

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
МАШИНЫ  
ПЕРЕМЕННОГО  
ТОКА

# ПЛАН

1. Общие сведения и конструкция асинхронного двигателя (АД).
2. Принцип образования вращающегося магнитного поля машины.
3. Принцип действия АД.
4. Пуск, регулирование частоты вращения и торможение АД.
5. Вращающий момент АД.
6. Механическая и рабочие характеристики АД.
7. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя. Потери. Коэффициент полезного действия АД.

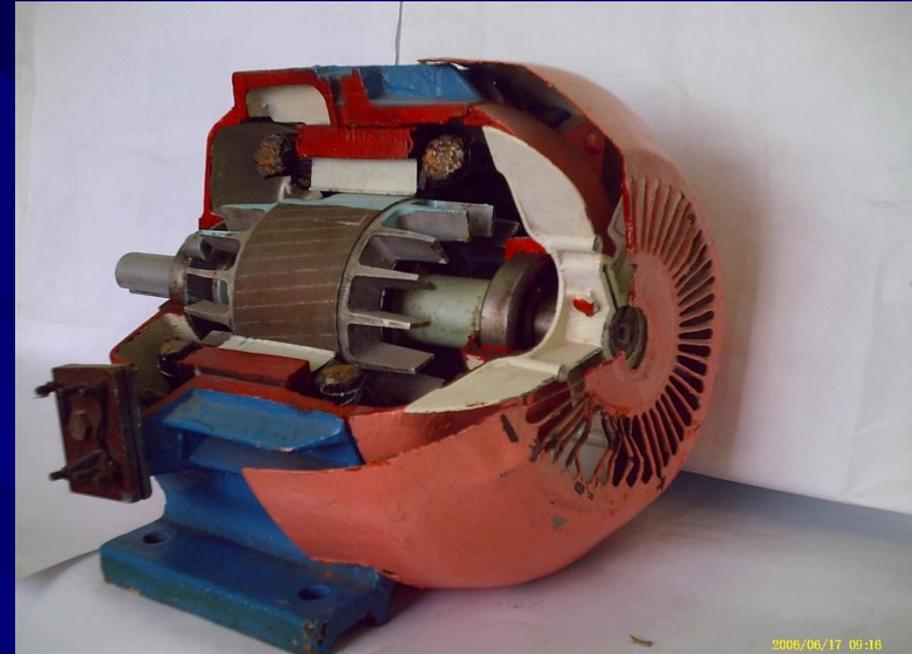
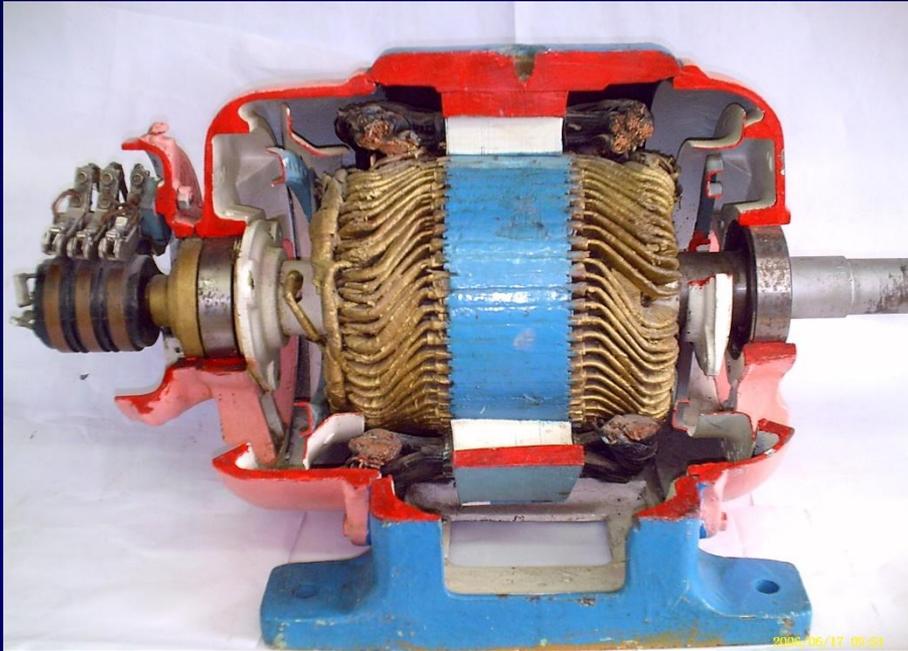
# 1. Общие сведения и конструкция асинхронного двигателя (АД)

# Достоинства асинхронного двигателя

1. конструктивная простота изготовления (по сравнению с машинами постоянного тока)
2. низкая стоимость
3. высокая эксплуатационная надежность
4. простота обслуживания
5. высокие энергетические показатели, (имеют относительно высокий КПД, например, при мощности более 1 кВт –  $\eta = 0,7-0,95$  и только в микродвигателях  $\eta$  снижается до 0,2- 0,65)

# Недостатки асинхронного двигателя

1. Потребление из сети реактивного тока, необходимого для создания магнитного потока, в результате чего асинхронные двигатели работают с *коэффициентом мощности* меньше 1.
2. Худшие регулировочные свойства. Трудность осуществления плавного регулирования частоты вращения в широких пределах.
3. Худшие пусковые свойства. Сравнительно небольшой пусковой момент, а также большие пусковые токи, в 5-7 раз превышающие номинальные



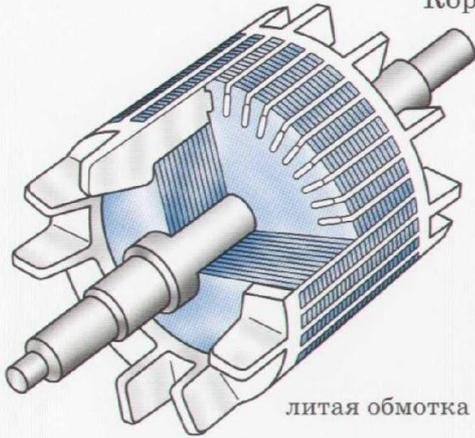
**Трехфазный АД с фазным ротором**

**АД с короткозамкнутым ротором**

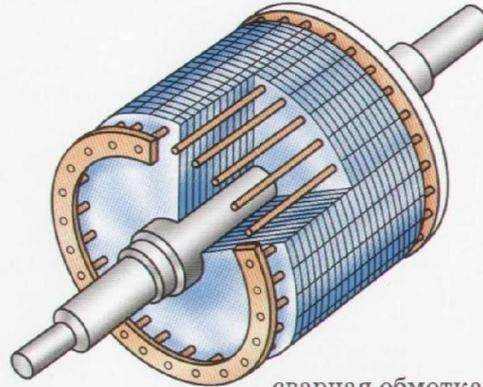
Асинхронные двигатели состоят из двух частей: *неподвижной части* — статора и *вращающейся части* — ротора вращающегося в подшипниках, укрепленных в двух щитах двигателя. Статор и ротор разделены воздушным зазором.

# Асинхронная машина и элементы ее конструкции

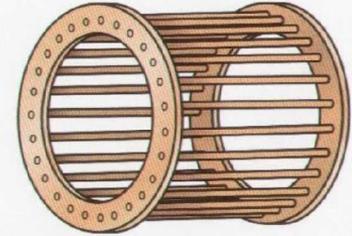
Короткозамкнутый ротор



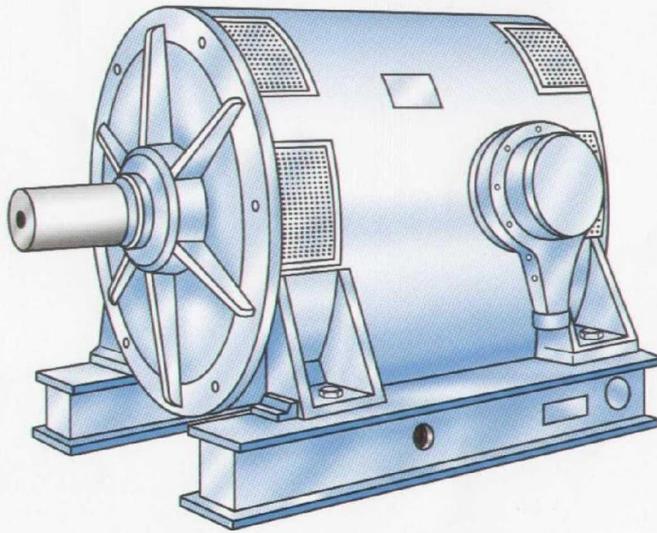
литая обмотка



сварная обмотка



Обмотка ротора асинхронного двигателя без сердечника



Внешний вид асинхронной машины АН2

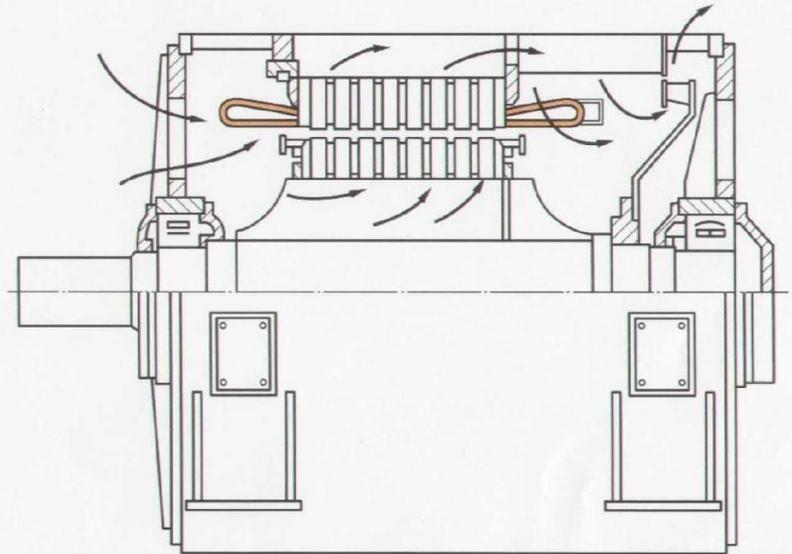
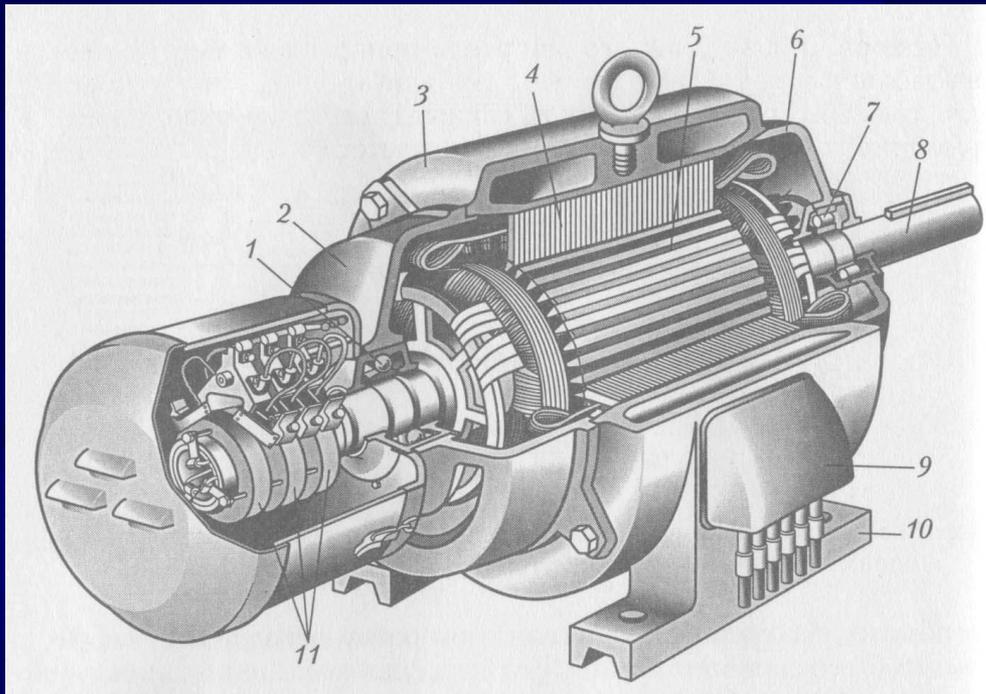


Схема вентиляции асинхронного двигателя АН2



**Рис.3 - Устройство трехфазного АД с фазным ротором:**

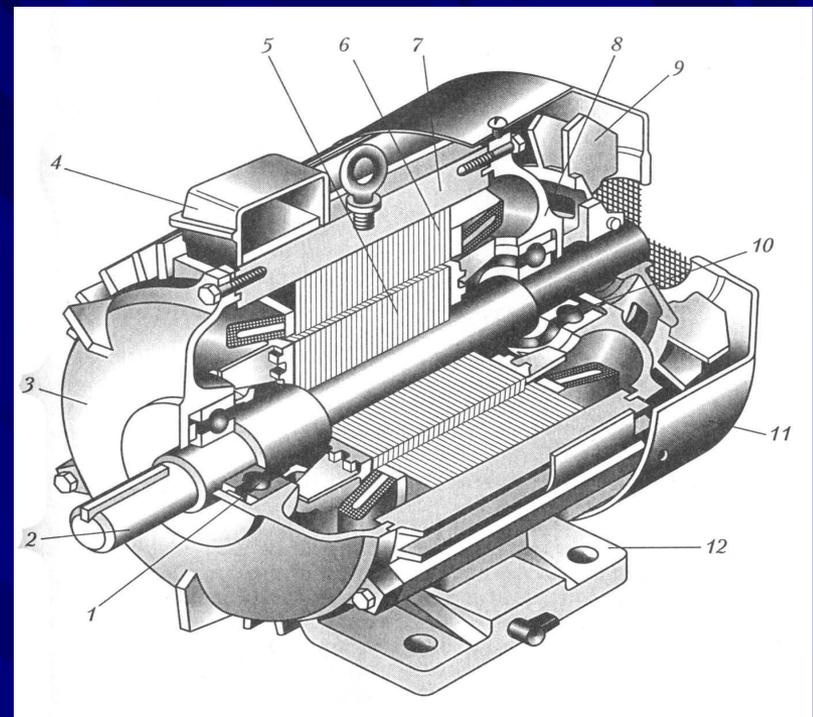
**1,7 – подшипники;**

**2,6 – подшипниковые щиты;**

**3 – корпус; 4 – сердечник статора с обмоткой; 5 – сердечник ротора;**

**8 – вал; 9 – коробка выводов;**

**10 – лапы; 11 – контактные кольца**



**Рис. 4 - Устройство АД с короткозамкнутым ротором:**

**1,10 — подшипники; 2 – вал;**

**3,8 – подшипниковые щиты;**

**4 – коробка выводов;**

**5 - сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой;**

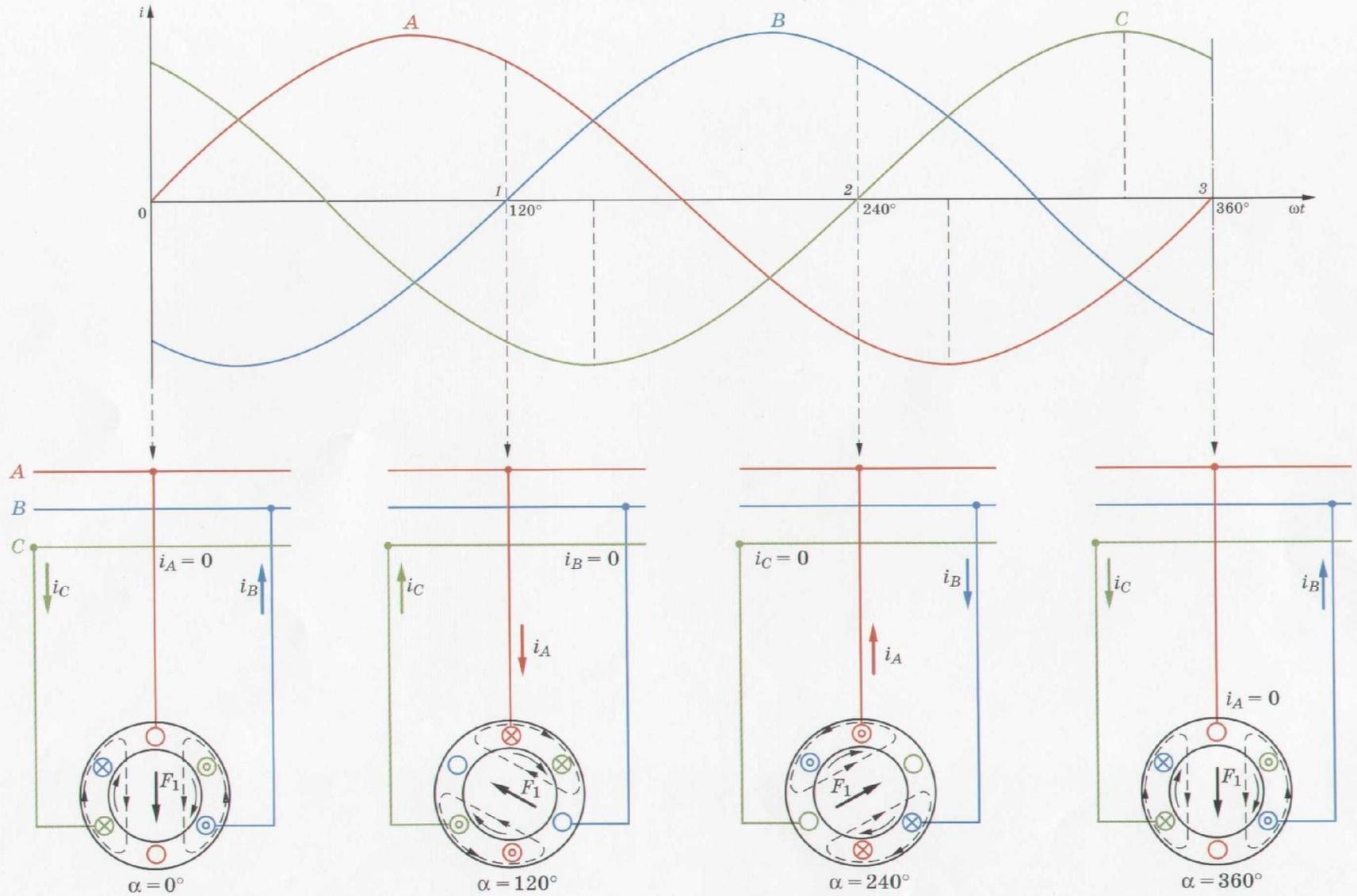
**6 - сердечник статора с обмоткой; 7 – корпус;**

**9 – вентилятор; 11 – кожух вентилятора;**

**12 – лапы.**

# 2. Принцип образования вращающегося магнитного поля машины

# Образование вращающегося магнитного поля



Положения векторов МДС статора в разные промежутки времени волновой диаграммы токов

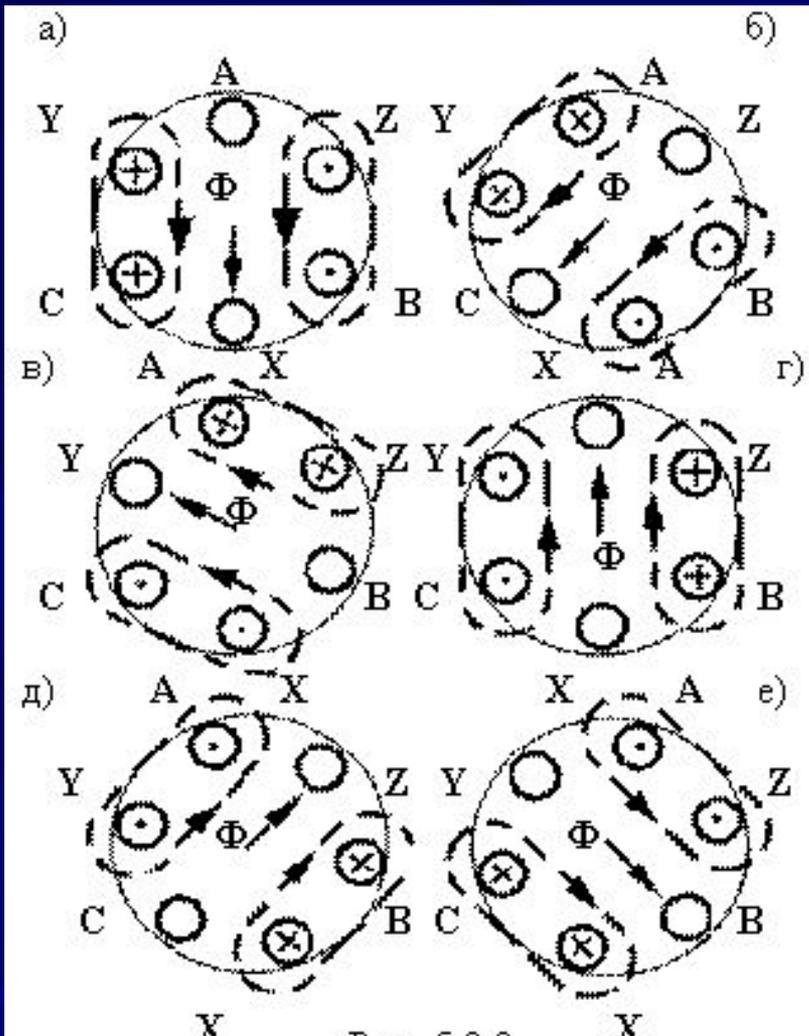


Рис. 7 – Электромагнитные состояния трехфазной обмотки статора

Наглядно видно, что магнитное поле в обмотках и его поток  $\Phi$  совершают круговое вращение.

Частота вращения магнитного поля статора определяется

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}, \text{ об / мин}$$

где  $f$  - частота тока питающей сети, Гц;  
 $p$  - число пар полюсов.

Если принять  $f = 50$  Гц, то для различных чисел пар полюсов ( $p=1, 2, 3, 4 \dots$ )

$$n_1 = 3000, 1500, 1000, 750, \text{ об/мин.}$$

# 3. Принцип действия асинхронного двигателя

# Принцип действия АД

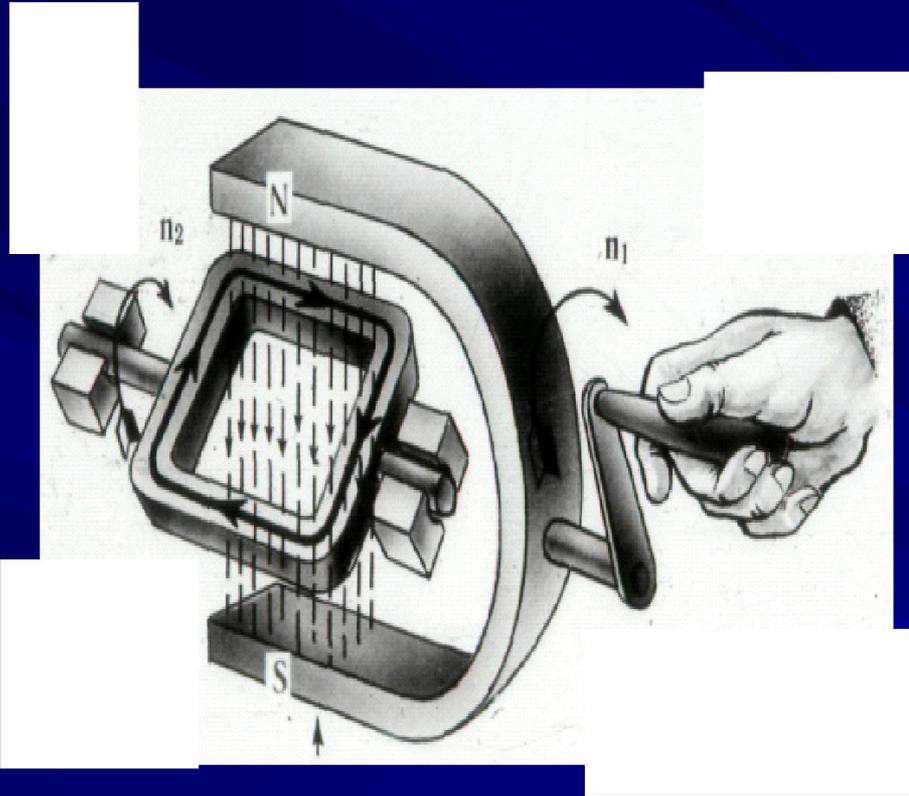
Разность между частотами поля статора  $n_2$  и ротора  $n_1$  называется частотой скольжения  $\Delta n$ .

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

Отношение частоты скольжения к частоте поля называется скольжением

$$S = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{60 \cdot f}{p}(1 - S)$$



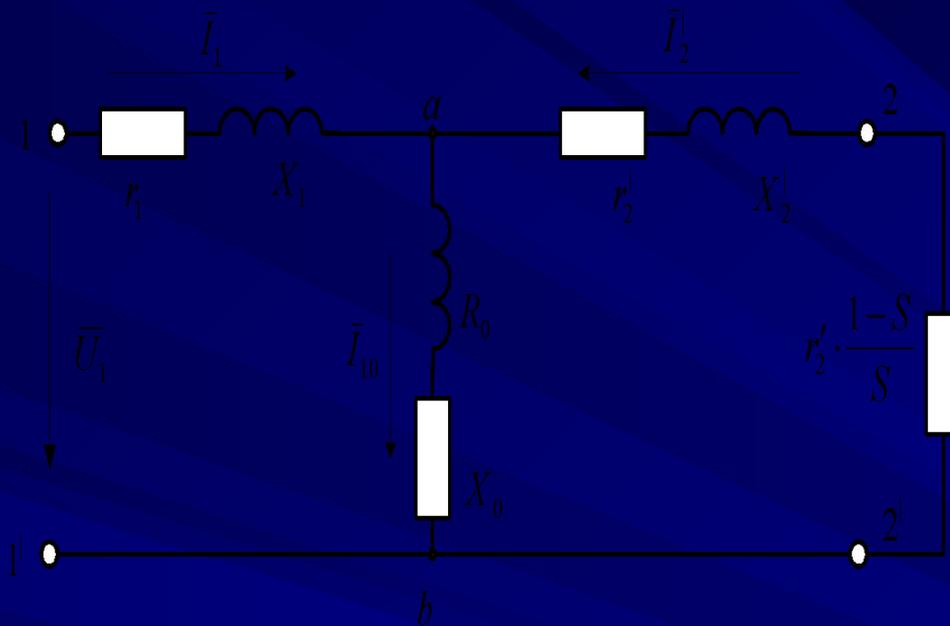


Рис. 8 – Эквивалентная схема замещения АД

Максимальный ток устанавливается при пуске АД, т.е. при  $S=1$ ,

при разгоне АД ток уменьшается,

а если  $S=0$ , то и  $I_2=0$

$$f_1 = \frac{p \cdot n_1}{60} \quad \text{è} \quad f_2 = \frac{p \cdot n_1 \cdot S}{60}$$

ЭДС обмоток двигателя:

1) статора

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi_m \cdot w_1 \cdot k_{o1}$$

2) ротора

$$E_2 = 4,44 f_2 \cdot \Phi_m \cdot w_2 \cdot k_{o2}$$

$W_1$  и  $W_2$  - количество витков одной фазы статора и ротора;

$k_{o1}$  и  $k_{o2}$  - обмоточные коэффициенты статора и ротора;

$\Phi_m$  - магнитное поле вращающегося магнитного поля.

$f_1$  - частота сети;

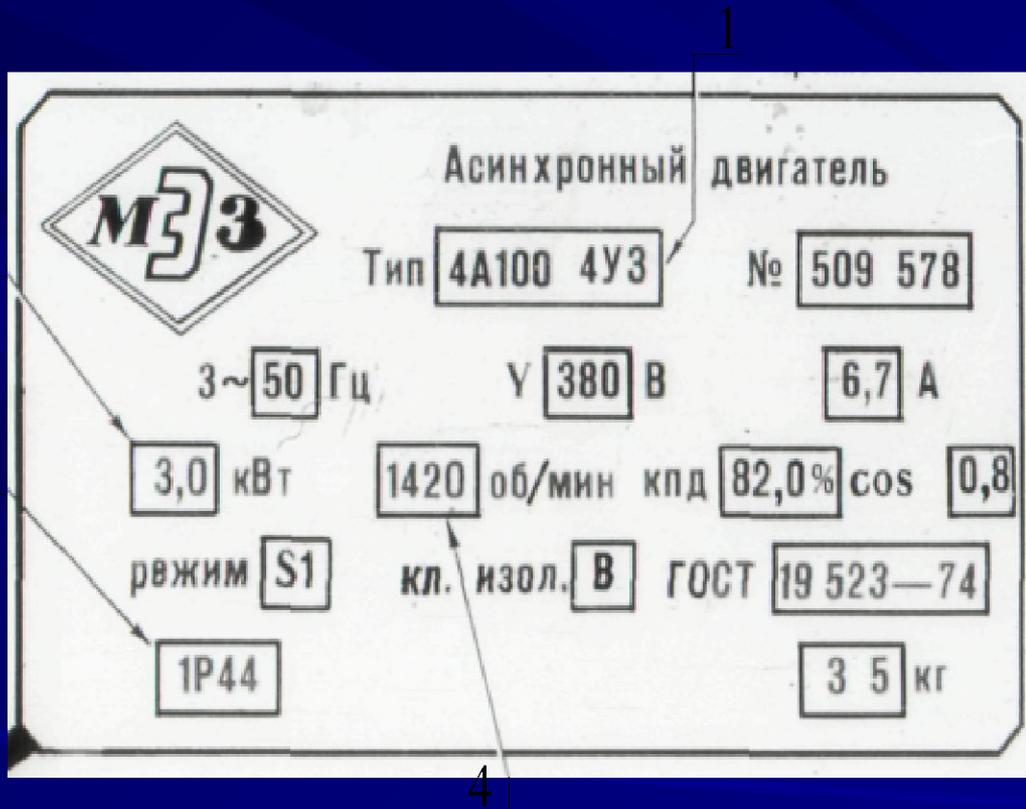
$f_2$  - частота ЭДС, наводимая в проводнике ротора

Если ротор не подвижен, то  $f_1 = f_2$

# Режимы работы асинхронных машин

1. При  $n_1 > n_2$  – режим двигателя;
2. При  $n_1 < n_2$  – режим генератора;
3. При  $n_1 = n_2$  – искусственный режим – режим идеального нерабочего (холостого) хода;
4. Если поле вращается в одну сторону, а ротор посторонней силой в другую – режим электромагнитного тормоза.

# Паспортные данные АД



1- тип АД с короткозамкнутым ротором обдуваемого исполнения серии 4А, четырех-полюсной;

2 - мощность на валу 3 кВт;

3 - степень защиты от соприкосновения с токоведущими вращающимися частями и от попадания водяных брызг;

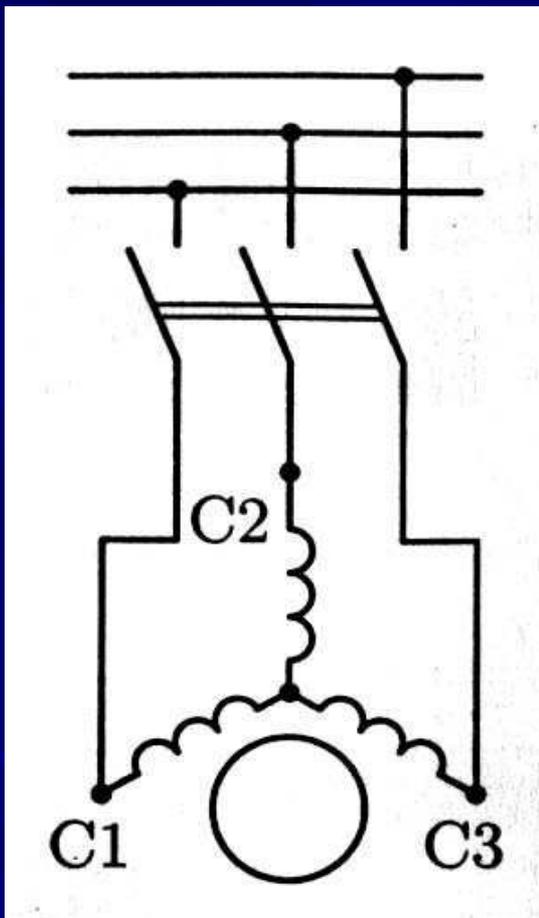
4 - частота вращения при номинальной нагрузке 1420 об/мин;

Рис. 9 - Табличка с паспортными данными

# 4. Пуск, регулирование частоты вращения и торможение АД

# 4.1 Способы пуска АД

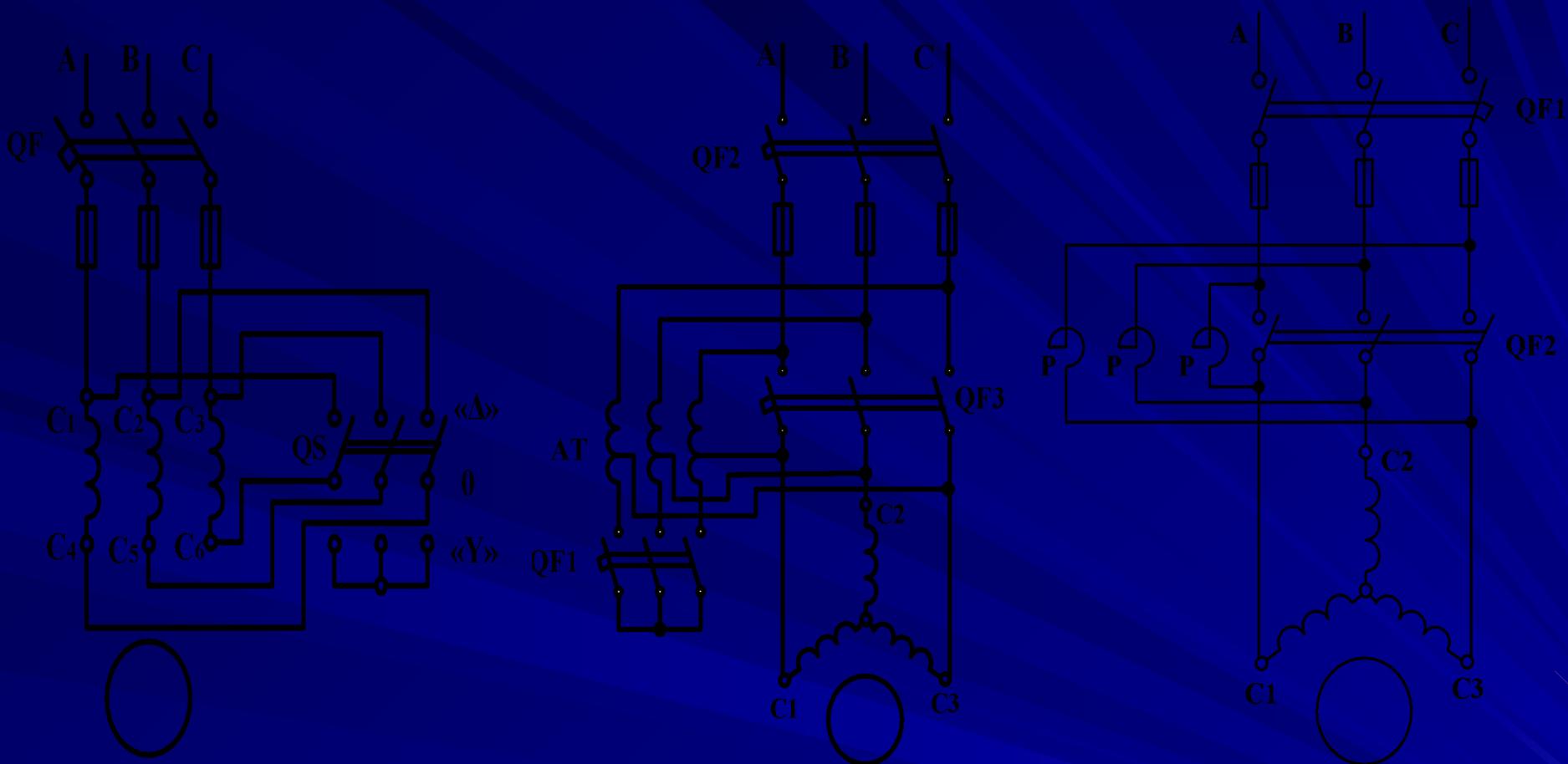
## 4.1.1. АД с короткозамкнутым ротором



Включаются АД малой и средней мощности.

Рубильник или автоматический выключатель отключает АД в сети при перегрузках и к.з.

Рис. 10 – Пуск АД с непосредственным включением в сеть (прямой пуск)



а)

б)

в)

Рис. 11 - а) пуск АД переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник»;  
 б) пуск с помощью автотрансформатора;  
 в) реакторный пуск

## 4.1.2. АД с фазным ротором

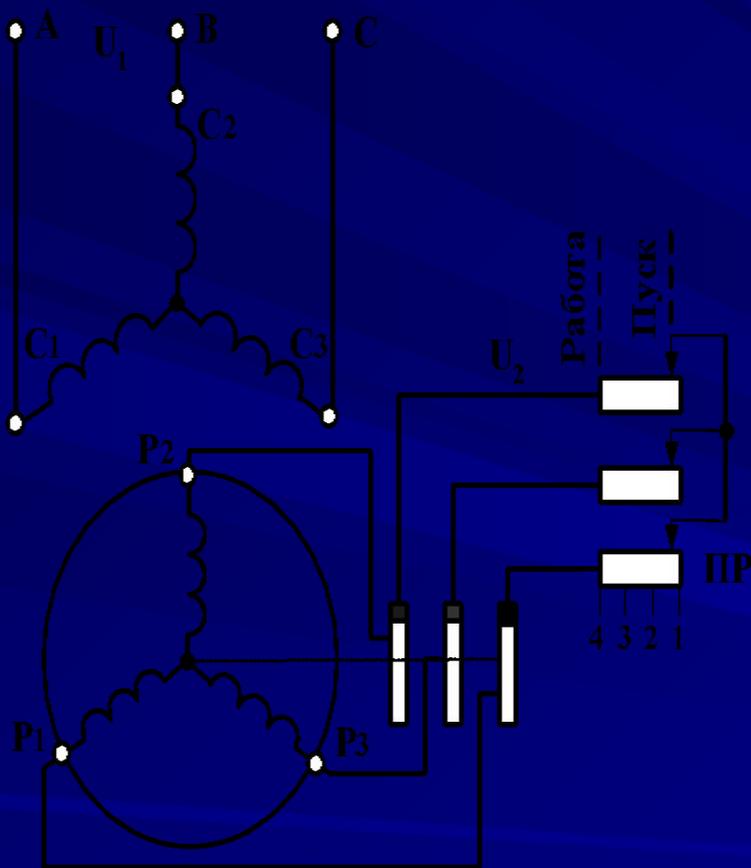


Рис. 12 – Пуск с помощью пускового реостата

Пуск сопровождается переходным процессом, обусловленным переходом ротора и механически связанного с ним исполнительного (рабочего) механизма из состояния покоя в состояние равномерного вращения, когда вращающий момент двигателя уравнивается суммой противодействующих моментов, действующих на ротор двигателя.

Процесс реостатного пуска АД с фазным ротором является наиболее благоприятным, так как в нем сочетаются значительный пусковой момент со сравнительно небольшим пусковым током (в 2-3 раза превышающем номинальный ток двигателя).

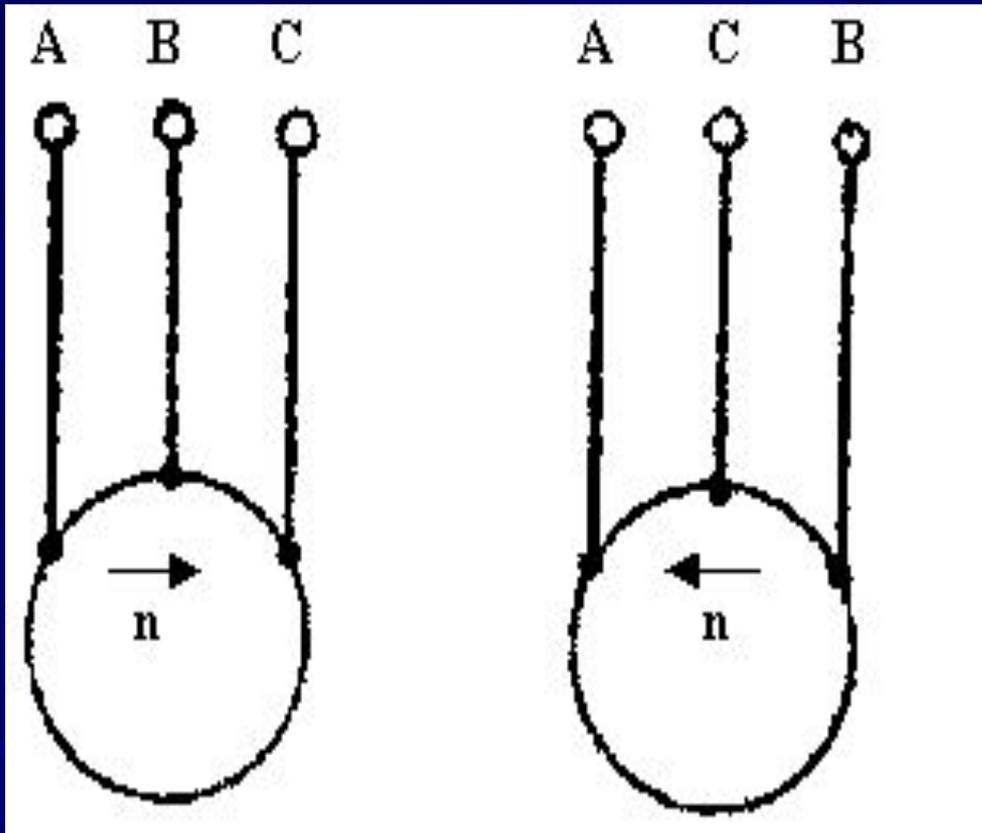
## 4.2 Способы регулирования частоты вращения трехфазных АД

частота вращения АД - 
$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{60 \cdot f}{p}(1 - S)$$

Регулирование частоты вращения АД можно осуществить:

1. Изменением скольжения  $S$
2. Изменением частоты тока в обмотке статора  $f_1$
3. Изменением числа пар полюсов  $2p$

## 4.3 Реверсирование АД



Реверсирование, т.е. изменение направления вращения на обратное. Осуществляется оно путем изменения порядка чередования фаз обмотки статора. Показана схема изменения направления вращения вала двигателя

Рис. 13 - Реверсирование двигателя

## 4.4 Торможение АД

1. *Механическое* - торможения муфтами, электромагнитными лентами, колодками и т.д.
2. *Электродинамическое* торможение, когда после отключения двигателя от сети переменного тока в его обмотки подается постоянный ток. В этом случае постоянное магнитное поле заметно сокращает выбег ротора.
3. *Торможение "противовыключением"*.

После отключения двигателя от сети его кратковременно включают на вращение в обратную сторону. Как только оставшаяся частота вращения ротора  $n_2$  станет равной нулю, двигатель отключается от сети.

# 5. Вращающий момент АД

Вращающий момент в асинхронном двигателе создается взаимодействием тока ротора с магнитным полем машины

$$M_1 = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{\omega_1} \quad \text{где } P_{\text{ЭМ}} \text{ — электромагнитная мощность машины;}$$

$\omega_1$  - угловая частота вращения поля.

$$\omega_1 = \frac{2p \cdot n_1}{60} \quad \text{подставив } n_1 = \frac{f_1 \cdot 60}{p} \quad \text{и} \quad P_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{Э2}}}{S}$$

$$M_1 = \frac{P_{\text{Э2}}}{\omega_1 \cdot S} = \frac{m_1 \cdot I_2'^2 \cdot r_2'^2}{\omega_1 \cdot S}$$

$$\text{заменяем } I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left[ \frac{r_1 + r_2' + r_2'(1-S)}{S} \right]^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

получим

$$M_1 = \frac{m_1 p U_1^2 \left( \frac{r_2'}{S} \right)}{2\pi f \left( \frac{r_1 + r_2}{S} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

# 6. Механическая и рабочие характеристики асинхронного двигателя

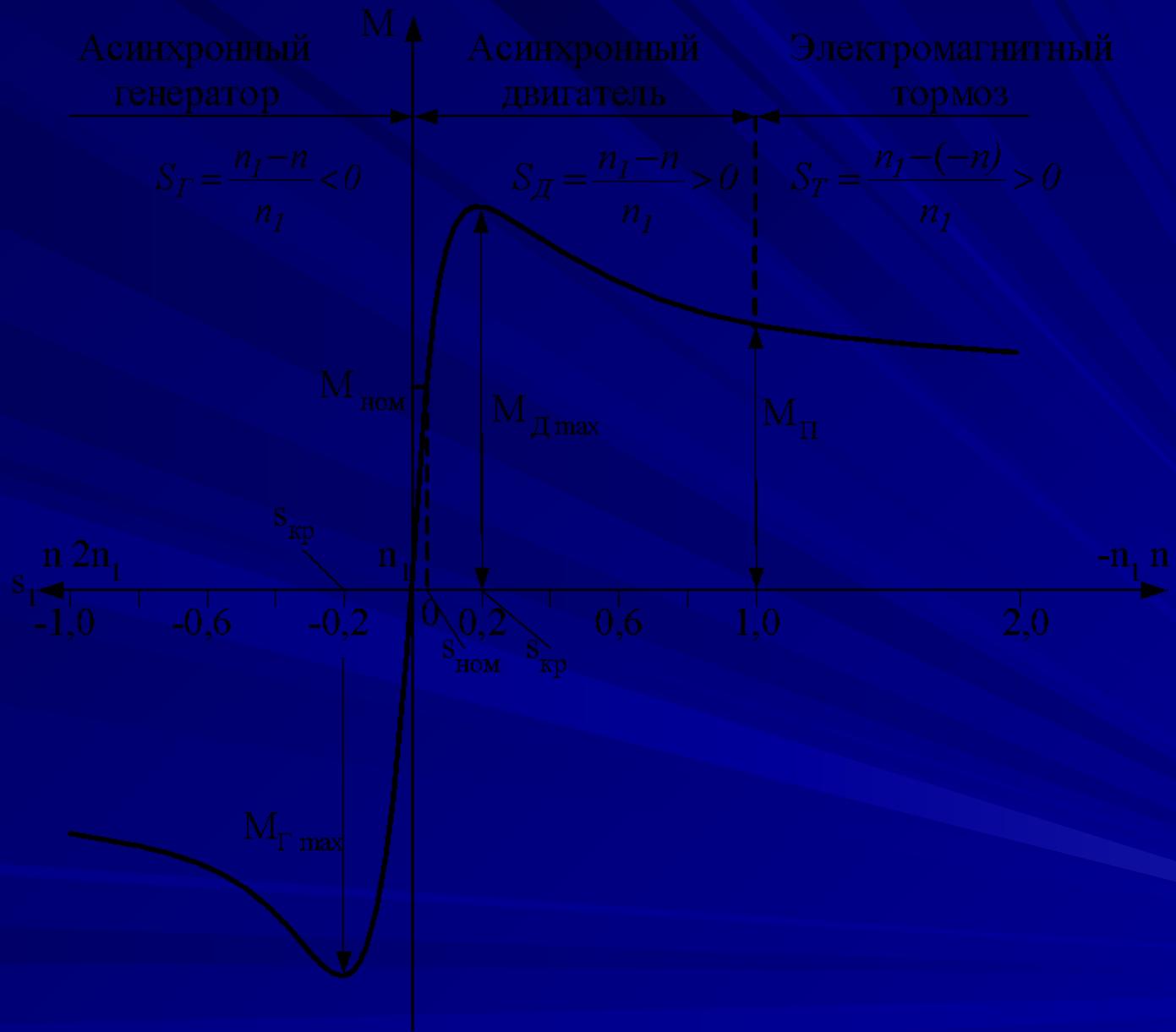


Рис. 14 - Зависимость режимов работы асинхронной машины от скольжения

# Механическая характеристика АД – зависимость скорости вращения ротора от электромагнитного момента $n_2=f(M)$

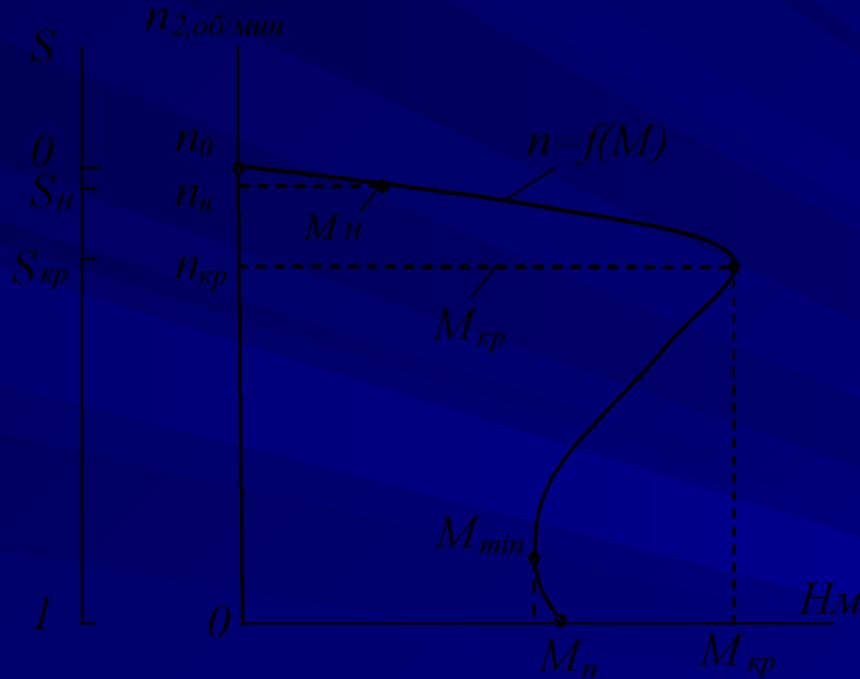


Рис. 15 – Механическая характеристика АД

1) Режим холостого хода

$$S_X=0; M_X=0$$

2) Номинальный режим

$$S_H = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad M_H = 9,55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_{2H}}$$

3) Критический режим

$$S_{кр} = S_H \cdot (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1})$$

$$M_{кр} = K_M \cdot M_H, \text{ где } K_M = \frac{M_{кр}}{M_H}$$

4) Пусковой режим

$$M_{П} = \frac{2M_{кр}}{S_{кр}/S + S/S_{кр}} \quad S_{П} = 1$$

$$M = \frac{2M_{кр}}{S_{кр}/S + S/S_{кр}} - \text{ для } S = 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$$

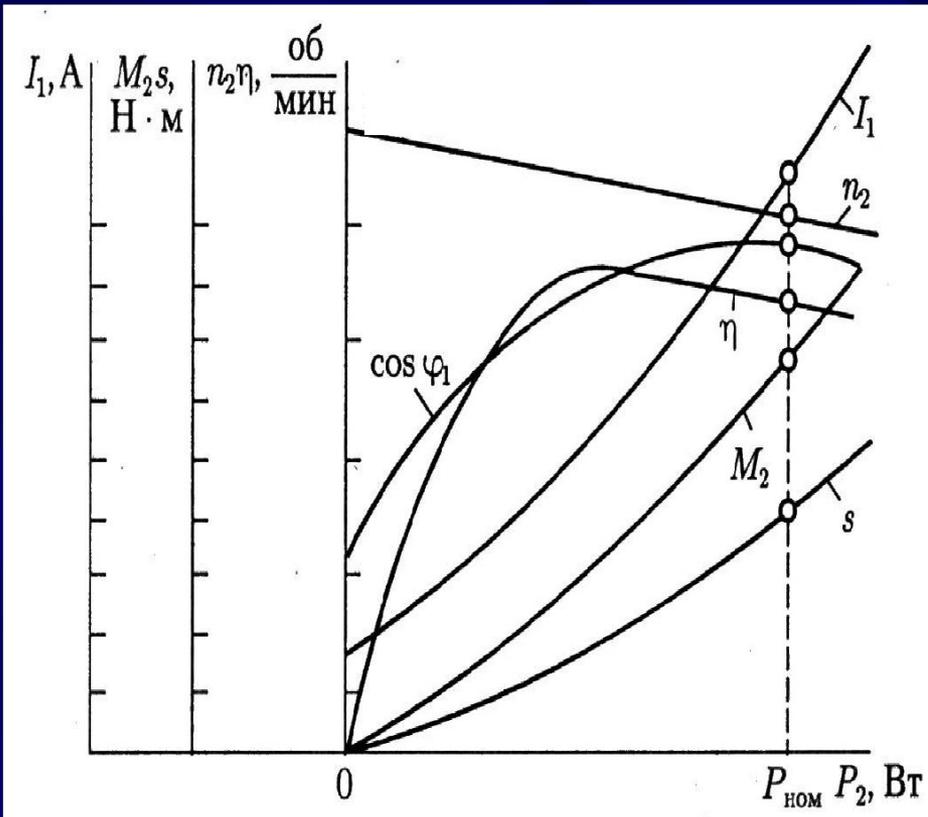


Рис. 16 - Рабочие характеристики АД

1. Скоростная характеристика —  $n_2 = f(P_2)$ , частота вращения от полезной мощности.
2. Зависимость полезного момента на валу АД от полезной мощности  $M_2 = f(P_2)$
3. Зависимость коэффициента мощности от полезной мощности  $\cos \varphi_2 = f(P_2)$
4. Ток статора от полезной мощности  $I_1 = f(P_2)$
5. КПД от мощности  $\eta = f(P_2)$
6. Скольжения от мощности  $S = f(P_2)$

Все рабочие характеристики снимаются при  $U_1 = const$  и  $f_1 = const$

**7. Энергетическая диаграмма  
асинхронного двигателя. Потери.  
Коэффициент полезного действия  
асинхронного двигателя**

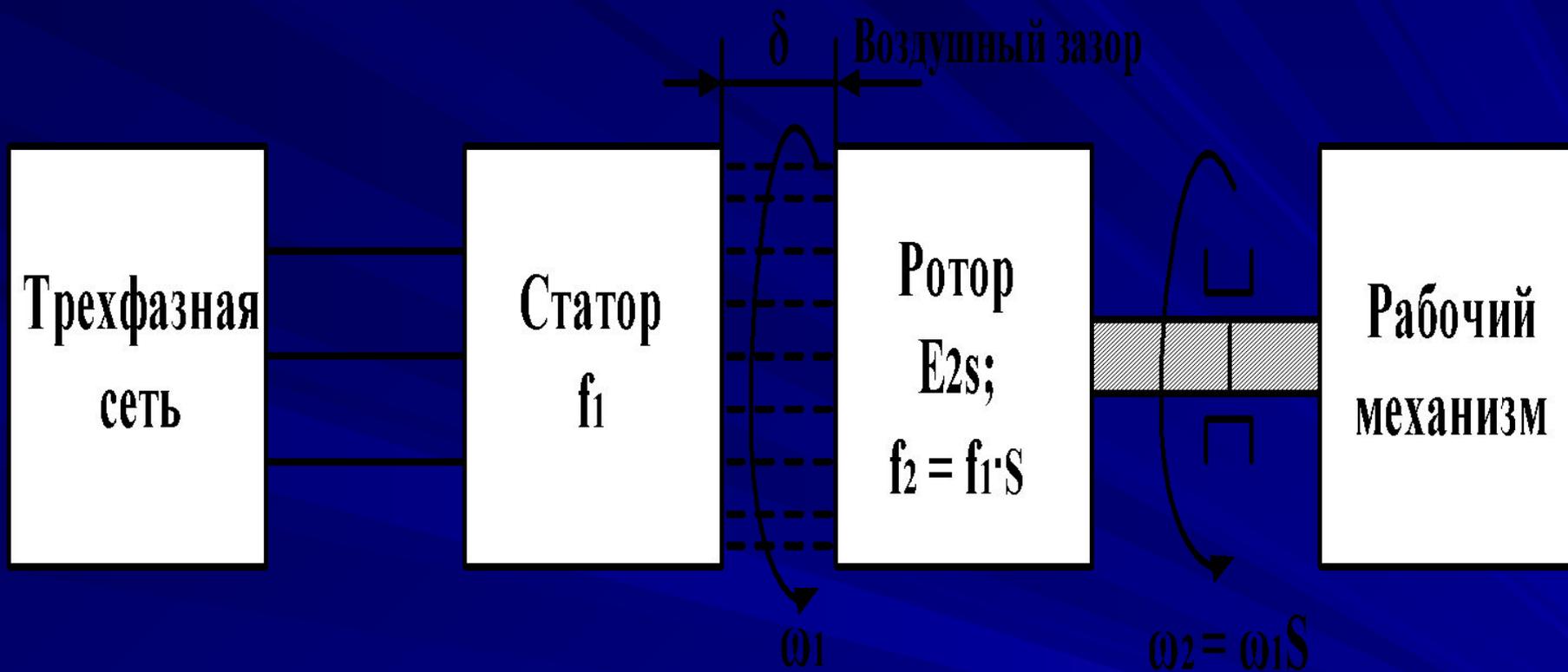


Рис.17 - Структурная схема связей между частями АД и рабочего механизма

На основании закона сохранения и преобразования энергии можно записать:

$$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = P_{\text{Э}1} + P_{M1} + P_{\text{Э}2} + P_{M2} + P_{\text{мех}} + P_2$$

где  $P_1$  - мощность, потребления машиной электрической энергии;

$P_{\text{Э}1}$  - мощность электрических потерь в обмотке статора;

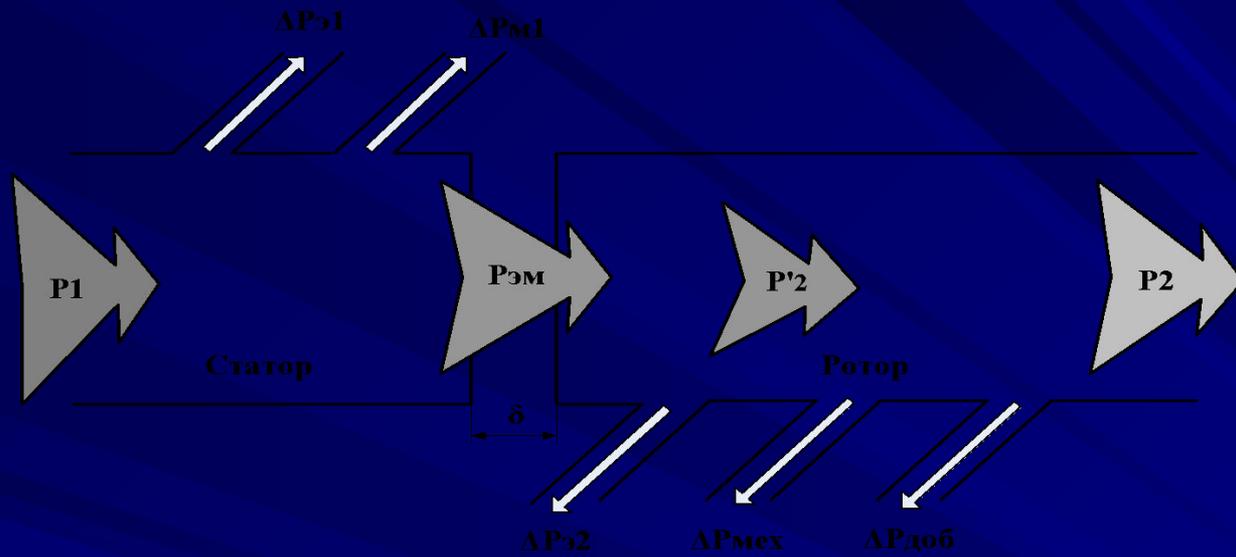
$P_{M1}$  - мощность магнитных потерь в пакете магнитопровода статора;

$P_{\text{Э}2}$  - мощность электрических потерь в обмотке ротора;

$P_{\text{МЕХ}}$  - мощность механических потерь;

$P_2$  — полезная механическая мощность двигателя;

$P_{M2}$  — мощность магнитных потерь в сердечнике ротора



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

$$P_2 = M_2 \cdot \omega_2$$

$$P_1 = P_2 + \sum P$$

$$P_2 = P_1 - \sum P$$

Рис. 18 - Энергетическая диаграмма активной мощности АД

$$P_{\text{э1}} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \quad P_{\text{э2}} = m_2 \cdot I_2^2 \cdot r_{21} = S \cdot P_{\text{эм}}$$

$$P_{\text{эм}} = M \cdot \omega_1 = P_1 - (P_{\text{э1}} + P_{\text{м1}}) \quad P'_2 = P_{\text{эм}} - P_{\text{э2}} \quad P_{\text{доб}} = 0,005 \cdot P_1$$

$$\sum P = P_{\text{м}} + P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}} \quad P_{\text{мех}} = n_2^2$$

$$\text{КПД} - \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}$$