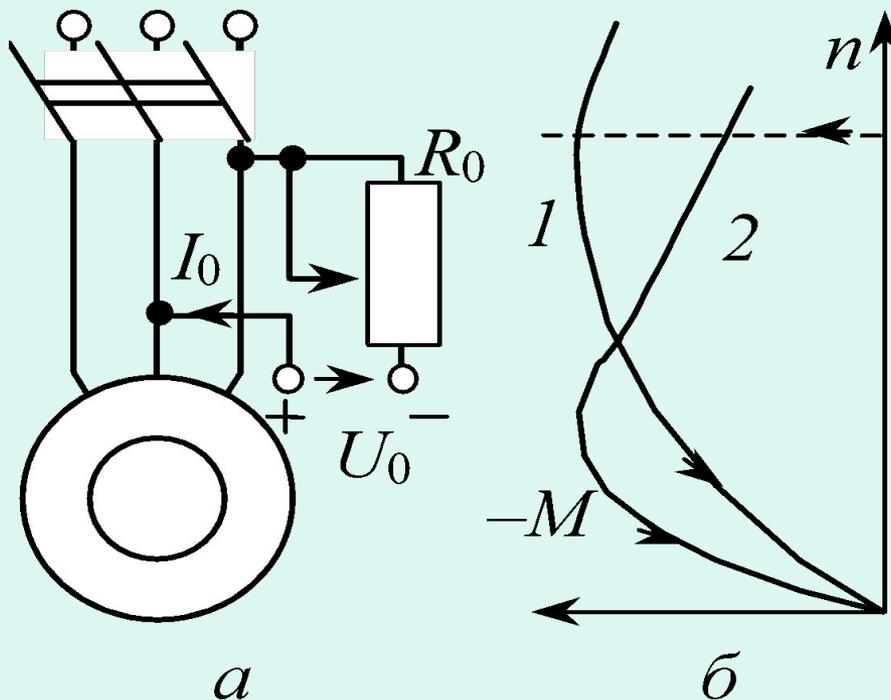
$$S = [(-n_1 - n_2) / -n_1] > 1$$

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

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
скольжение

Номинальное
КПД

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 |

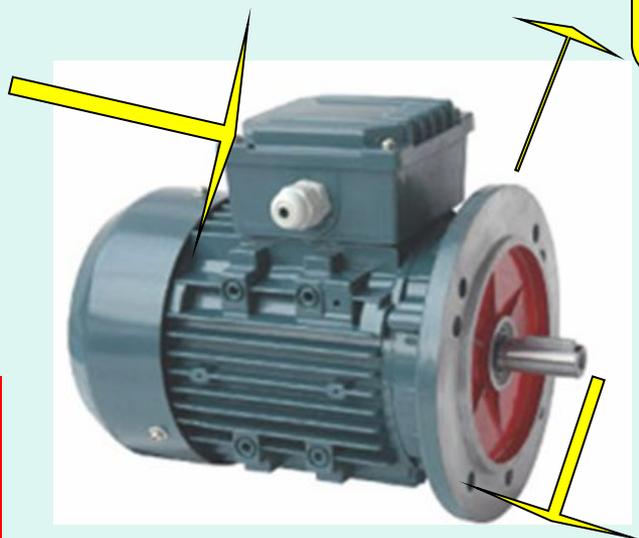
Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей

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

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

$P_{\text{полезн}}$ (или P_n, 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

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

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

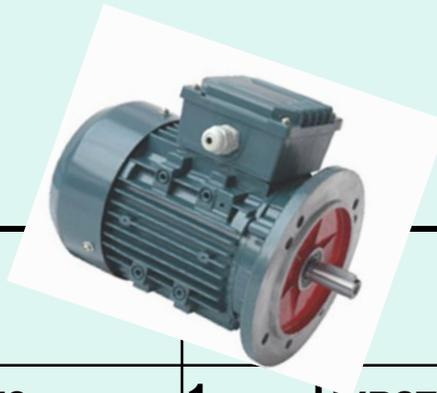
Амплитуда магнитного потока

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

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

Применение асинхронных двигателей



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.



Консольный центробежный насос для сточных масс



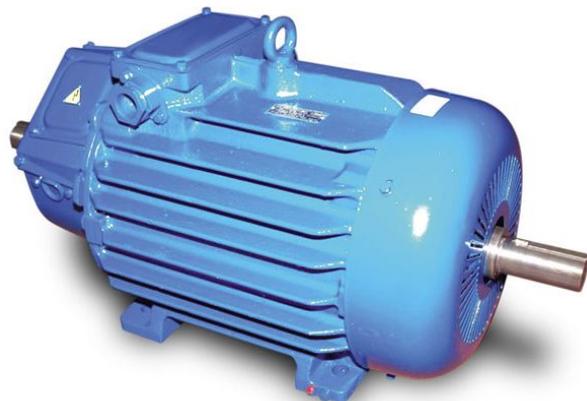
Пылевой вентилятор



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 H1B - химический

Станция перекачки нефти ЛПДС "Мозырь" Гомельского предприятия

транспорта нефти "Дружба"



Задачи

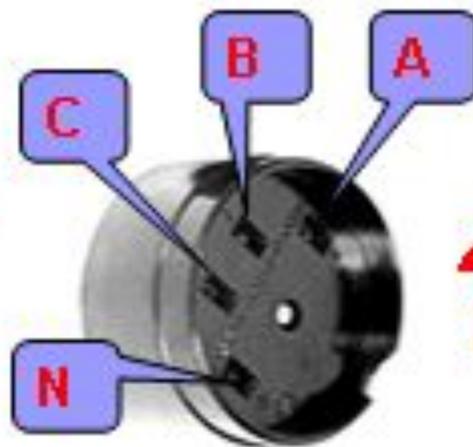
1. Трехфазный АД с КЗ ротором имеет номинальную мощность 4кВт (напряжение 380В (50Гц)), КПД 0.84, коэффициент мощности 0.85 и кратность пускового тока 6.5. Найти потребляемую двигателем мощность из сети, протекающий ток в жиле кабеля, суммарные потери в двигателе в номинальном режиме нагрузки, а также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

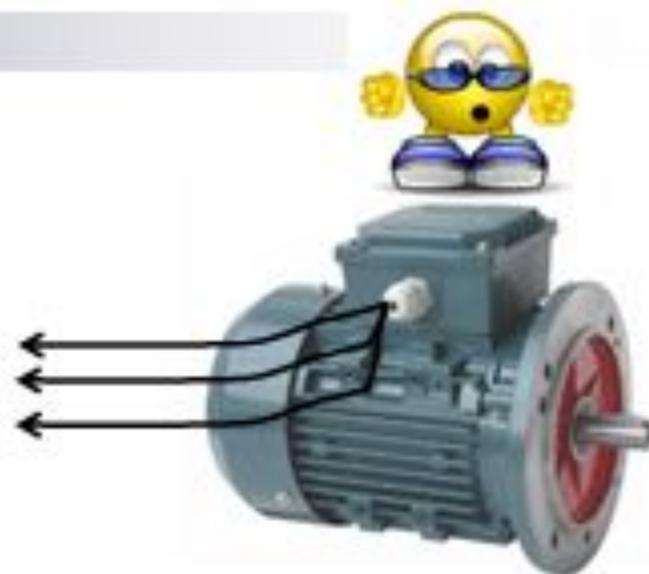
А Б В Г Д Е Ё Ж З И К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Э Ю Я

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?



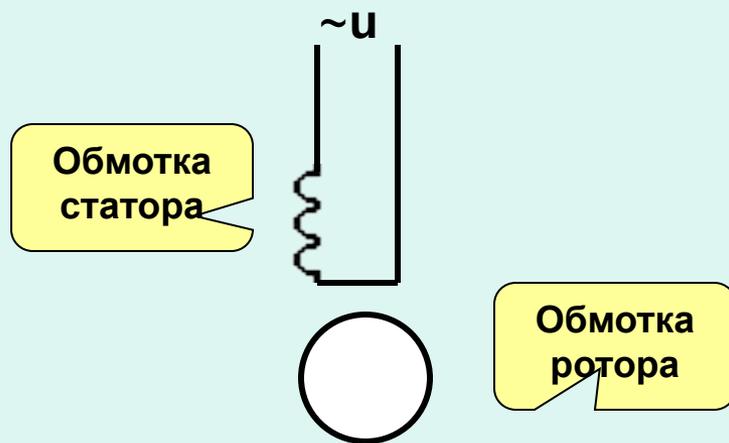
?



| Сеть | Номинальное напряжение АД |
|-----------|---------------------------|
| 380/220 В | 380/220 В |
| 380/220 В | 660/380 В |
| 380/220 В | 220/127 В |
| 220/127 В | 380/220 В |
| 660/380 В | 660/380 В |
| 660/380 В | 380/220 В |

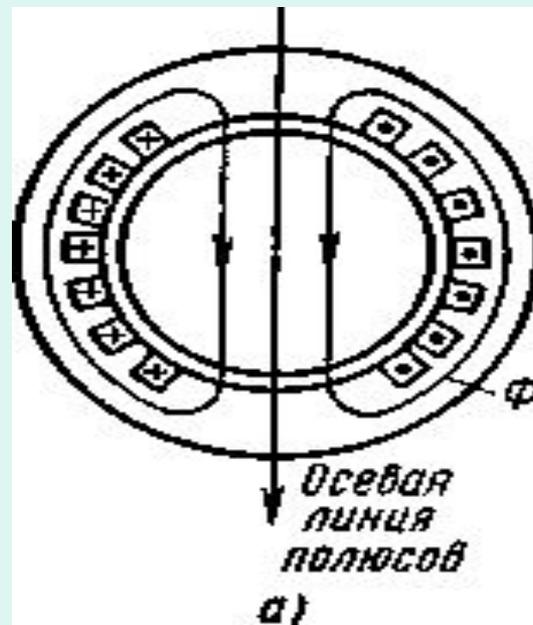
А Б В Г Д Е Ё Ж З И К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Э Ю Я

Однообразный двигатель

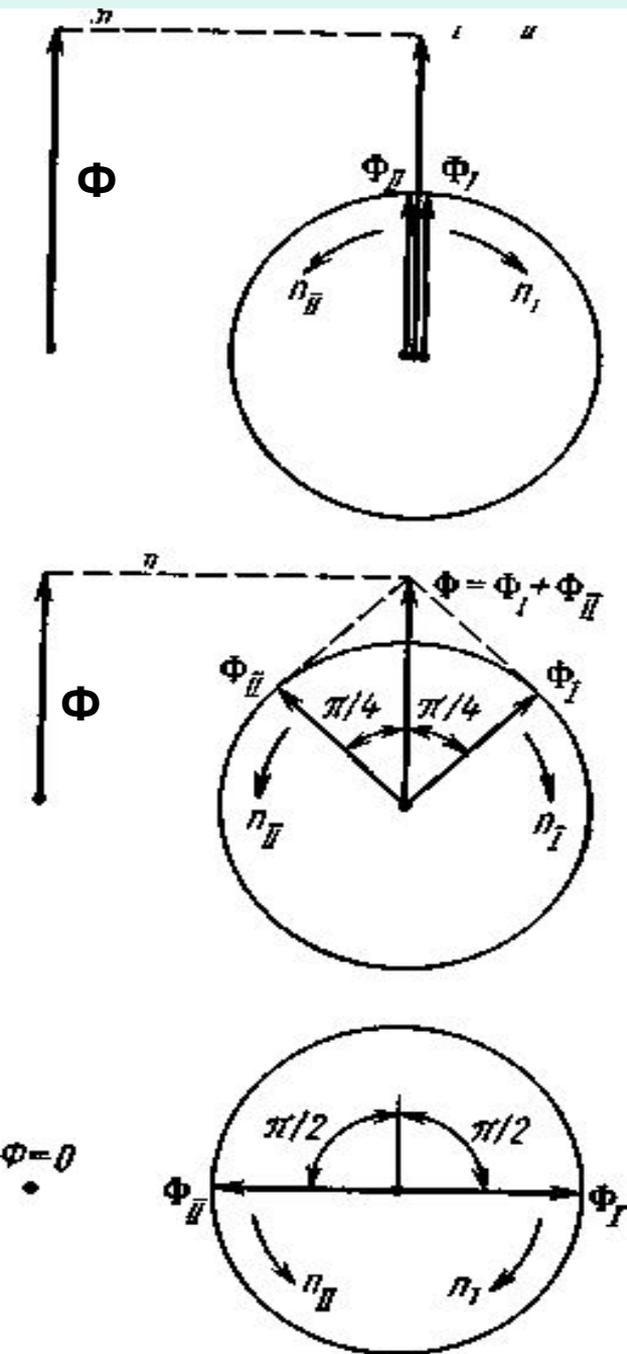


Устройство однофазного асинхронного двигателя

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**.

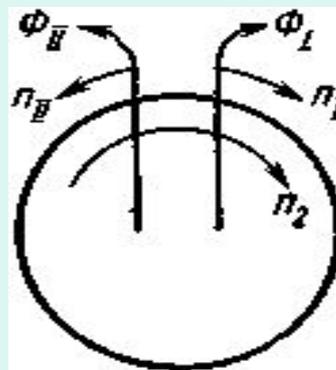


Если пульсирующий поток изменяется по закону $\Phi = \Phi_{\max} \cos \omega t$, то при $t=0$ поток $\Phi = \Phi_{\max}$. Вращающиеся потоки Φ_I и Φ_{II} равны $0,5 \Phi_{\max}$ и при $t=0$ совпадают по направлению.

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 Φ_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 Φ_{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 Φ_I и Φ_{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,

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

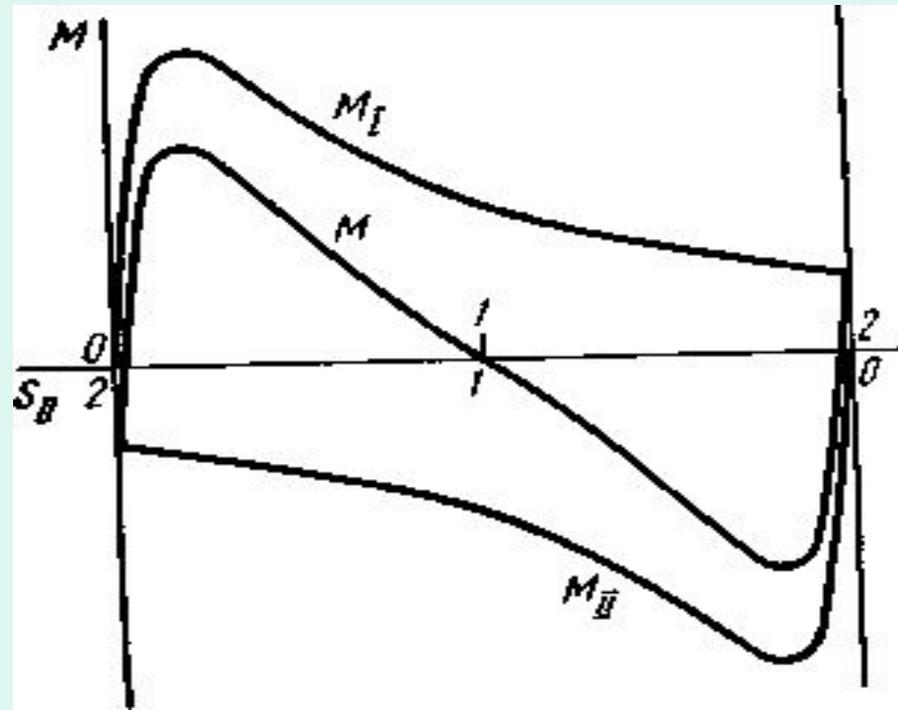
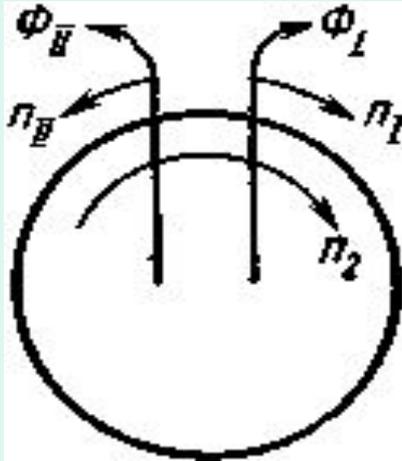
При пуске двигателя $s_1 = 1$ и $s_{11} = 1$. Если $s_1 = 0$, то $s_{11} = 2$, а если $s_1 = 2$, то $s_{11} = 0$.

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

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

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

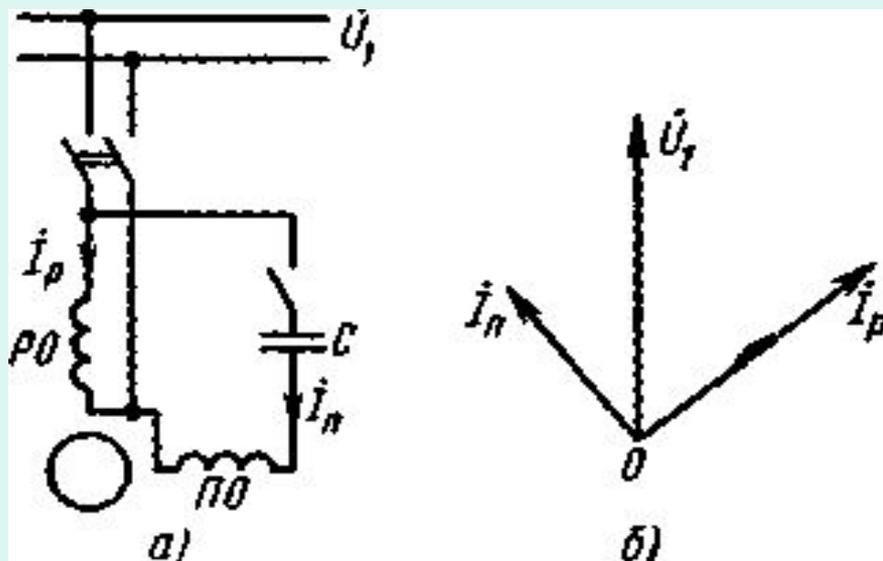
С учетом связи между s_1 и s_{11} и того, что моменты M_1 и M_{11} противоположны по направлению получаем зависимость $M_1(s_1)$, $M_{11}(s_{11})$ и суммарного момента $M(s)$.



Однофазный асинхронный двигатель с пусковой обмоткой

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

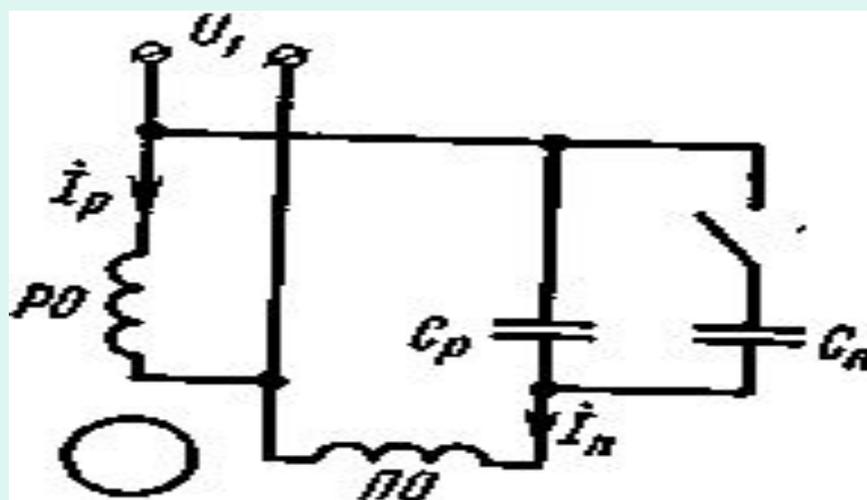
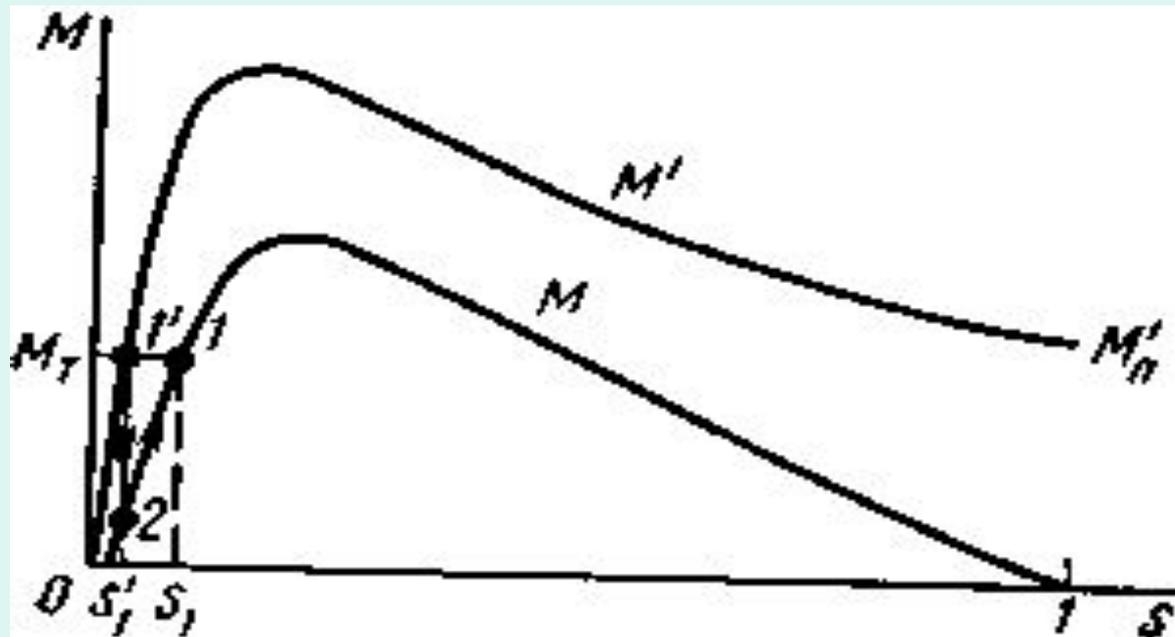
располагаемую на статоре под углом 90° к рабочей (РО).



Последовательно с пусковой обмоткой включают конденсатор C , благодаря 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 момент $M'_n > 0$.

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 в точке 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_l , 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:

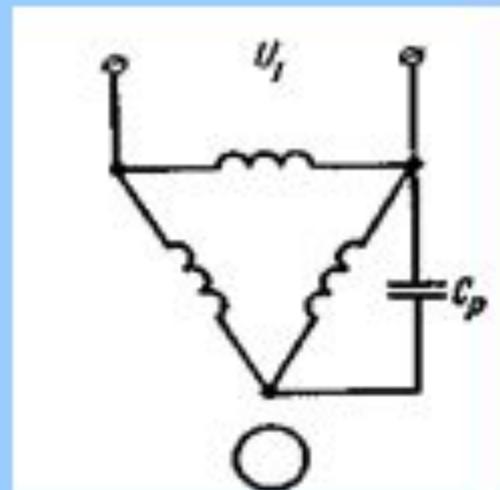
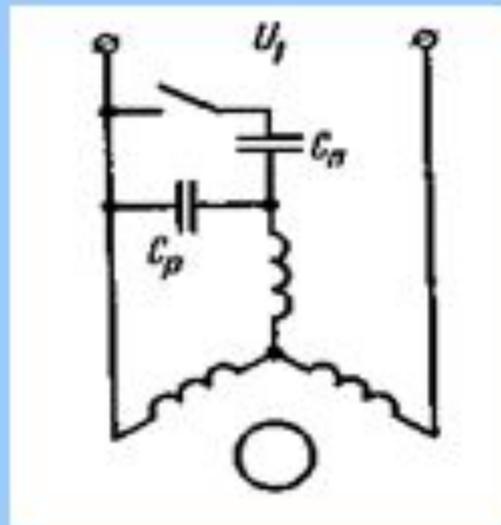
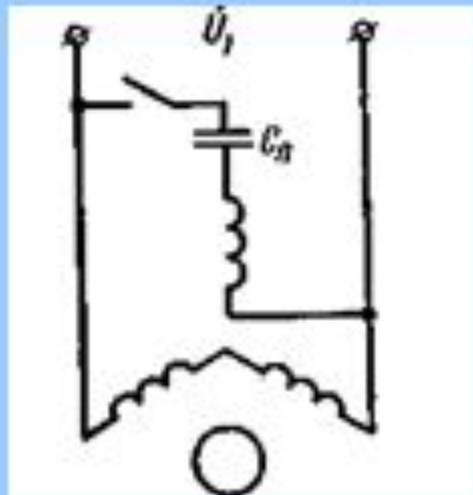
- отсутствие пускового момента;
- низкий $\cos \varphi$ и КПД;
- меньшая перегрузочная способность;
- нерегулируемая частота вращения.

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 $M_{\text{т}}$) может оказаться, что максимальное значение вращающего момента в однофазном режиме меньше тормозного момента. В этом случае двигатель остановится.