

# Асинхронни машини

## Принцип на действие на асинхронния ДВИГАТЕЛ

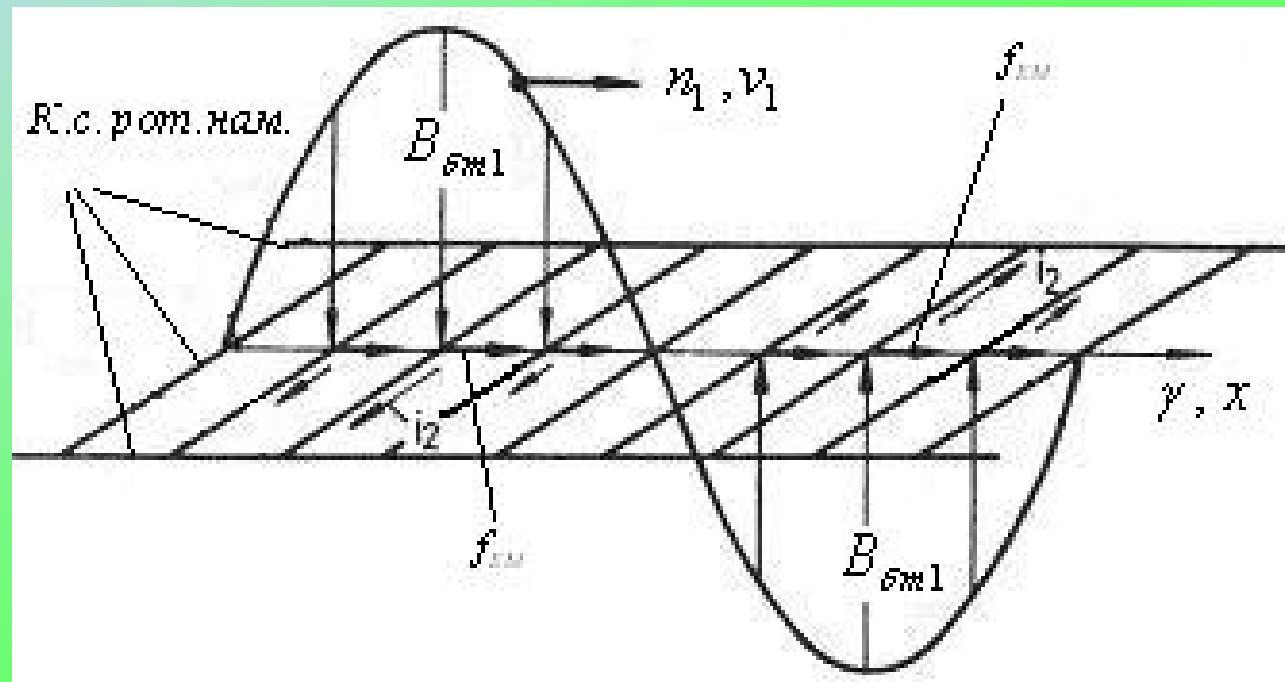
### Изходни допускания:

- 1/ Асинхронният двигател е със симетрична  $m$  - фазна статорна намотка включена на към мрежа с  $m$ -фазна симетрична система напрежения.
- 2/ Магнитното поле в машината съдържа само основния хармоник на м.д.н.
- 3/ Въздушната междина между статора и ротора е равномерна и магнитната проницаемост на магнитопроводите на статора и ротора е , т.е. пренебрегва се магнитното им съпротивление.

**В резултат, магнитната индукция във въздушната междина има синусоидално разпределение !**

# Асинхронни машини

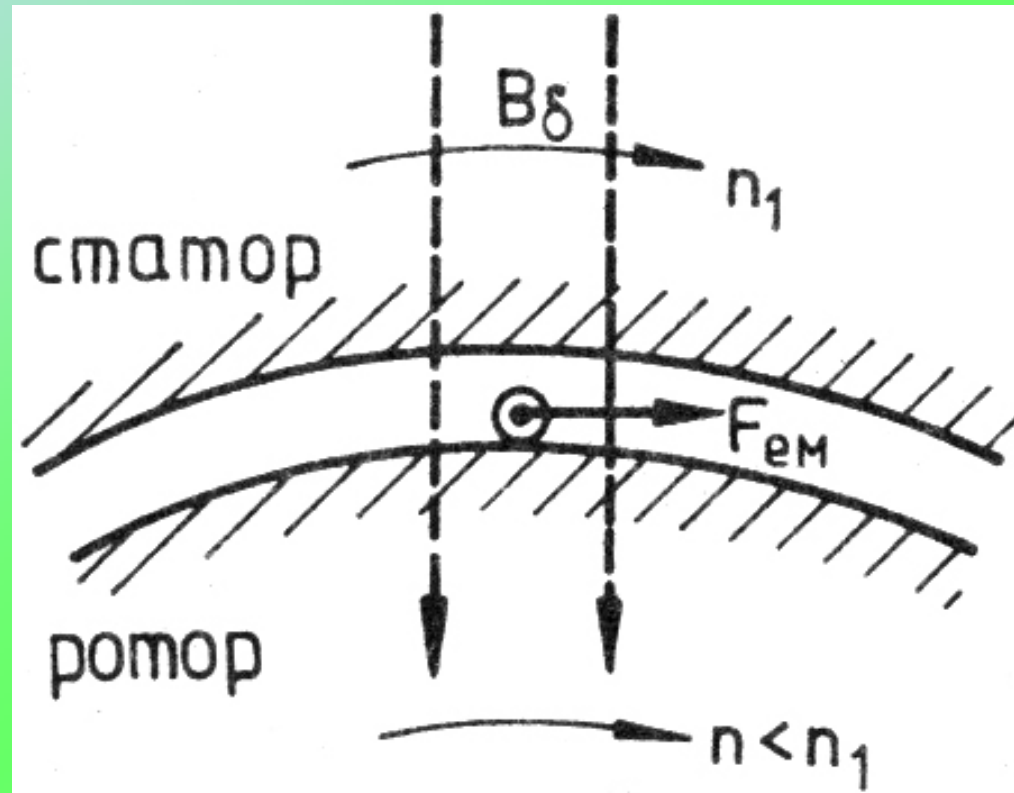
## Принцип на действие на асинхронния ДВИГАТЕЛ



**.....Силите под съседните полюси ще имат една и съща посока и тя е по посока на преместване на вълната.**

# Асинхронни машини

## Принцип на действие на асинхронния ДВИГАТЕЛ



# Асинхронни машини

## Принцип на действие на асинхронния ДВИГАТЕЛ

Принципът на действие на асинхронния двигател е подчинен на закона на Ленц:  
“Индуктираното в електрическа верига е.д.н. е винаги с такава посока, че токовете, които то поражда (магнитните полета на тези токове) винаги действат против промяната на магнитният поток, която е източник на електродвижещото напрежение.”

# Асинхронни машини

## Принцип на действие на асинхронния ДВИГАТЕЛ

### Генераторен режим

....Ако  $n > n_1$  /  $s < 0$  /, съгласно закона на Ленц, за да се постигне състояние на **неизменност** на обхванатия от роторната намотка магнитен поток, което настъпва при  $n = n_1$ , токовете и създавания от тях електромагнитен момент трябва да обърнат посоката си **спрямо тази в двигателен режим**, така че да се забави въртенето на ротора.

# Асинхронни машини

## Хлъзгане при асинхронните машини

$$n_2 = n_1 - n$$

$$n_1 = \frac{(60) f_1}{p}$$

$f_1$  – честота в статорната намотка

$p$  – брой чифтове полюси

$n_1$  – скорост на въртящото поле

$n$  – скорост на ротора

$n_2$  – относителна скорост на въртящото поле спрямо ротора

$$\text{Хлъзгане} \Rightarrow s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

# Асинхронни машини

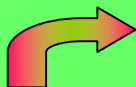
## Хлъзгане при асинхронните машини

$$\text{Хлъзгане} \Rightarrow s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

$n < n_1 \Rightarrow s > 0$  – *двигателен режим*

$n_1 = n \Rightarrow s = 0$  – режим на *идеален празен ход*

$n > n_1 \Rightarrow s < 0$  – *генераторен режим*


$$f_2 = p n_2 = p (n_1 - n) \frac{n_1}{n_1} = \frac{(n_1 - n)}{n_1} p n_1 = s f_1$$

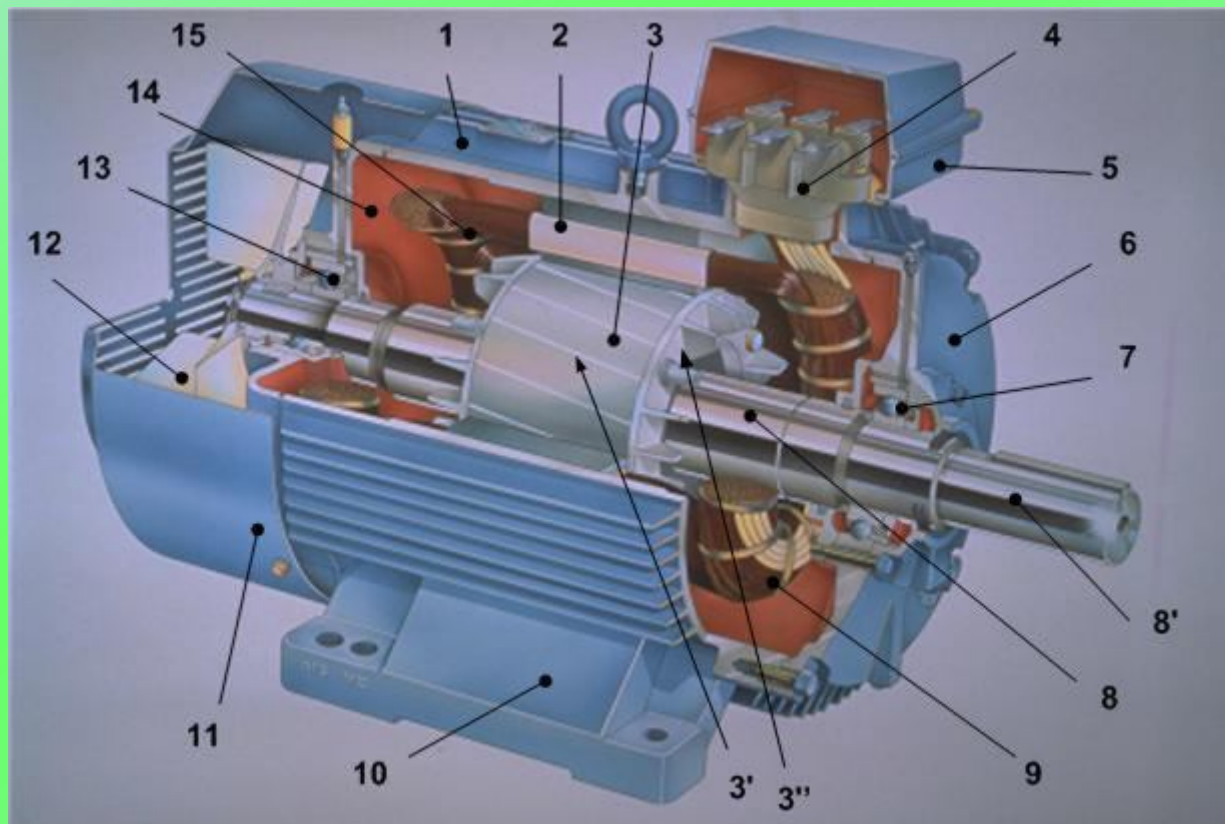
Честота в ротора



# Асинхронни машини

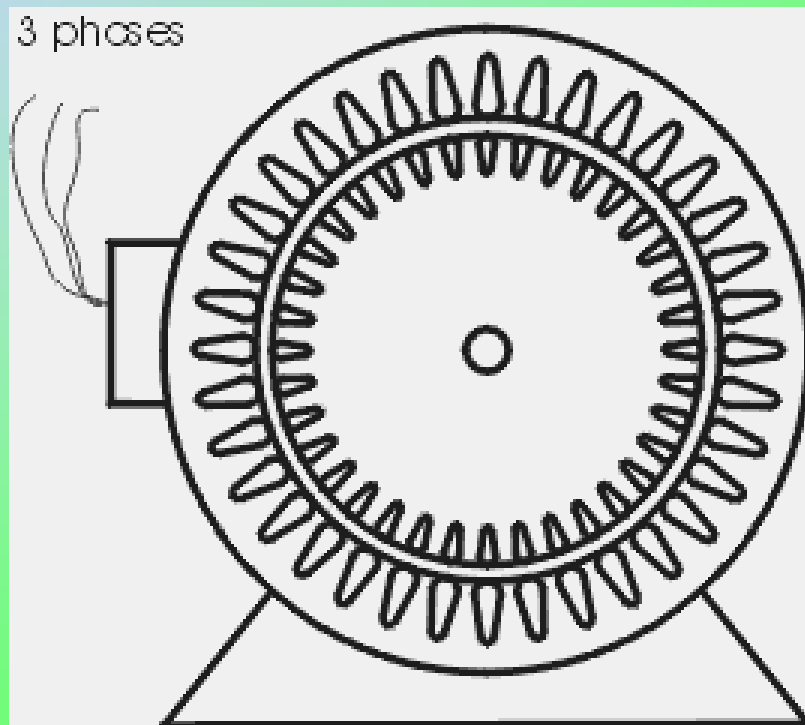
## Устройство на асинхронен двигател с накъсо съединен ротор

- 1- тяло
- 2- статорен пакет
- 3- роторен пакет, залят
- 4- клемно табло
- 5- клемна кутия
- 6- щит лагерен преден
- 7- преден лагер
- 8- вал на ротора
- 9- челни съединения на статорната намотка предни
- 10- лапи
- 11- вентлаторен кожух
- 12- външен вентилатор
- 13- заден лагер
- 14- щит лагерен заден
- 15- челни съединения на статорната намотка задни



# Асинхронни машини

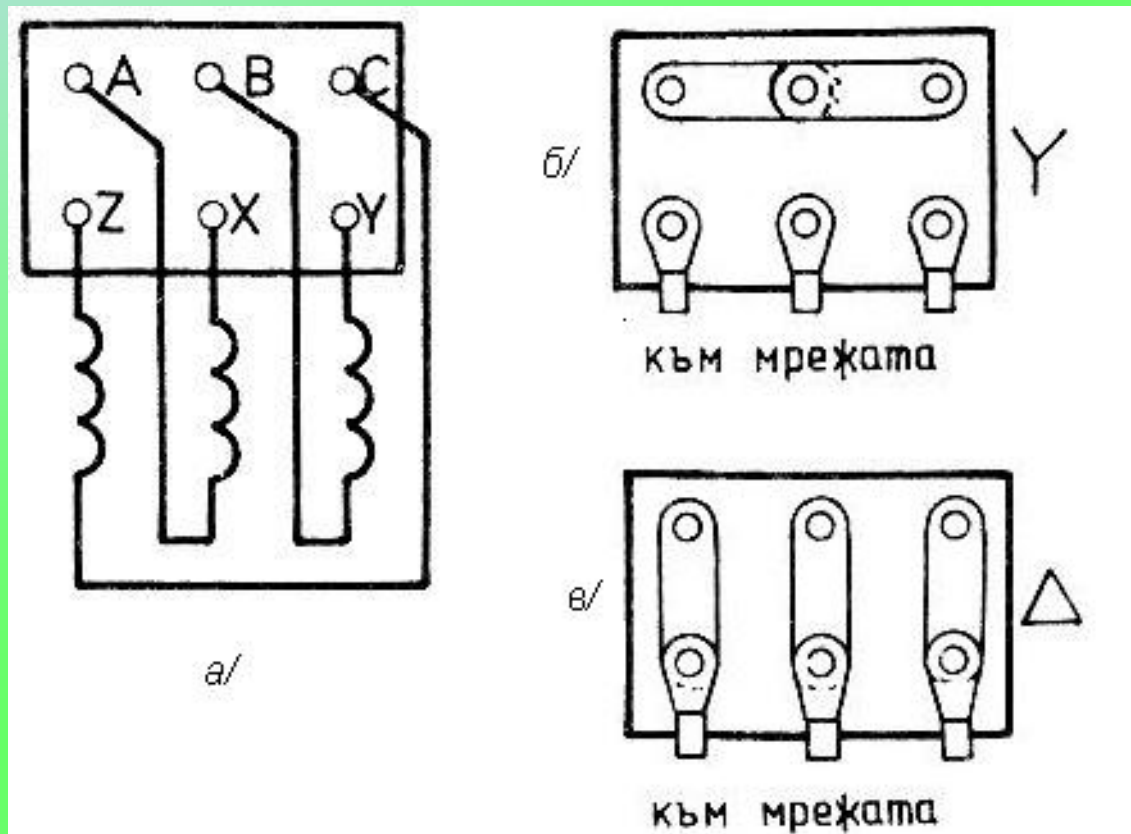
Елементи от технологичната последователност за изработване на статорни и роторни листи за АД:



1- диск с щанцовани статорни зъби и отвор на вала;  
2- статорен лист;  
3 – роторен лист.

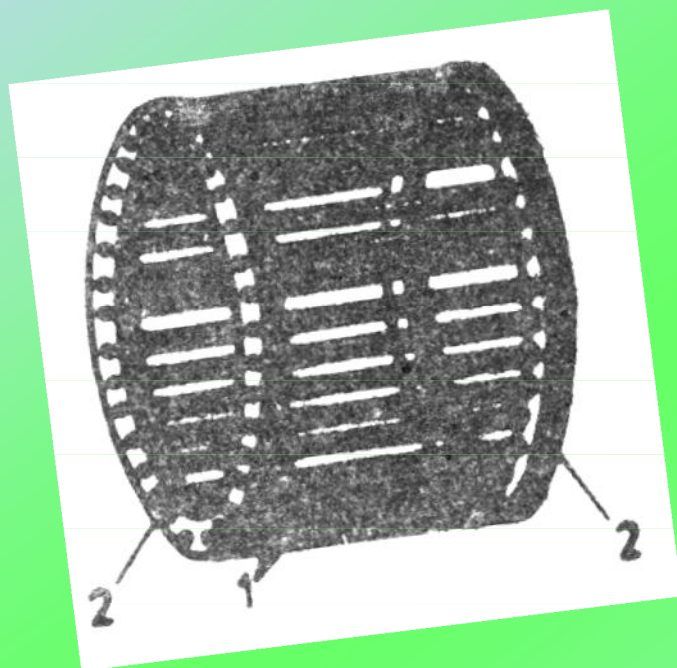
# Асинхронни машини

Клемно табло на трифазен двигател с възможност за схеми на свързване в звезда и триъгълник.

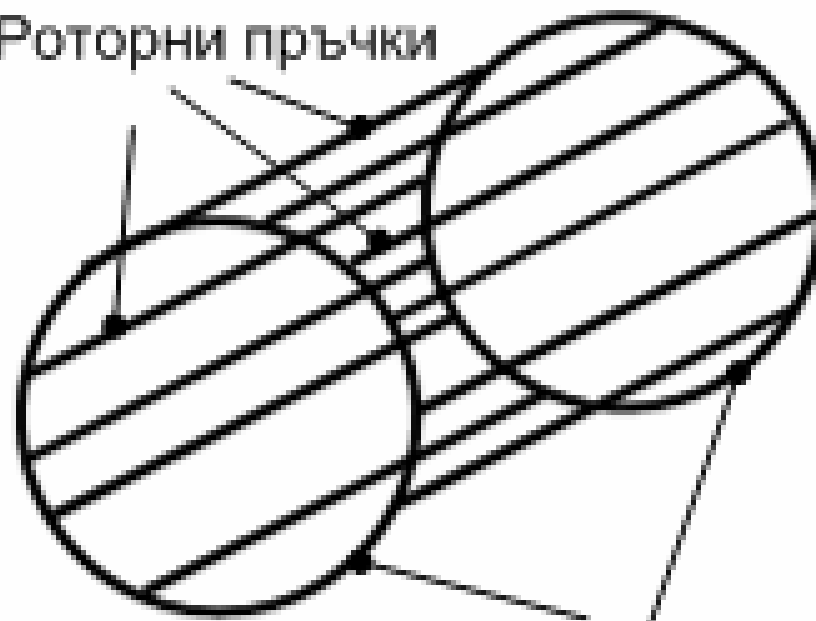


# Асинхронни машини

Конструкция на накъсосъединена /кафезна/ роторна намотка



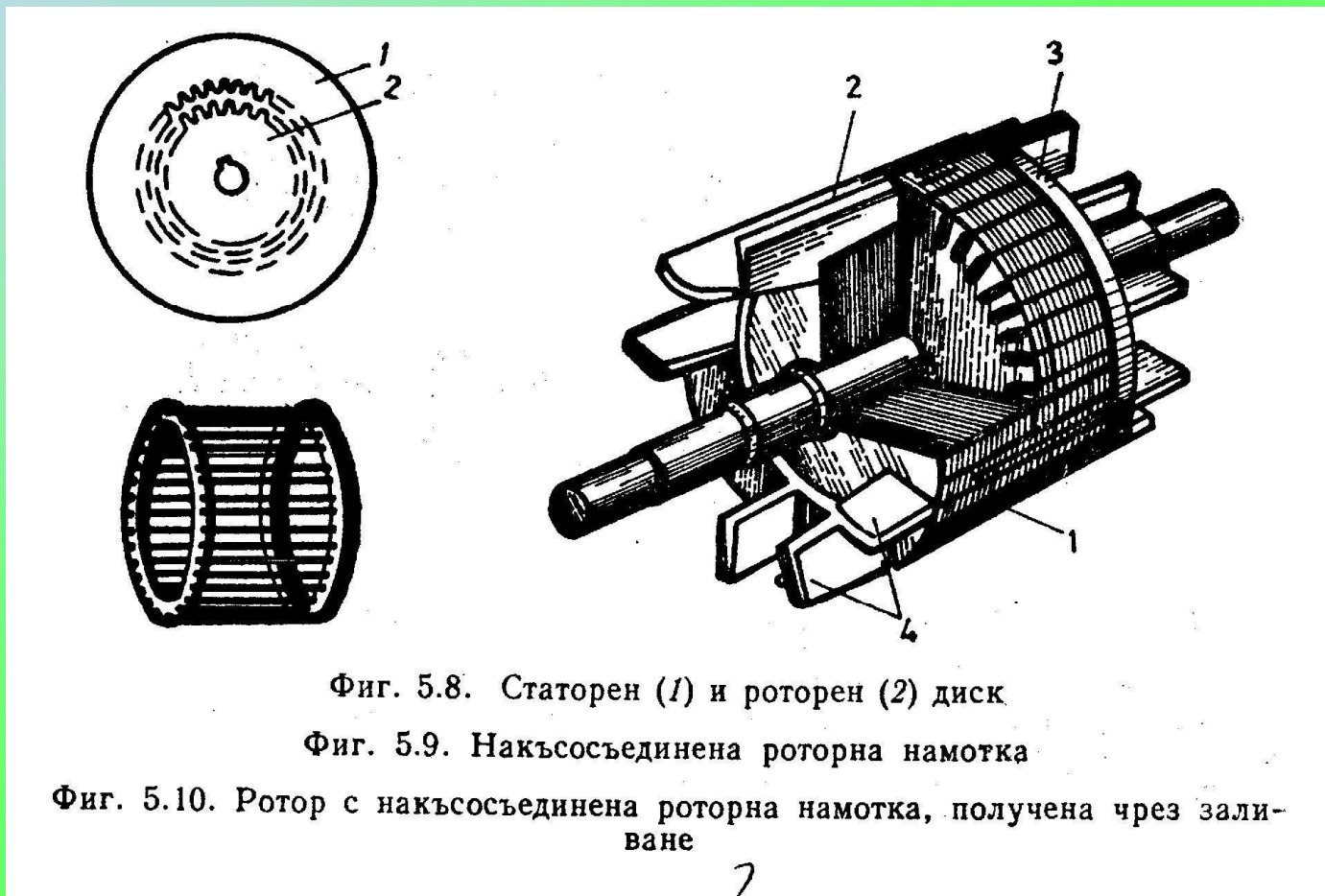
Роторни пръчки



Пръстени  
свързващи на  
късо

# Асинхронни машини

## Ротор на АМ с накъсо съединена роторна намотка



Фиг. 5.8. Статорен (1) и роторен (2) диск

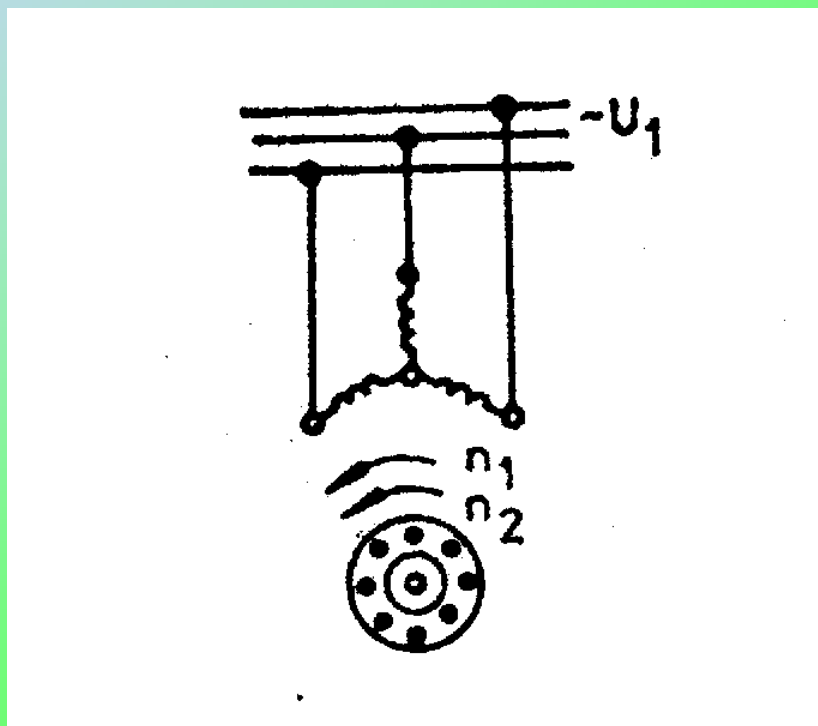
Фиг. 5.9. Накъсосъединена роторна намотка

Фиг. 5.10. Ротор с накъсосъединена роторна намотка, получена чрез заливане

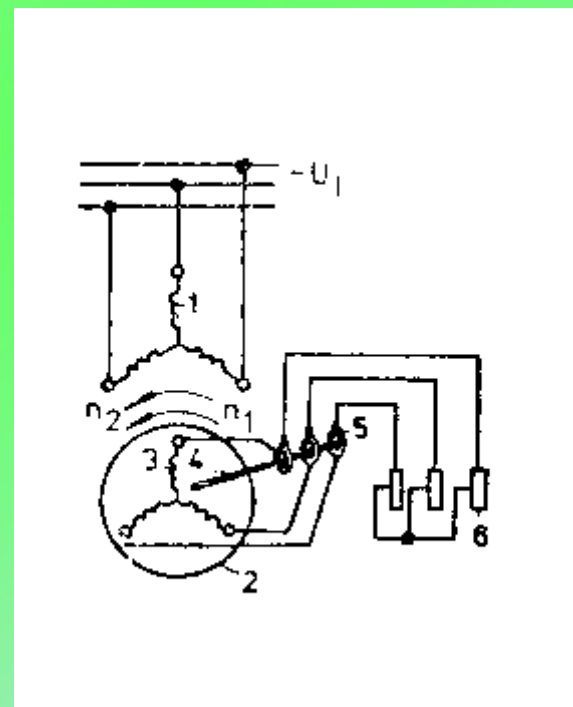
# Асинхронни машини

## Основни видове асинхронни машини

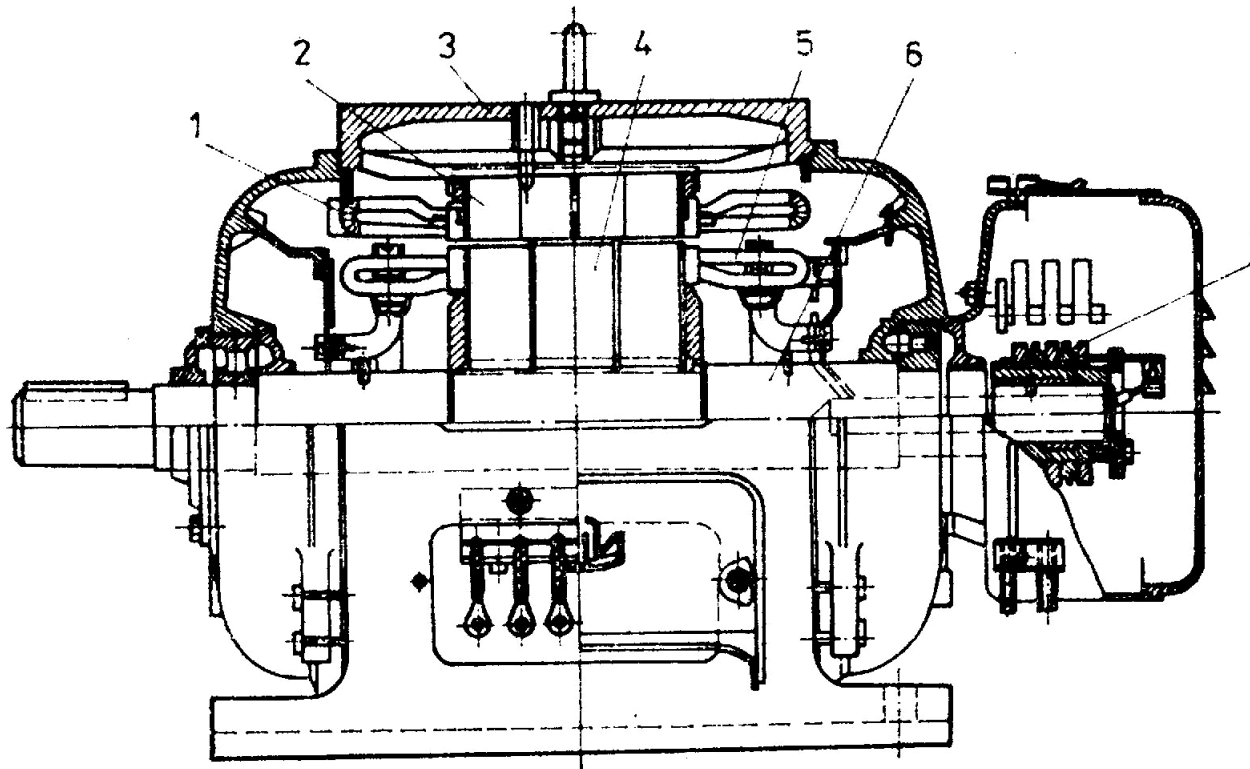
Асинхронна машина с к.с.  
ротор



Асинхронна машина с фазов  
ротор



# Асинхронни машини

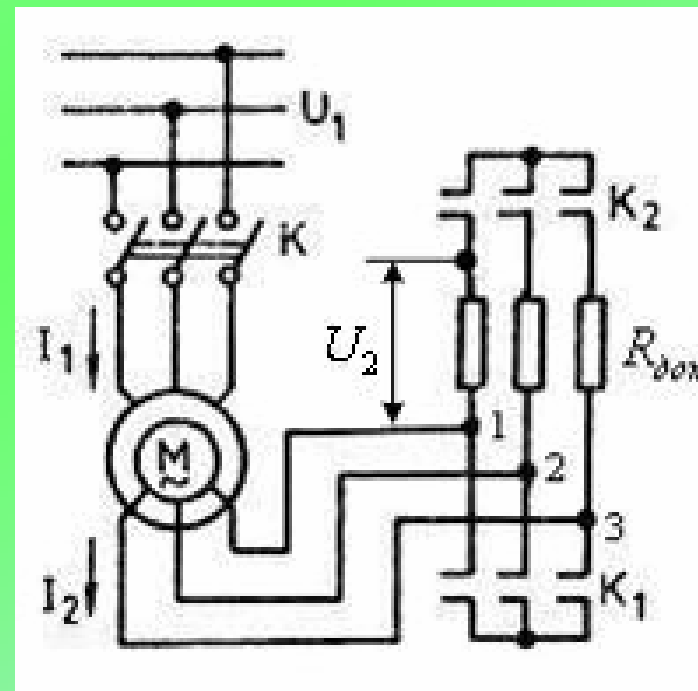
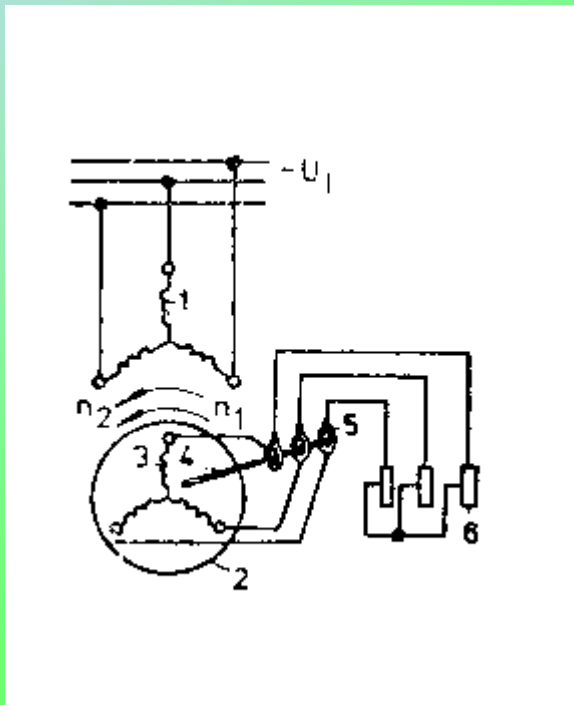


Фиг. 5.13. Надлъжен разрез на асинхронен двигател с фазен ротор  
1 — статорна намотка; 2 — пакет на статора; 3 — тяло; 4 — роторен пакет; 5 — роторна намотка; 6 — вал; 7 — контактни пръстени

# Асинхронни машини

Уравнения на асинхронния двигател при неподвижен ротор

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$





# Асинхронни машини

## Прилики между трансформатора и АД

- Налице са две намотки, първична и вторична.
- Налице е магнитопровод, който служи за насочване на магнитния поток през двете намотки.
- Магнитният поток на взаимна индукция обхванат едновременно от първичната и вторичната намотка се променя.

# Асинхронни машини

## Отлики между трансформатора и АД

- Промяната на потока на взаимна индукция при АД се получава поради пространственото му преместване /въртене/, докато при трансформатора той е пулсиращ във времето
- При АД в магнитната верига има включена чувствително по-голяма въздушна междина  $I_{MrAD} > I_{MrT}$ .
- Намотките на АД в общия случай са със скъсена, диаметрална или удължена стъпка и концентрирани или разпределени, докато при трансформатора намотките са САМО концентрирани.
- Намотките на АД са разположени в канали в магнитопроводите и са в по-голяма близост с феромагнитната среда на магнитопровода в сравнение с трансформатора.
- При АД броят на роторните фази може да бъде различен или равен на броя на статорните фази, докато при трансформатора, по принцип броят на фазите на първичната и вторичната страна е еднакъв.

# Асинхронни машини

Уравнения на асинхронния двигател при неподвижен ротор

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

$$E_1 = \pi\sqrt{2}f_1w_1k_{w1}\Phi$$

$$E_2 = \pi\sqrt{2}f_2w_2k_{w2}\Phi = \pi\sqrt{2}(sf_1)w_2k_{w2}\Phi = \pi\sqrt{2}\underline{\underline{f_1}}w_2k_{w2}\Phi$$

*Асинхронна машина*

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{w1}}{w_2 k_{w2}}$$

*Трансформатор*

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

# Асинхронни машини

## Уравнения на асинхронния двигател при неподвижен ротор

Асинхронна машина

$$n=0 \Rightarrow s=1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

Трансформатор

$$\dot{I}_M = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_1 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{w1}}{p} \dot{I}_1$$

$$\dot{I}_2 = \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_2 k_{w2}}{p} \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_M = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{w1}}{p} \dot{I}_M$$

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{w1}}{m_2 w_2 k_{w2}}$$

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_1 w_1$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_2 w_2$$

$$\dot{I}_M = \dot{I}_M w_1$$

$$\dot{I}_M = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 / k_i \rightarrow \dot{I}_1 = \dot{I}_M + \left( -\frac{\dot{I}_2}{k_i} \right)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_M + \left( -\frac{\dot{I}_2}{k} \right)$$

# Асинхронни машини

Уравнения на асинхронния двигател при неподвижен ротор

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = \underline{\underline{f_1}}$$

$$E_{\sigma 1} = -jI_1 x_1 = -jI_1 \omega_1 L_1 = -jI_1 (2\pi f_1) L_1$$

$$E_{\sigma 2} = -jI_2 x_2 = -jI_2 (2\pi f_2) L_2 = -jI_2 (2\pi sf_1) L_2 = -jI_2 (2\pi \underline{\underline{f_1}}) L_2$$

$$x_1 = 2\pi f_1 L_1$$

$$x_2 = 2\pi \underline{\underline{f_1}} L_2$$

# Асинхронни машини

Уравнения на асинхронния двигател при неподвижен ротор

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

*Асинхронна машина*

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_1$$

$$I_1 = I_M + (-I_2 / k_i)$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2 - j I_2 x_2$$

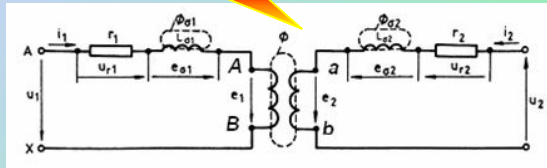
*Трансформатор*

$$U_1 = -E_1 + I_{11} r_1 + j I_{11} x_{\sigma 1}$$

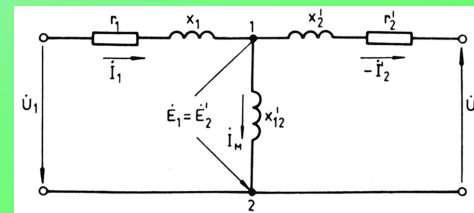
$$I_1 = I_M + \left( -I_2 / k \right)$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2 - j I_2 x_{\sigma 2}$$

Спомени..... условия за привеждане на вторичната намотка на трансформатора



$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad \text{!!!!}$$



$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

Да си припомним, че целта е:

$$e'_2 = e_1 \text{ или } \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1$$

# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

Асинхронна машина

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

$$E_1 = \pi\sqrt{2}f_1w_1k_{w1}\Phi$$

$$E_2 = \pi\sqrt{2}f_2w_2k_{w2}\Phi = \pi\sqrt{2}(sf_1)w_2k_{w2}\Phi = \pi\sqrt{2}\underline{f_1}w_2k_{w2}\Phi$$

Трансформатор

$$E'_2 = E_1 = k_e E_2 \quad U'_2 = k_e U_2$$

$$E'_2 = E_1 = k E_2$$

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{w1}}{w_2 k_{w2}}$$

$$w'_2 = w_1$$

$$w'_2 = w_1 = k w_2$$

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

При АМ се приема още, че:

$$k_{w2}' = k_{w1} \quad m_2' = m_1 !$$



# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

.....следователно, то / ПРИВЕЖДАНЕТО / трябва да се направи така, че приведената и изходната намотки трябва:

- а/ да създават еднакви магнитни полета*
- б/ да имат еднакви мощности*
- в/ да имат еднакви електрически загуби*
- г/ да имат еднакви фазови съотношения*

# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

*а/ да създават еднакви магнитни полета*

$$F_2' = F_2$$

*Асинхронна машина*

$$\frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{w1}}{p} I_2' = \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_2 k_{w2}}{p} I_2 \rightarrow$$
$$\rightarrow I_2' = \frac{I_2}{\left( \frac{m_1 w_1 k_{w1}}{m_2 w_2 k_{w2}} \right)} = \frac{I_2}{k_i}$$

*Трансформатор*

$$I_2' = \frac{I_2}{w_1 / w_2} = \frac{I_2}{k}$$

# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

*б/ да имат еднакви мощности*

*Асинхронна машина*

$$S_2' = S_2$$

*Трансформатор*

$$\begin{aligned} m_2' U_2' I_2' &= m_1 k_e U_2 \frac{I_2}{k_i} = \\ &= m_1 \frac{w_1 k_{w1}}{w_2 k_{w2}} U_2 I_2 \frac{m_2 w_2 k_{w2}}{m_1 w_1 k_{w1}} \equiv m_2 U_2 I_2 \end{aligned}$$

$$U_2' I_2' = k U_2 \frac{I_2}{k} = U_2 I_2$$

# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

в/ да имат еднакви електрически загуби

Асинхронна машина

$$P_{ел2}' = P_{ел2}$$

$$m_2' r_2' I_2'^2 = m_1 r_2' I_2'^2 = m_2 r_2 I_2^2$$

Трансформатор

$$r_2' = \frac{I_2^2}{I_2'^2} r_2 = k^2 r_2$$

$$r_2' = r_2 \frac{m_2}{m_1} \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 =$$

$$= r_2 \frac{\frac{m_2}{m_1} \frac{m_1 w_1 k_{w1}}{m_2 w_2 k_{w2}}}{\frac{m_1}{m_2} \frac{m_2 w_2 k_{w2}}{m_1 w_1 k_{w1}}} = r_2 k_e k_i$$

$$R_{дон}' = k_e k_i R_{дон}$$

# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

*г/ да имат еднакви фазови съотношения*

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{x'_{\sigma 2}}{r'_2} = \frac{x_{\sigma 2}}{r_2}$$

*Асинхронна машина*

$$x_2' = \frac{r_2'}{r_2} x_2 = k_e k_i x_2$$

$$Z_2' = k_e k_i Z_2$$

*Трансформатор*

$$x'_{\sigma 2} = \frac{r_2'}{r_2} x_{\sigma 2} = k^2 x_{\sigma 2}$$

# Асинхронни машини

Привеждане на роторната намотка към статорната

$$n = 0 \Rightarrow s = 1 \Rightarrow f_2 = sf_1 = f_1$$

АМ с фазов ротор

$$U_2 \neq 0$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_1$$

$$I_1 = I_M + (-I_2)$$

$$U_2' = E_2' - I_2' r_2 - j I_2' x_2$$

АМ с К.С. ротор

$$U_2 = 0$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_1$$

$$I_1 = I_M + (-I_2)$$

$$E_2' = I_2' r_2 + j I_2' x_2$$

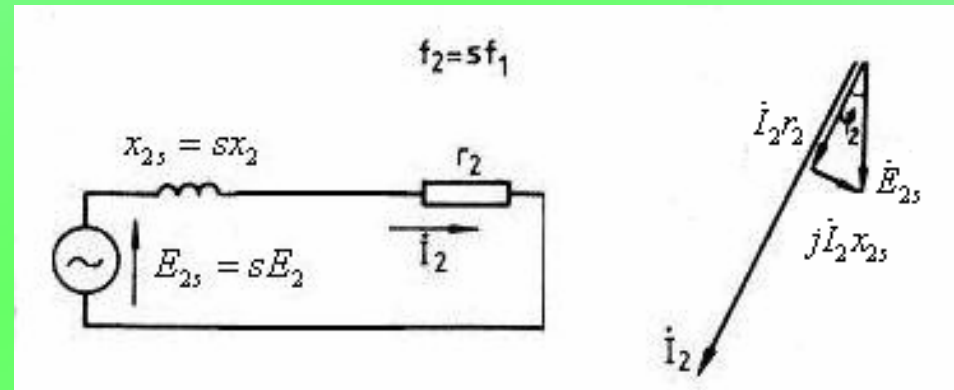
# Асинхронни машини

Привеждане на работния процес на асинхронния двигател при въртящ се ротор, към този при неподвижен ротор

$$s \neq 1 \Leftrightarrow f_2 = sf_1 \neq f_1 !$$

$$U_2 = 0$$

$$E_{2s} = I_2 r_2 + j I_2 x_{2s}$$



$$x_{2s} = \omega_2 L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi (sf_1) L_2 = s 2\pi f_1 L_2 = s x_{2(f_2=f_1)}$$

$$E_{2s} = \pi \sqrt{2} f_2 w_2 k_{w2} \Phi = \pi \sqrt{2} (sf_1) w_2 k_{w2} \Phi = s \left( \pi \sqrt{2} f_1 w_2 k_{w2} \Phi \right) = s E_{2(f_2=f_1)}$$

# Асинхронни машини

Привеждане на работния процес на асинхронния двигател при въртящ се ротор, към този при неподвижен ротор

$$s \neq 1 \Leftrightarrow f_2 = sf_1 \neq f_1 !$$

$$\underline{E}_{2s} = \underline{I}_2 r_2 + j \underline{I}_2 x_{2s}$$

$$s \underline{E}_{2(f_2=f_1)} = \underline{I}_2 r_2 + j \underline{I}_2 s x_{2(f_2=f_1)} : s (\neq 0)$$

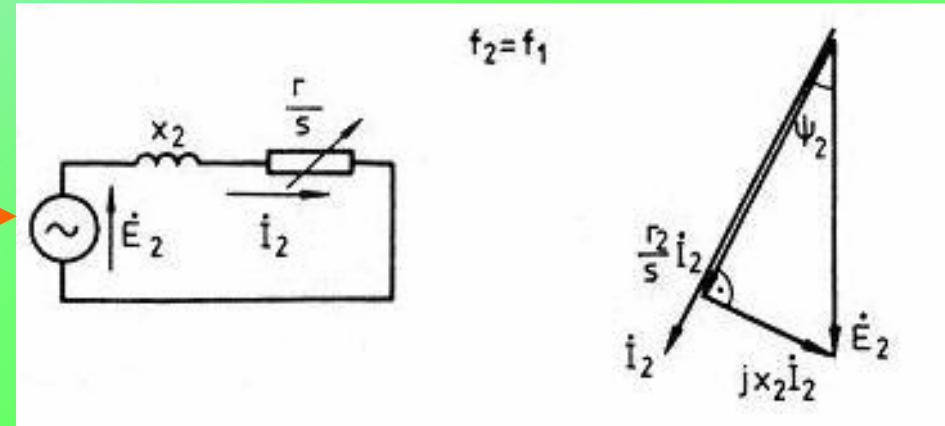
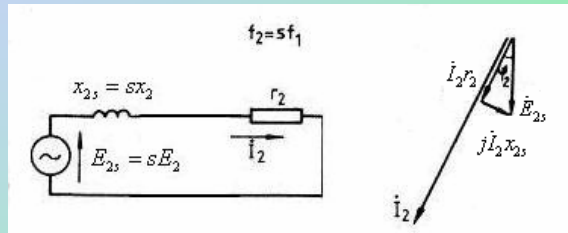
$$\underline{E}_{2(f_2=f_1)} = \underline{I}_2 \frac{r_2}{s} + j \underline{I}_2 x_{2(f_2=f_1)}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{E_{2(f_2=f_1)}}{\frac{r_2}{s} + j x_{2(f_2=f_1)}} \rightarrow f_{I_2} = f_1$$



# Асинхронни машини

Привеждане на работния процес на асинхронния двигател при въртящ се ротор, към този при неподвижен ротор



$$\psi_2 = \arctg \frac{x_2}{r_2 / s} \equiv \arctg \frac{sx_2}{r_2}$$

При въртящ се ротор

$$r_2$$



При неподвижен ротор

$$r_2 / s$$

# Асинхронни машини

Привеждане на работния процес на асинхронния двигател при въртящ се ротор, към този при неподвижен ротор

$$r_{\text{Д}} = \frac{r_2}{s} - r_2 = \frac{1-s}{s} r_2$$

$$p_{\text{ел}2} = m_2 I_2^2 r_2$$

$$p' = m_2 I_2^2 \frac{r_2}{s}$$

$$s_n = 0.02$$

$$r_{\text{Д}} = 49 r_2$$

$$p' = 49 p_{\text{ел}2}$$

$S$

“отразява въртенето” на ротора при даден товар

$$P_{\text{мех}} = p' - p_{\text{ел}2} = m_2 I_2^2 \left( \frac{r_2}{s} - r_2 \right) = m_2 I_2^2 r_{\text{Д}}$$

# Асинхронни машини

Привеждане на работния процес на асинхронния двигател при въртящ се ротор, към този при неподвижен ротор

$$P_{\text{мех}} = p' - p_{\text{ел}2} = m_2 I_2^2 \left( \frac{r_2}{s} - r_2 \right) = m_2 I_2^2 \cdot d$$

$$I_2 = \frac{E_{2(f_2=f_1)}}{\frac{r_2}{s} + jx_{2(f_2=f_1)}}$$

$$s > 1 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{мех}} = ?$$

$$s = 1 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{мех}} = ?$$

$$0 < s < 1 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{мех}} = ?$$

$$s = 0 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{мех}} = ?$$

$$s < 0 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{мех}} = ?$$

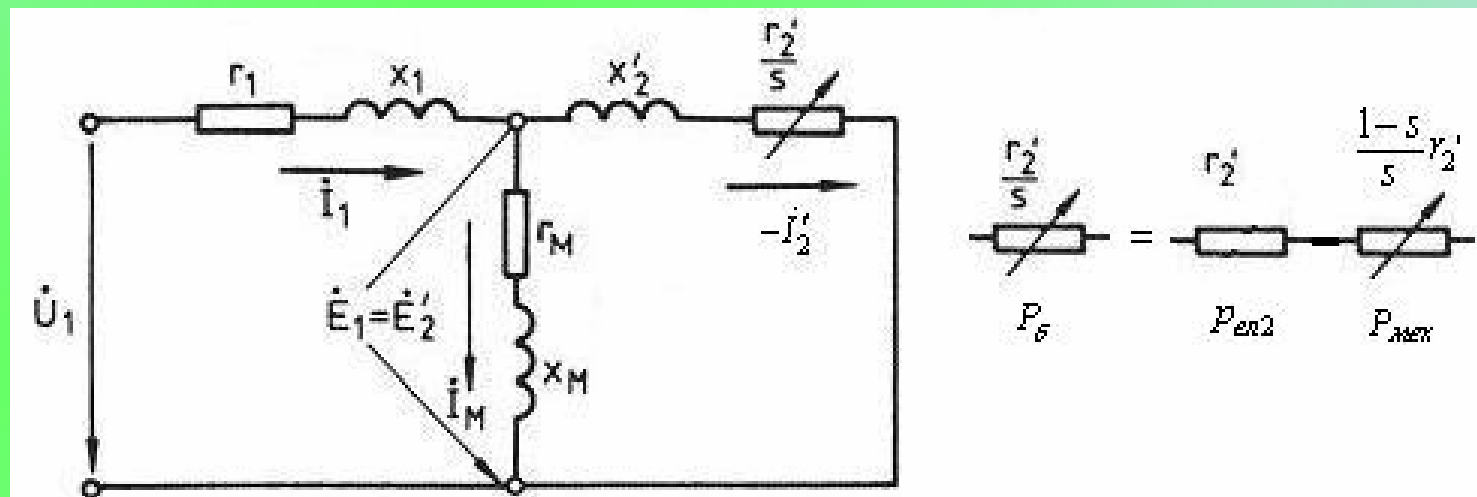
# Асинхронни машини

Система уравнения и заместваща схема на АСИНХРОННА  
МАШИНА с късо съединен ротор -  $U_2 = 0$

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_M + (-\dot{I}_2')$$

$$\dot{E}_2' = \dot{I}_2' \frac{r_2'}{s} + j\dot{I}_2' x_2'$$



# Асинхронни машини

Система уравнения и заместваща схема на АСИНХРОННА  
МАШИНА с фазов ротор -  $U_2 \neq 0$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_1$$

$$I_1 = I_M + (-I_2)$$

$$U_2' = E_2' - I_2' r_2' / s - j I_2' x_2'$$

$$s = 1$$

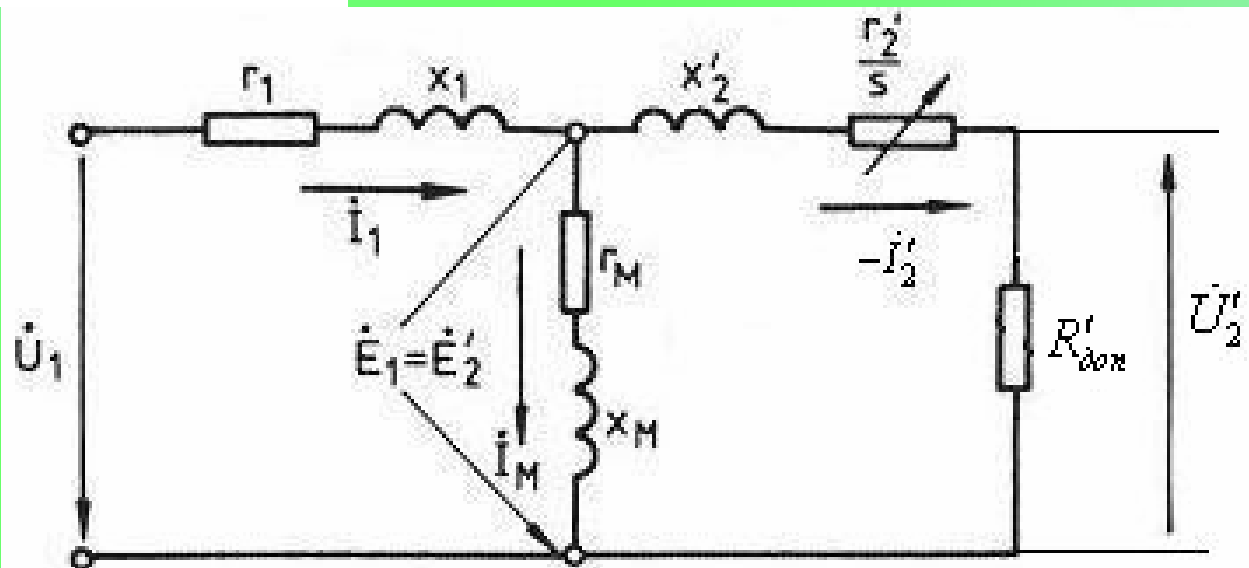


$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_1$$

$$I_1 = I_M + (-I_2')$$

$$U_2' = E_2' - I_2' r_2' - j I_2' x_2'$$

*Трансформатор*



# Асинхронни машини

Векторна диаграма на АСИНХРОННА МАШИНА с късо съединен ротор в ДВИГАТЕЛЕН режим

$$U_2 = 0 \quad 0 < s < 1$$

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 r_1 + j \underline{I}_1 x_1$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_M + (-\underline{I}'_2)$$

$$\underline{E}'_2 = \underline{I}'_2 \frac{r'_2}{s} + j \underline{I}'_2 x'_2$$

$$P_{\text{мех}} : P_{\delta} = m'_2 E'_2 I'_2 \cos \Psi_2$$

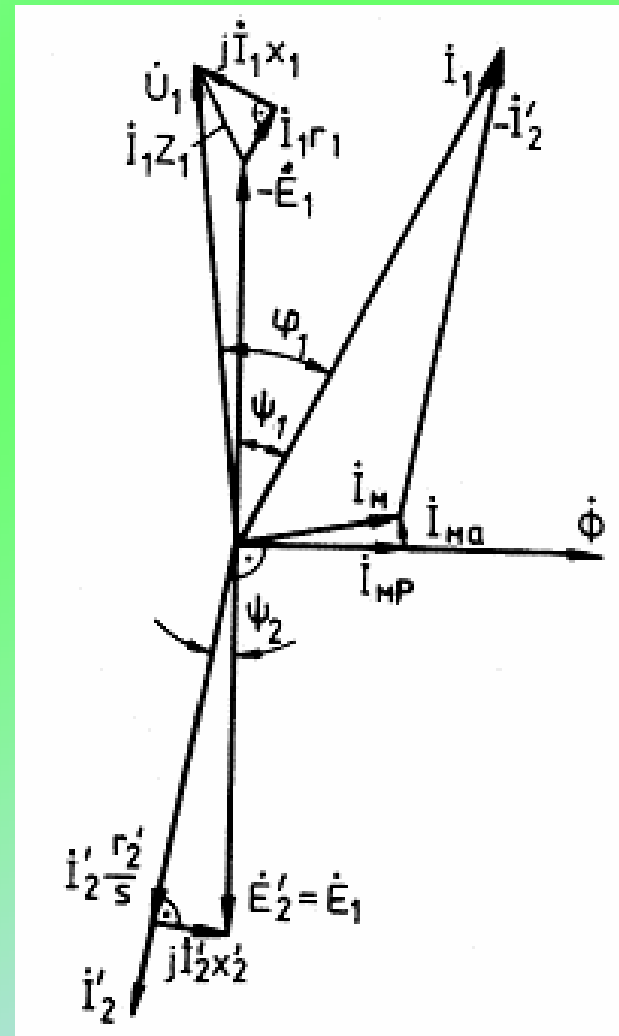
$$\Psi_2 < \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \Psi_2 > 0$$

$$P_{\text{мех}} > 0$$

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

$$\varphi_1 < \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \varphi_1 > 0$$

$$P_{\text{ел}} = P_1 > 0$$



# Асинхронни машини

Векторна диаграма на АСИНХРОННА МАШИНА с късо съединен ротор в ГЕНЕРАТОРЕН режим

$$U_2 = 0$$

$$s < 0$$

$$E_2' = I_2' \frac{r_2'}{s} + jI_2' x_2'$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + jI_1 x_1$$

$$I_1 = I_M + (-I_2')$$

$$E_2' = -I_2' \frac{r_2'}{|s|} + jI_2' x_2'$$

$$E_2' = -I_2' \frac{r_2'}{|s|} + jI_2' x_2'$$

$$P_{\text{мех}} : P_{\delta} = m_2' E_2' I_2' \cos \Psi_2$$

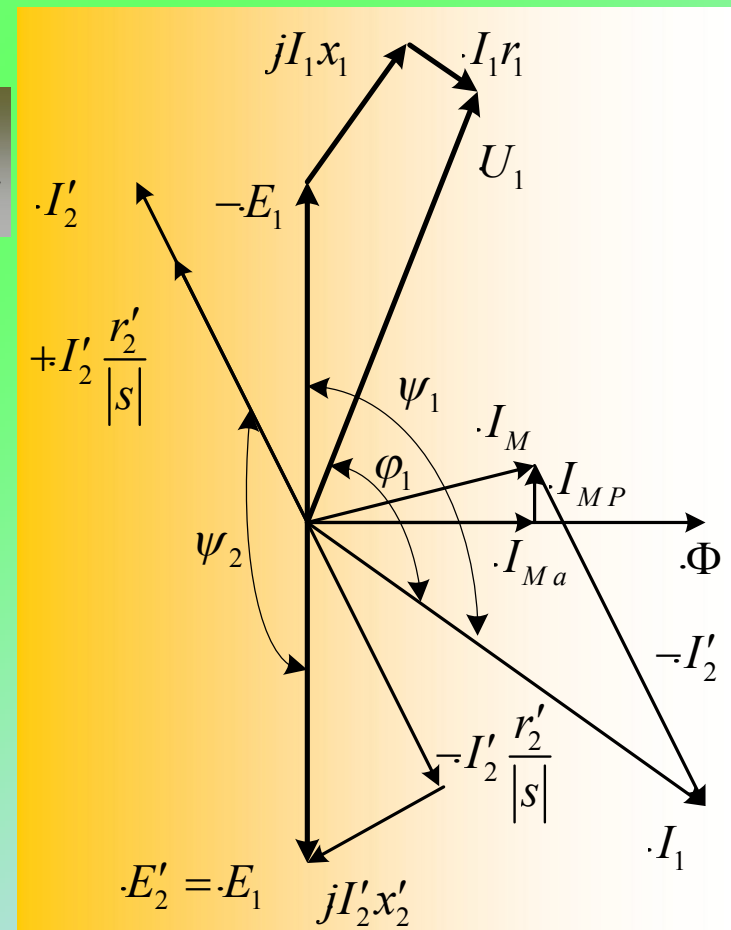
$$\Psi_2 > \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \Psi_2 < 0$$

$$P_{\text{мех}} < 0$$

$$P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$\varphi_1 > \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \varphi_1 < 0$$

$$P_{\text{ел}} = P_2 < 0$$



# Асинхронни машини

## Работа на АСИНХРОННА МАШИНА с късо съединен ротор в ГЕНЕРАТОРЕН режим

### *Предимства на АМ като генератор:*

- 1. Всички известни конструкционни и технологични предимства на асинхронните машини посочени в началото на настоящия раздел.*
- 2. Безпроблемно преминаване от двигателен в генераторен режим /и обратно/ на асинхронната машина.*
- 3. Посоченото в т.2 качество определя и простия технологичен процес на влизане в синхронизъм на асинхронния генератор /АГ/, за разлика от процеса на влизане в синхронизам на синхронния генератор*
- 4. Асинхронния генератор практически не може да отпадне от синхронизъм за разлика от синхронния генератор.*



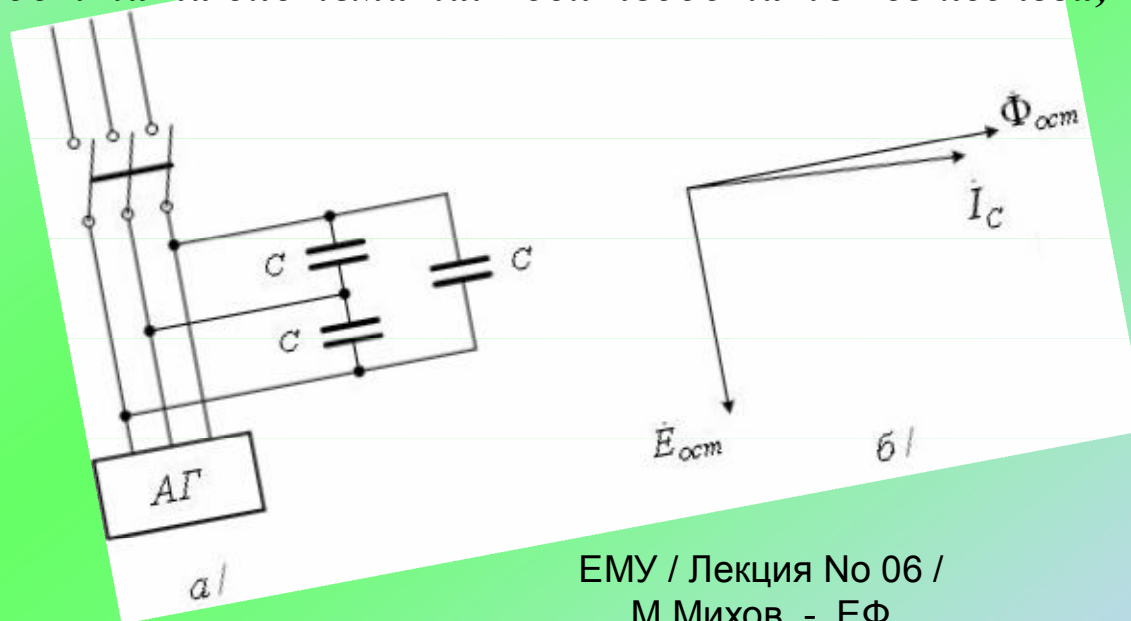
# Асинхронни машини

## Работа на АСИНХРОННА МАШИНА с късо съединен ротор в ГЕНЕРАТОРЕН режим

### **Недостатъци на АМ като генератор:**

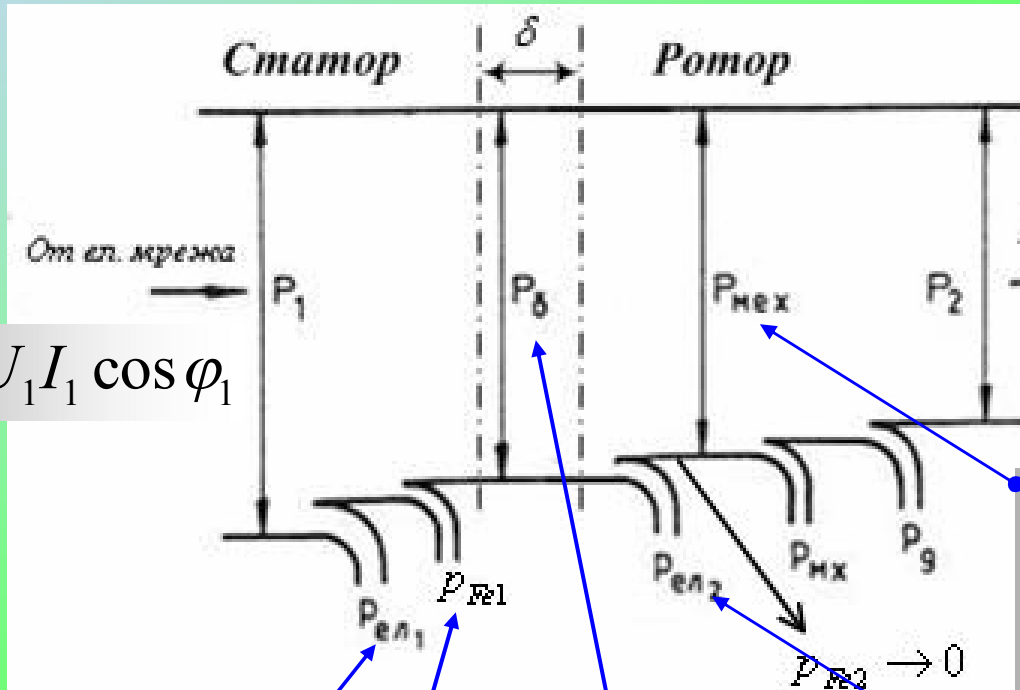
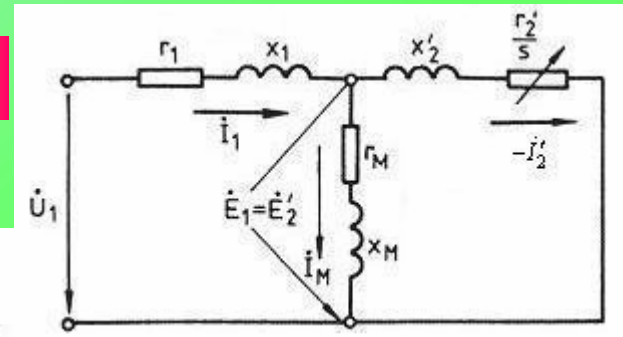
1. Както бе посочено по-горе възбудителния ток на асинхронната машина е твърде голям. Това означава, че реактивната мощност за възбуждане на асинхронния генератор е от порядъка на неговата полезна мощност.

2. По посочената по-горе причина паралелната работа на асинхронни генератори със синхронни води до значително намаляване на фактора на мощността на системата. Този недостатък се избягва, като.....



# Асинхронни машини

## Мощности и загуби на асинхронните двигатели



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

$$p_{el1} = m_1 I_1^2 r_1$$

$$p_{Fe1} = m_1 I_M^2 r_M$$

$$P_\delta = P_1 - p_{el1} - p_{Fe1} = m_2' \frac{r_2'}{s} I_2'^2$$

$$p_{el2} = \frac{m_2' r_2' I_2'^2}{s} = s P_\delta$$

$$P_{mech} = P_\delta - p_{el2} = (1-s)P_\delta = m_2 I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s}$$

$$P_2 = P_1 - \sum p = P_{mech} - p_{сх} - p_\delta = M_2 2\pi n$$

# Асинхронни машини

## Класификация на загубите при различни режими на АД

Режим	$s$	Рот ном.	$r_2$	$r_2/s$	$P_{e01}$	$P_{Fe1}$	$P_{e02}$	$P_{Fe2}$	$P_{ж}$	$P_2$
И.м.х.	0	Затв.	$>0$	$\infty$	$>0$	$>0$	0	0	*	0
П.х.	$\sim 0$	Затв.	$>0$	$\infty$	$>0$	$>0$	$\sim 0$	$\sim 0$	$>0$	0
Кс.	1	Затв.	$>0$	$r_2$	$>0$	0	$>0$	$\sim 0$	0	0
"Трансф"	1	Отв.	$\infty$	$\infty$	$>0$	$>0$	0	$>0$	0	0
Ном р-м	$s_n$	Затв.	$>0$	$\frac{1}{s_n} r_2$	$>0$	$>0$	$>0$	$\sim 0$	$>0$	$P_{ж}$

# Асинхронни машини

Електромагнитен момент на асинхронната машина и механическа характеристика на АД

$$P_{\text{мех}} = P_2 + p_{\text{мх}} + p_{\partial} = (1-s)P_{\delta} \quad : \Omega \neq 0$$

$$\frac{P_{\text{мех}}}{\Omega} = \frac{P_2}{\Omega} + \frac{p_{\text{мх}} + p_{\partial}}{\Omega}$$

$$M = M_2 + M_0$$

$$M = \frac{P_{\text{мех}}}{\Omega}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\Omega}$$

$$M_0 = \frac{p_{\text{мх}} + p_{\partial}}{\Omega}$$

$$\Omega = 2\pi n$$

$$\Omega_1 = 2\pi n_1 = 2\pi \frac{f_1}{p}$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{2\pi n_1 - 2\pi n}{2\pi n_1} = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1}$$

$$\Omega_1 = \frac{\Omega}{1-s} \Leftrightarrow \frac{1}{\Omega_1} = \frac{1-s}{\Omega}$$

$$M = \frac{P_{\text{мех}}}{\Omega} = \frac{(1-s)P_{\delta}}{\Omega} = \frac{P_{\delta}}{\Omega_1} = \frac{p P_{\delta}}{2\pi f_1}$$

$$M = \frac{p m_1}{2\pi f_1} \frac{I_2^2}{s} r_2'$$

# Асинхронни машини

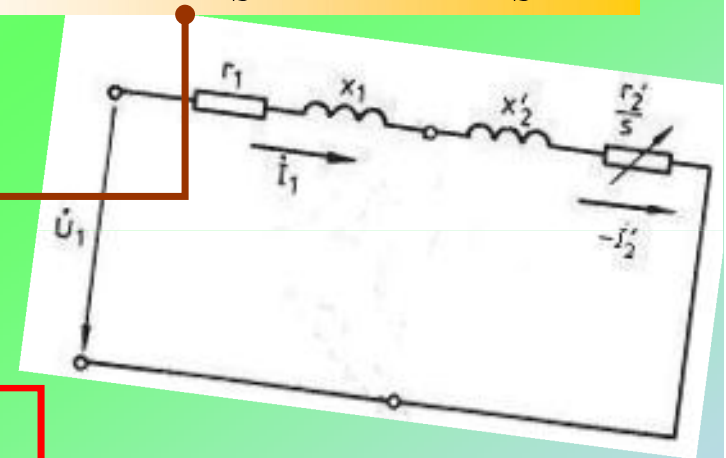
Електромагнитен момент на асинхронната машина и механическа характеристика на АД

$$M = \frac{P_{\text{мех}}}{\Omega} = \frac{(1-s)P_{\delta}}{\Omega} = \frac{P_{\delta}}{\Omega_1} = \frac{p P_{\delta}}{2\pi f_1} \rightarrow P_{\delta} = \underline{\underline{m_2}} \frac{r_2'}{s} I_2'^2 = \underline{\underline{m_1}} \frac{r_2'}{s} I_2'^2 = m_2 \frac{r_2}{s} I_2^2$$

$$M = \frac{p m_1}{2\pi f_1} I_2'^2 \frac{r_2'}{s}$$

$$I_1 = I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

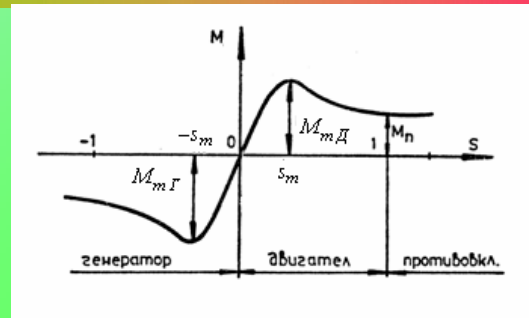
$$M = \frac{p m_1}{2\pi f_1} \frac{U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2} \frac{r_2'}{s}$$



# Асинхронни машини

Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

$$M = \frac{pm_1}{2\pi f_1} \frac{U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2} \frac{r_2'}{s} = f(s)$$



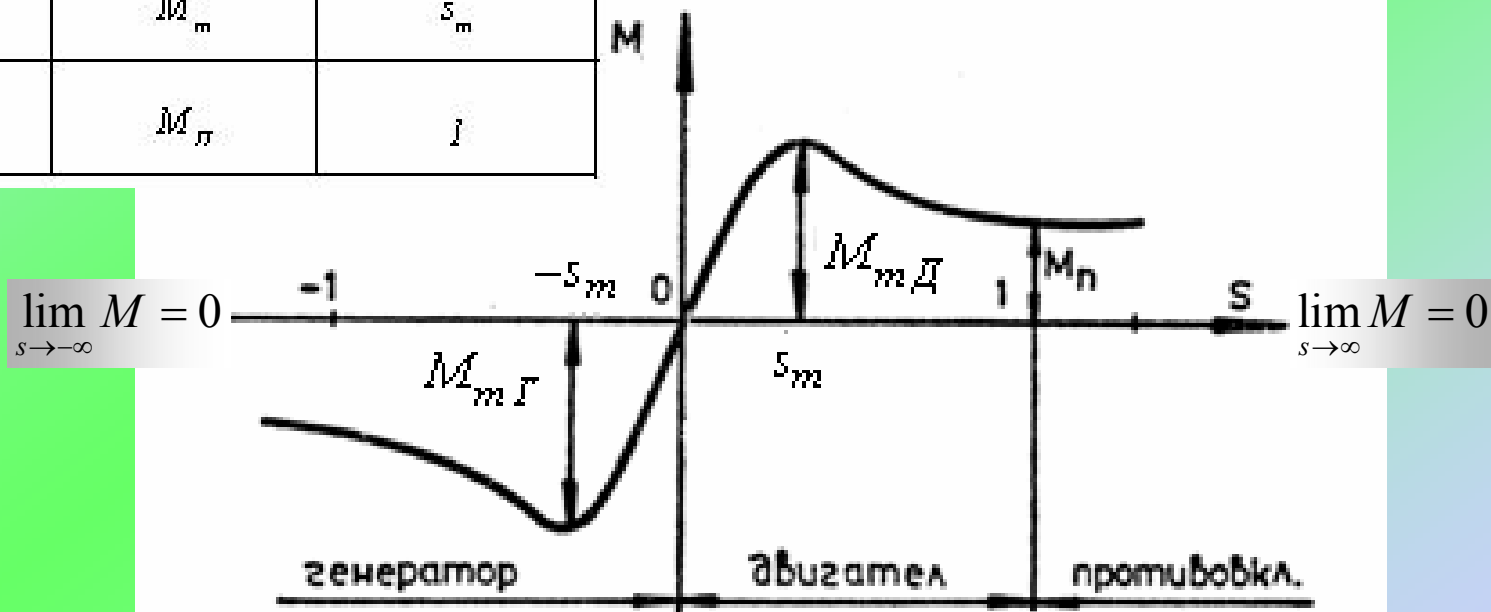
- 1/ Функцията е непрекъсната в интервалите  $-\infty < s < 0$  и  $\infty > s > 0$ .
- 2/ В интервала на положителните хлъзгания /двигателен режим/ функцията на момента е изцяло положителна, а в интервала на отрицателните /генераторен режим/ - изцяло отрицателна.
- 3/ При идеален празен ход тя има стойност нула – графиката пресича пресича абсцисната ос.
- 4/ Функцията има по един екстремум във всеки от посочените интервали при стойности на хлъзгането:

$$s_{mД,Г} = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad \xrightarrow{r_1^2 \ll (x_1 + x_2')^2} \quad s_{mД,Г} = \pm \frac{r_2'}{x_1 + x_2'}$$

# Асинхронни машини

Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

Режим	Момент / $M$ /	Хлъзгане / $s$ /
Идеален празен ход	0	0
Реален празен ход	$M_0$	$\sim 0$
Номинален режим	$M_n$	$s_n$
Режим при макс. момент	$M_m$	$s_m$
Пусков режим, режим на к.с.	$M_{\Gamma}$	1



# Асинхронни машини

Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

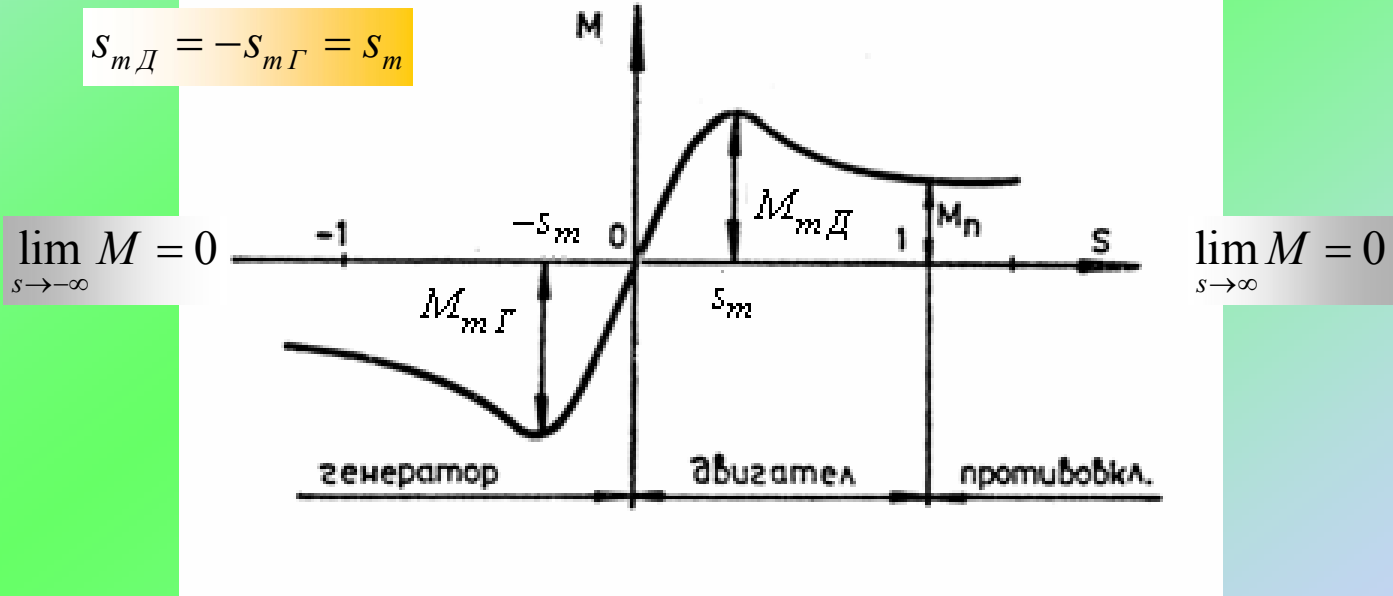
$$s_{mД,Г} = \pm \frac{r_2'}{x_1 + x_2} = f(r_2')$$

$$s = s_{mД,Г}$$

$$M = \frac{pm_1}{2\pi f_1} \frac{U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2} s$$

$$M_{mД,Г} = f(s_{mД,Г}) = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2 \cdot 2\pi f_1 \left[ \pm r_1 + (x_1 + x_2') \right]} \neq f(s, r_2') ?!$$

$$s_{mД} = -s_{mГ} = s_m$$

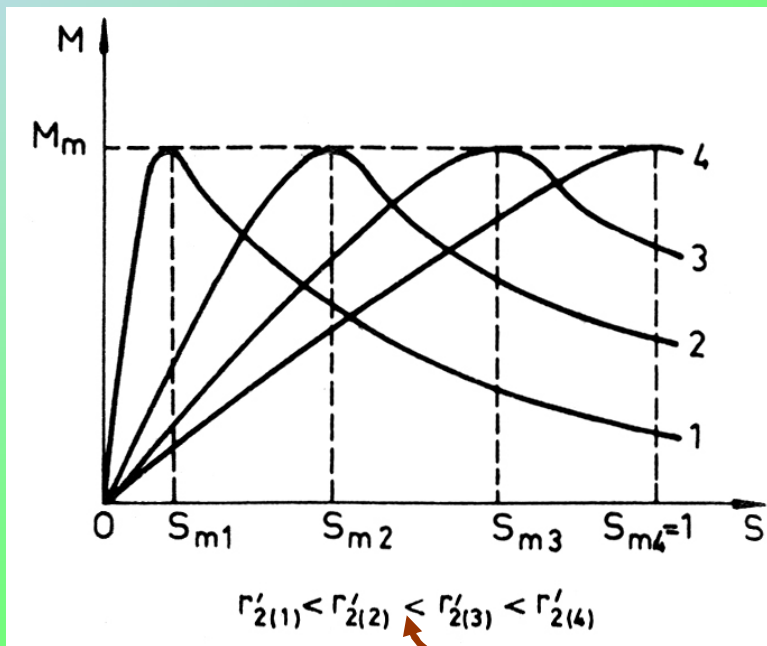




# Асинхронни машини

Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

$$M_{mД,Г} = f(s_{mД,Г}) = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2.2\pi f_1 [\pm r_1 + (x_1 + x_2')]} \neq f(s, r_2') ?!$$



$$M_m = const.$$

$$s_{mД,Г} = \pm \frac{r_2'}{x_1 + x_2'} = var.$$

$$r'_{2(i)} = k_e k_i r_{2(i)} = var.$$

$$1/ r_{2(i)} = r_{2 \text{ намотка}}; r_{2 \text{ намотка}} = f(\rho_2)$$

$$2/ r_{2(i)} = r_{2 \text{ намотка}} + R_{доп(i)}$$

# Асинхронни машини

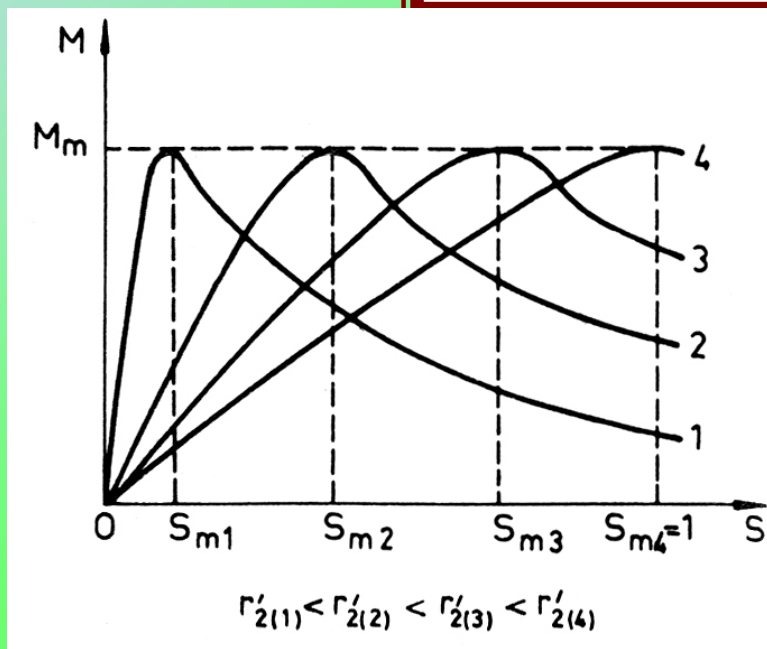
Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

$$n = 0; s = 1$$

$$s = 1$$

$$M = \frac{pm_1}{2\pi f_1} \frac{U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2} \frac{r_2'}{s}$$

$$M_{II} = \frac{pm_1 U_1^2 r_2'}{2\pi f_1 \left[ (r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]} = f(r_2')$$



$$M_{II} = M_{II\max} = M_m \text{ при } s_m = 1$$

$$s_m = \frac{r_2'}{x_1 + x_2'} = 1$$

$$r_2' = x_1 + x_2'$$

$$R'_{\text{дон}(i)} = x_1 + x_2' - r_2' \text{ намотка}$$

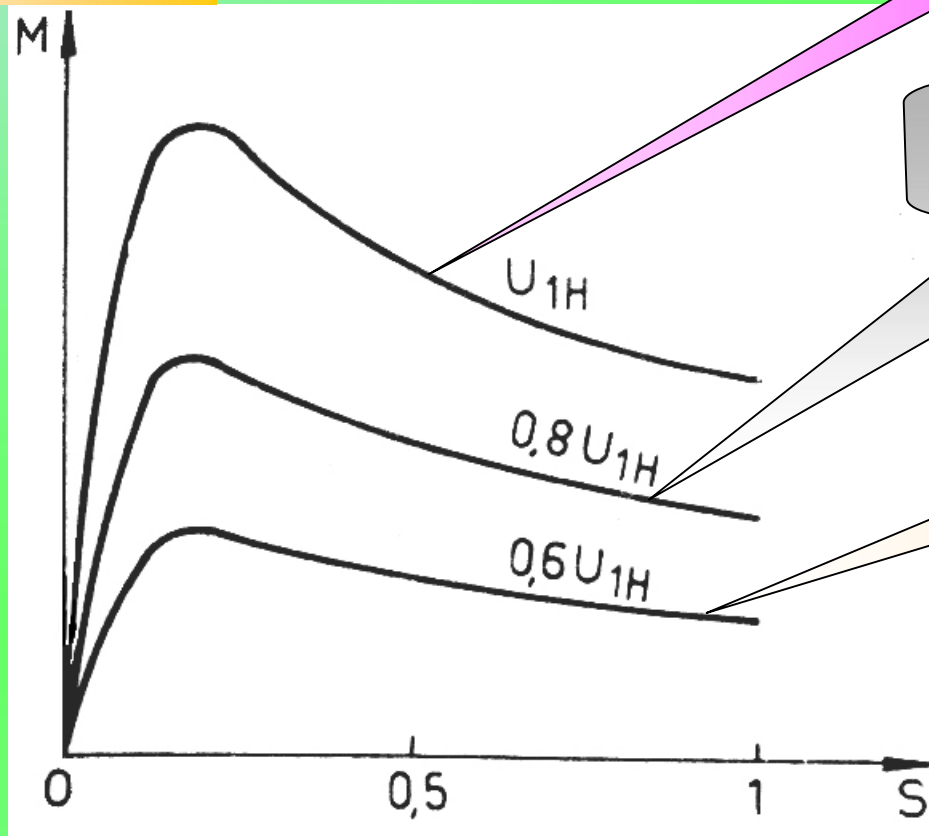
# Асинхронни машини

Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

$$M = \frac{p m_1}{2\pi f_1} \frac{U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

При  $f_1 = const.$   
и постоянни параметри

$$M \equiv U^2$$



# Асинхронни машини

Свойства на функцията на електромагнитния момент  $M=f(s)$  на АМ

$$r_1 \approx 0$$

$$x_i = \omega_1 L_i = 2\pi f_1 L_i$$

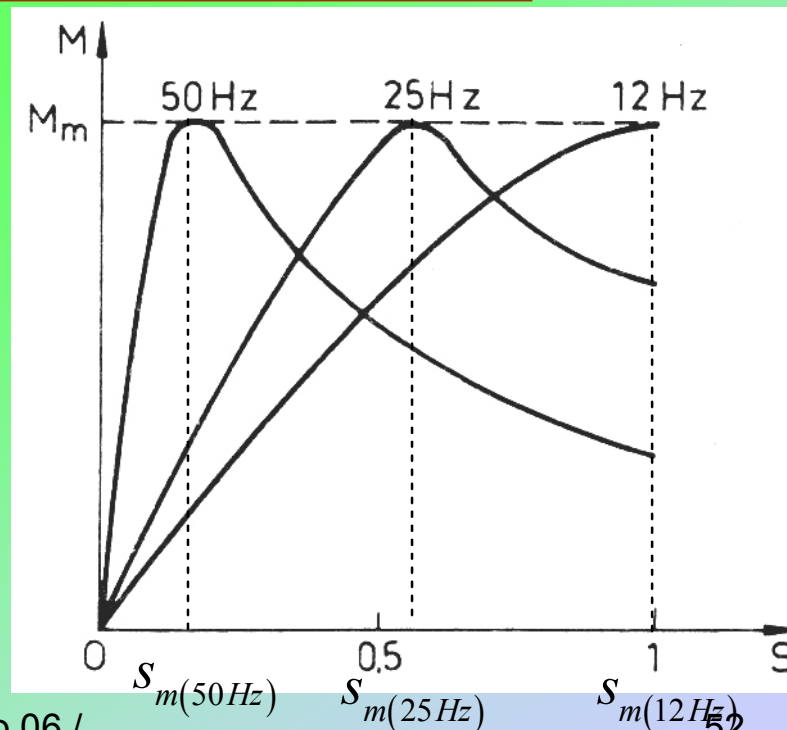
$$M_{mД,Г} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2.2\pi f_1 [\pm r_1 + (x_1 + x_2')]}$$

$$M_{mД,Г} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2.2\pi f_1 [2\pi f_1 (L_1 + L_2')]} = \pm \frac{pm_1}{2 \cdot (2\pi)^2 (L_1 + L_2')} \left(\frac{U_1}{f_1}\right)^2$$

$$U_1 / f_1 = const.$$

$$M_m = const.$$

$$s_{m(i)} = \frac{r_2'}{x_1 + x_2'} = \frac{r_2'}{2\pi f_{1(i)} (L_1 + L_2')} \equiv \frac{1}{f_{1(i)}}$$



# Асинхронни машини

## Характерни кратности / съотношения / при АМ

$$s = s_m$$

$$\kappa_m = \frac{M_m}{M_n} - \text{кратност на максималния момент}$$

$$\kappa_m : 1.7 \div 3.3$$

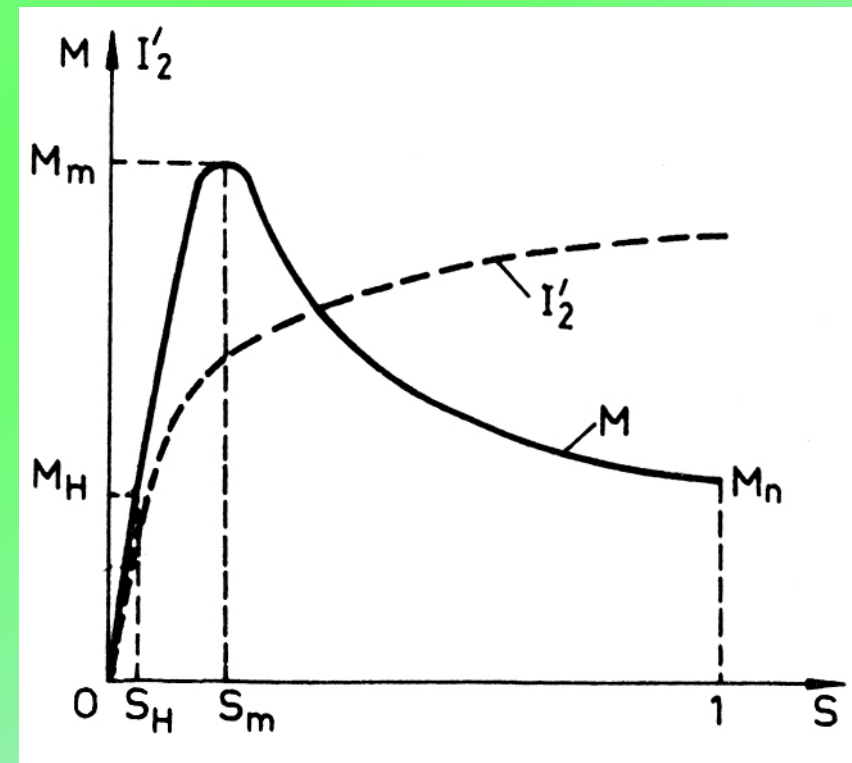
$$s = 1$$

$$\kappa_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{M_n} - \text{кратност на пусковия момент}$$

$$\kappa_{\Pi} : 1.0 \pm 2.2$$

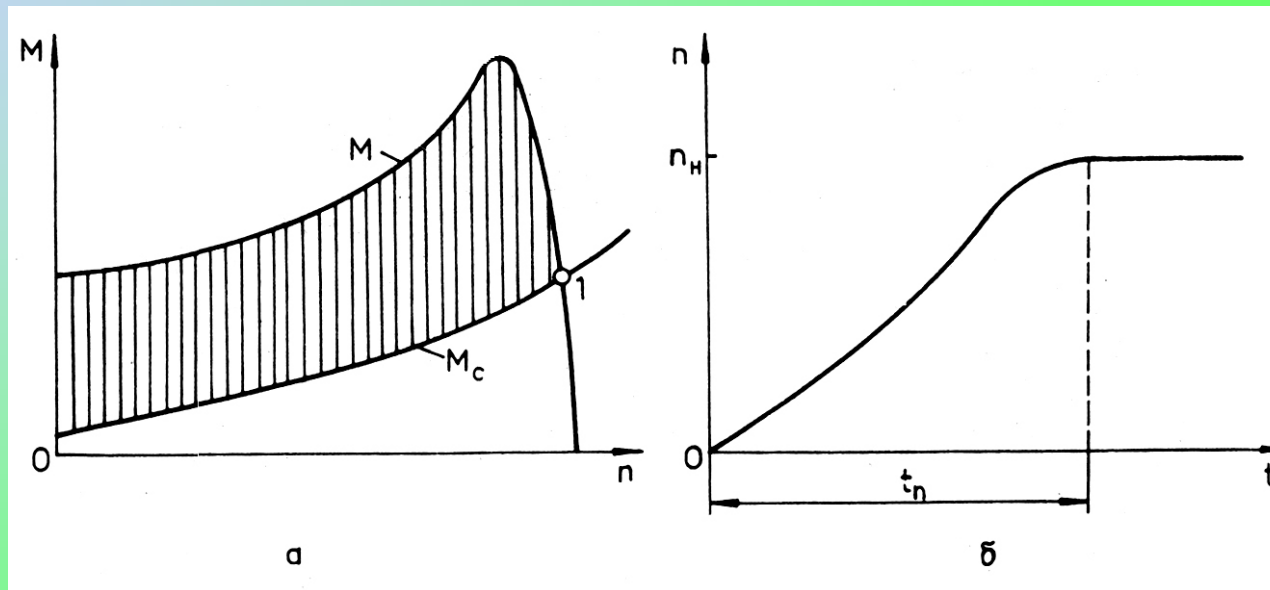
$$\kappa_i = \frac{I_{\Pi}}{I_n} - \text{кратност на пусковия ток}$$

$$\kappa_i : 3.0 \div 7.5$$



# Асинхронни машини

## Пускане на АД



$$M(\omega) = M_c(\omega) + J \frac{d\omega}{dt}$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M(\omega) - M_c(\omega)$$

$$t = \int_0^{\omega} \frac{J}{M(\omega) - M_c(\omega)} d\omega$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M(\omega) - M_c(\omega)}{J}$$

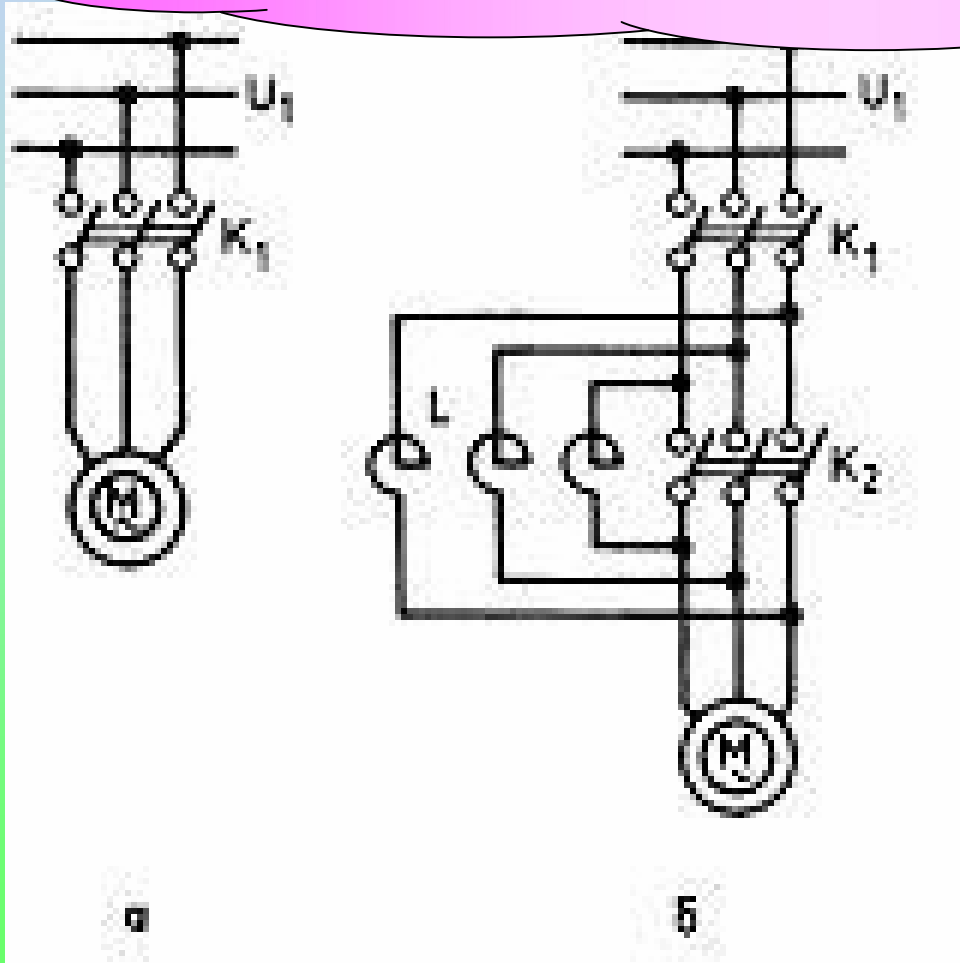
$$M(\omega) - M_c(\omega) > 0 \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} > 0$$

и обратно....

# Асинхронни машини

## Начини на пускане на АД

Идеално би било, ако  $I_{\text{ПУСК}} \lll$  и  $t_{\text{ПУСК}} \lll$ , но ....



$$I_n = \frac{U_1}{z_k} = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}}$$

$$I_{nL} = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + (x_k + x_L)^2}}$$

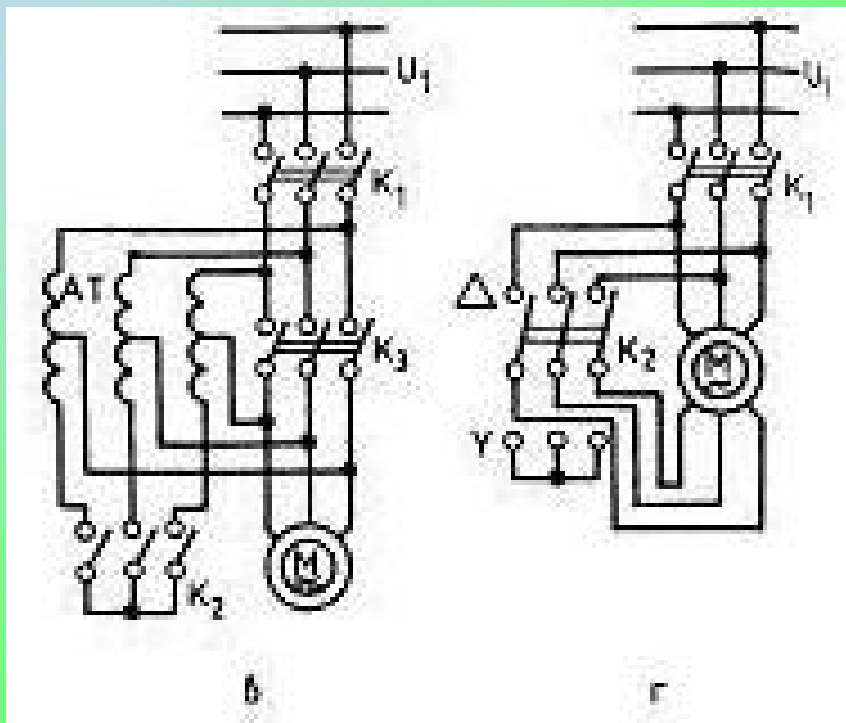
$$\frac{I_{nL}}{I_n} = \frac{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}}{\sqrt{r_k^2 + (x_k + x_L)^2}} < 1$$

$$M = \frac{p m_1}{2\pi f_1} I_2^2 \frac{r_2'}{s} \equiv I_1^2$$

$$\frac{M_{\text{ПЛ}}}{M_{\text{П}}} = \left( \frac{I_{nL}}{I_n} \right)^2 \lll 1$$

# Асинхронни машини

## Начини на пускане на АД



$$U_{\phi Y} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_{LY} = \frac{U_{\phi Y}}{Z} = \frac{U_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$U_{\phi \Delta} = U_L$$

$$I_{L\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi \Delta}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U_L}{Z}$$

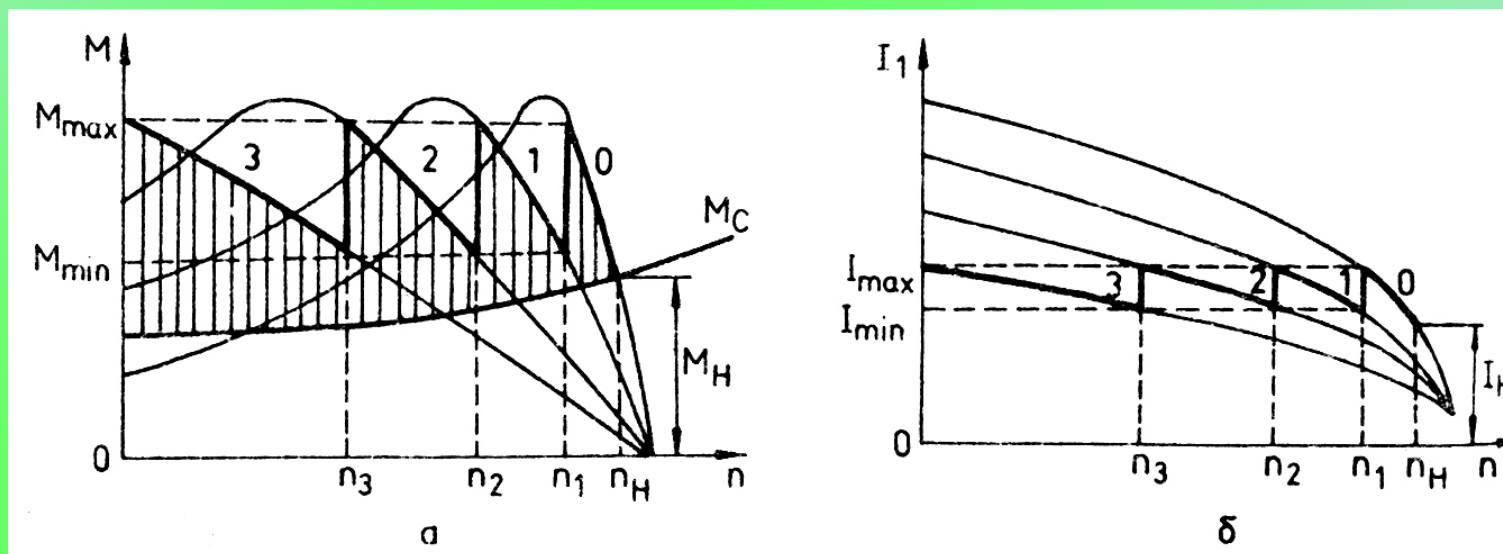
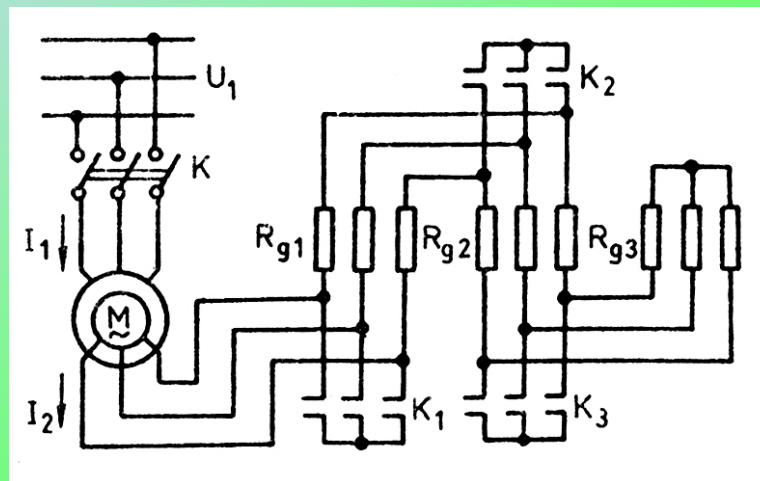
$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{\frac{U_L}{\sqrt{3}Z}}{\frac{\sqrt{3}U_L}{Z}} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{M_Y}{M_{\Delta}} = \left( \frac{U_{\phi Y}}{U_{\phi \Delta}} \right)^2 = \left( \frac{\frac{U_L}{\sqrt{3}}}{U_L} \right)^2 = \frac{1}{3}$$



# Асинхронни машини

## Начини на пускане на АД



# Асинхронни машини

## Линейни асинхронни двигатели

