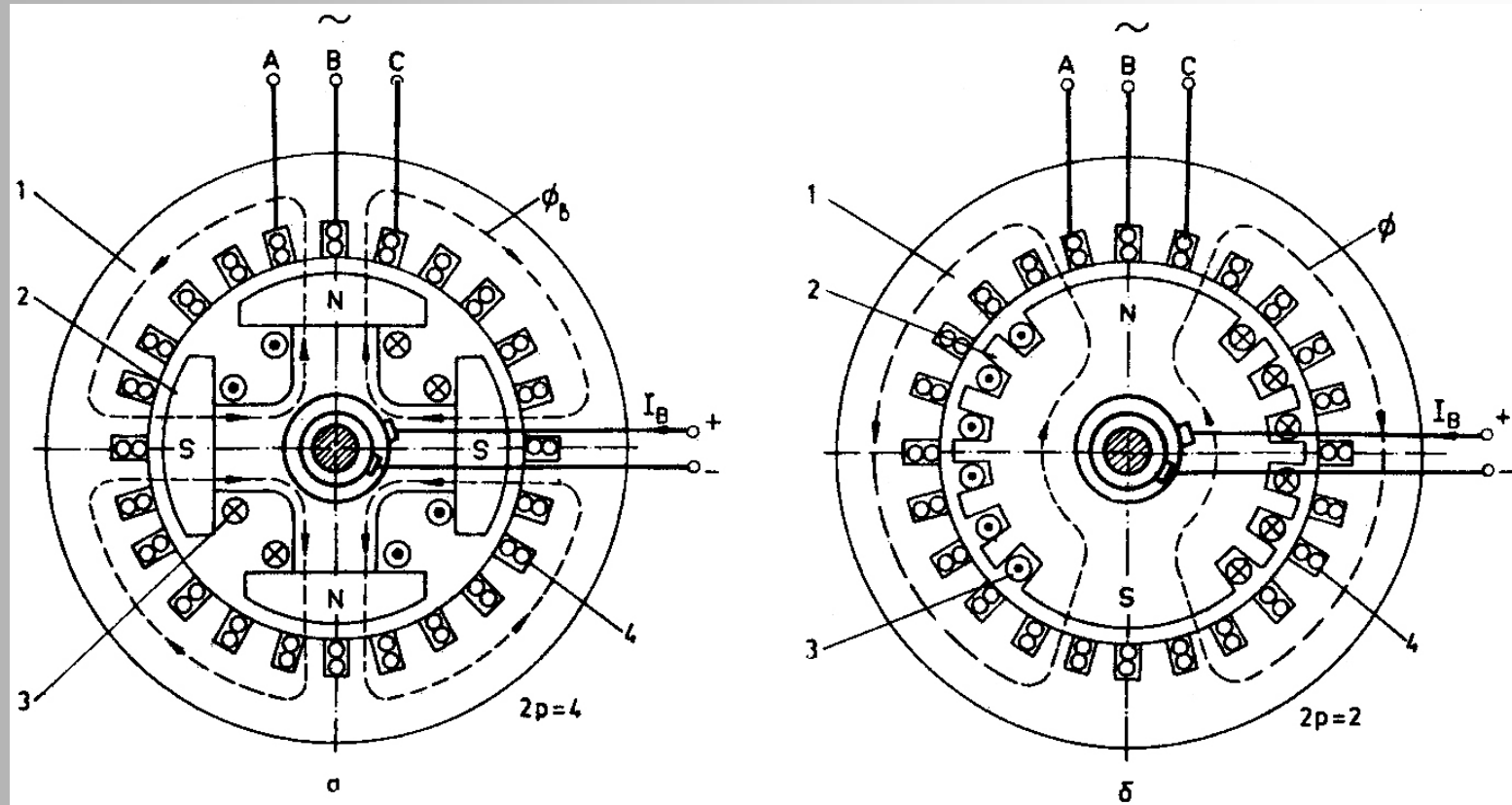




Принципно устройство

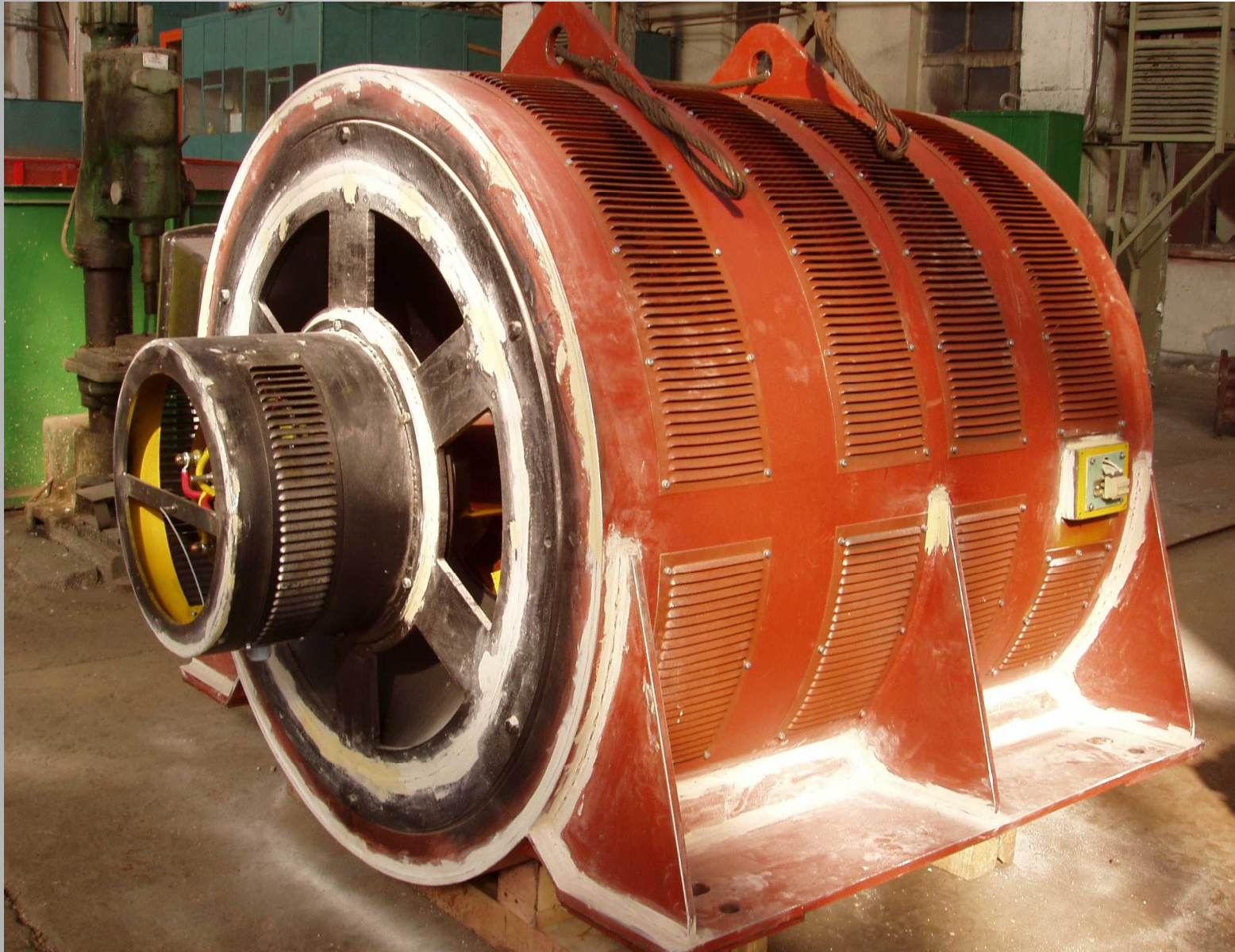


**1-статор /котва/, 2-ротор /индуктор/, 3-възбудителна намотка,
5-котвена намотка**

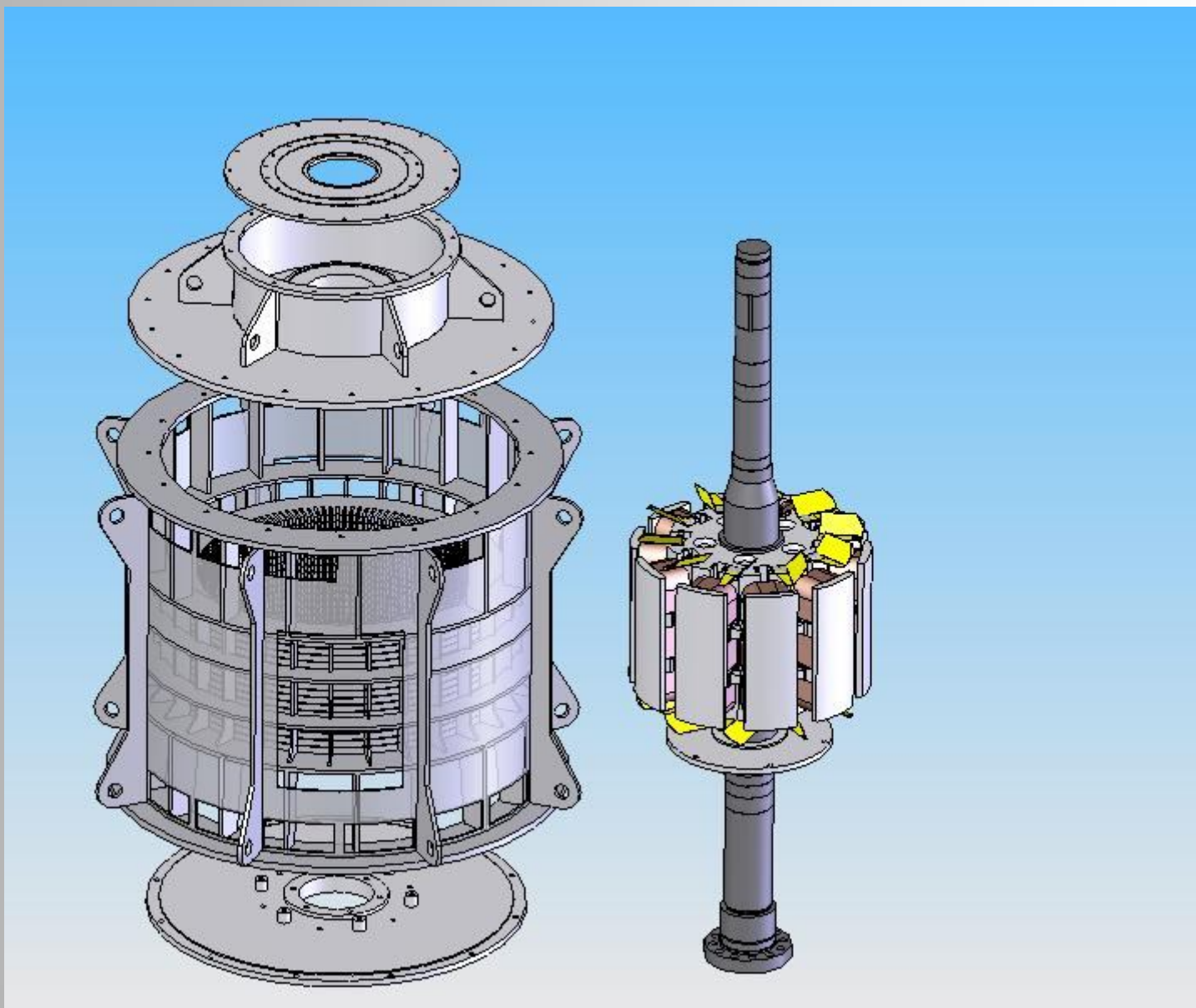
$S=7500 \text{ kVA}$
 $U_n=6.3 \text{ kV}$
 $2P=10$



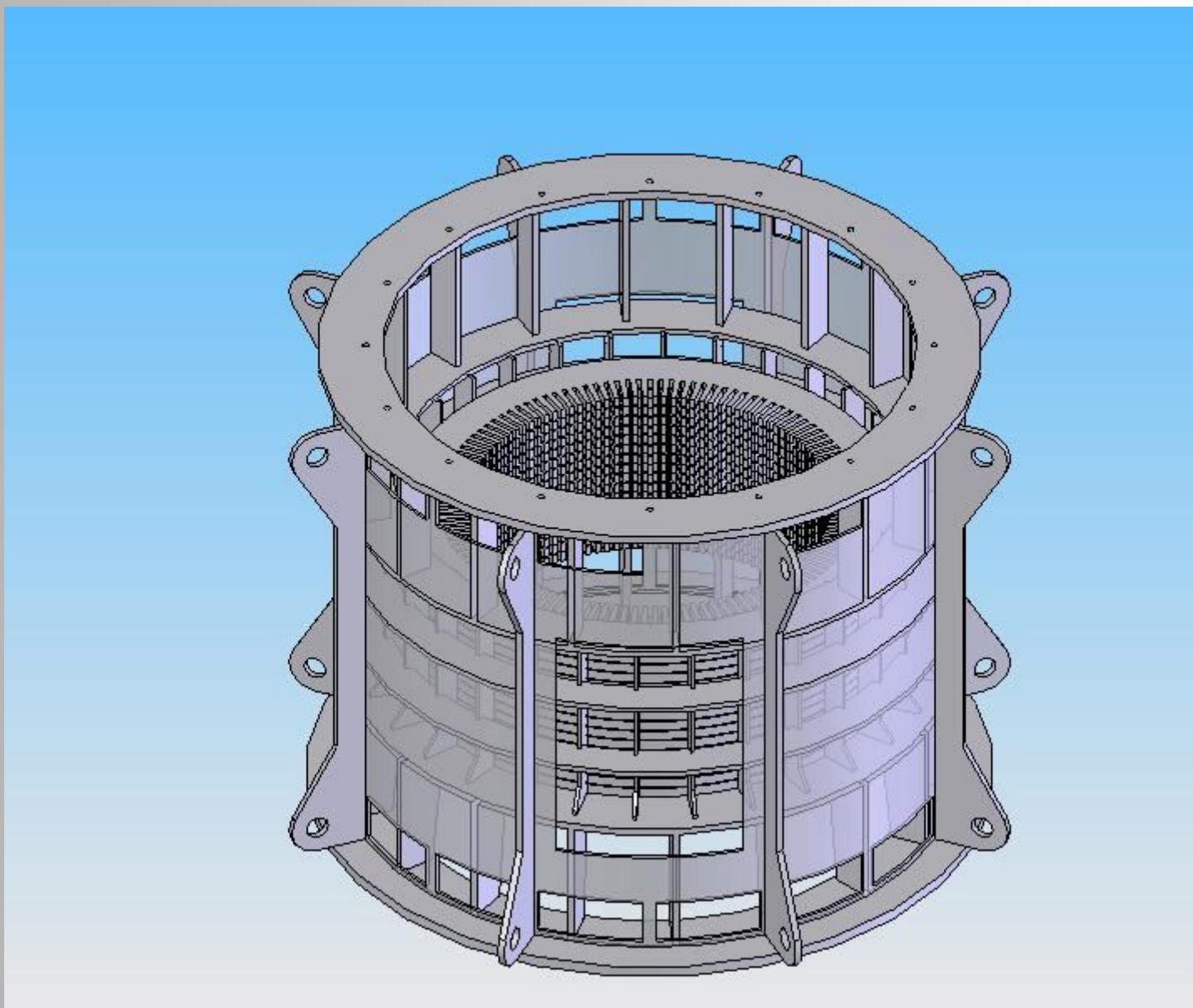
ЕМУ / Синхронни машини/
М.Михов - ЕФ



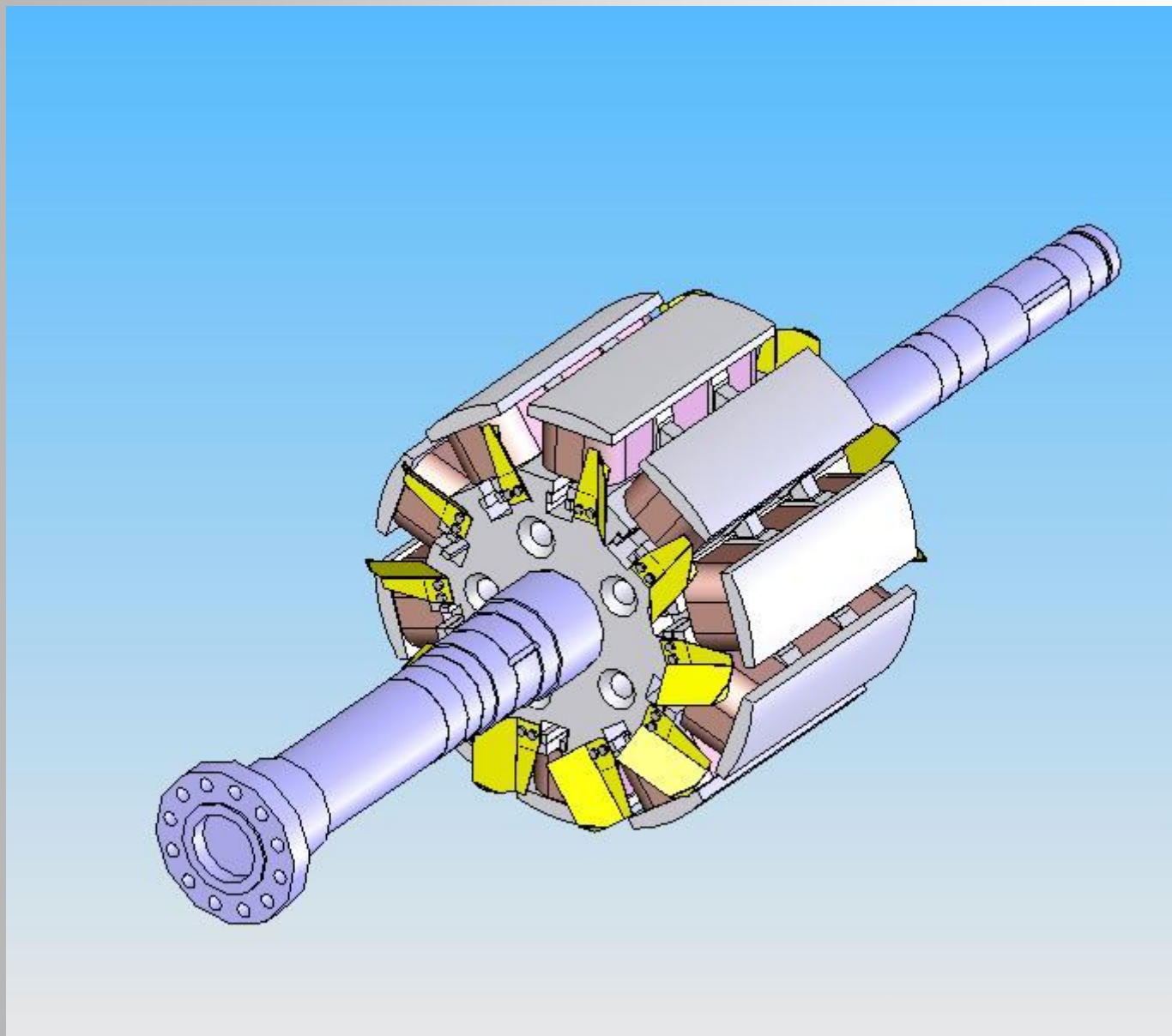
ЕМУ / Синхронни машини/
М.Михов - ЕФ



ЕМУ / Синхронни машини/
М.Михов - ЕФ

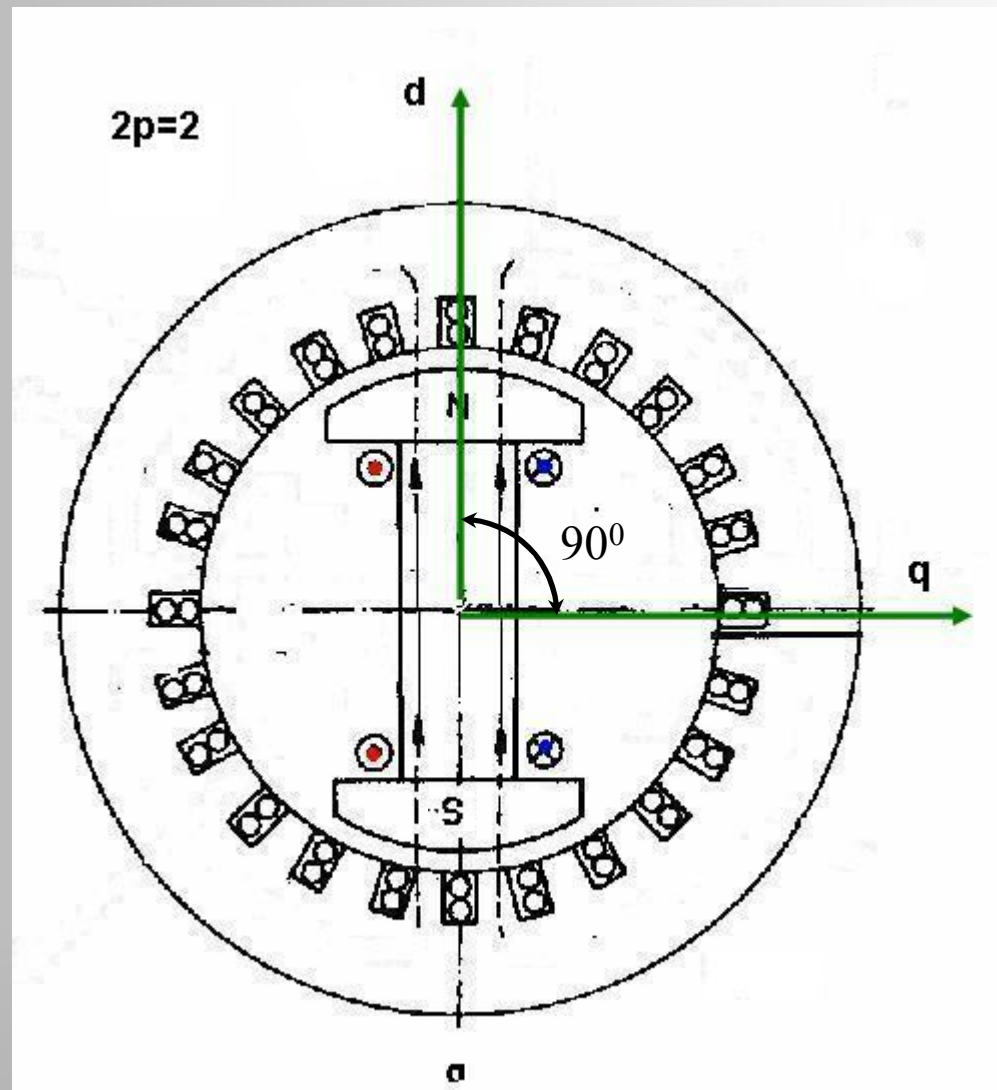


ЕМУ / Синхронни машини/
М.Михов - ЕФ



Магнитни оси на синхронната машина

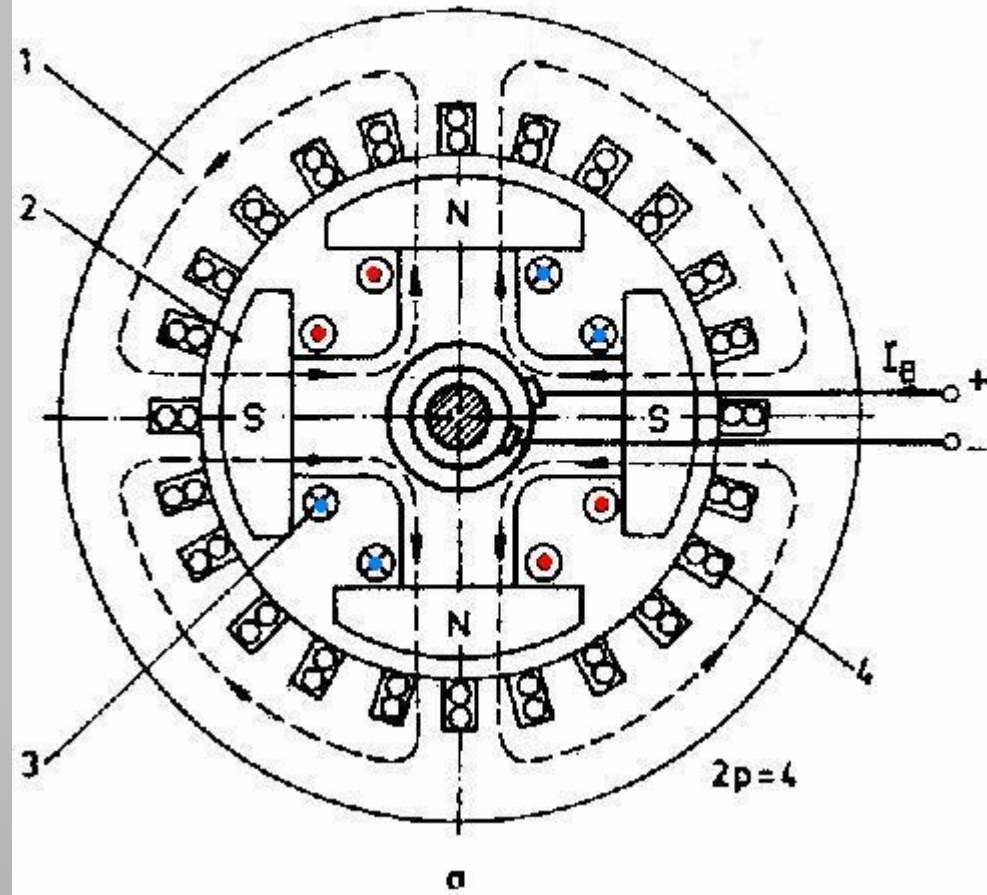
d – надлъжна ос, q – напречна ос



Магнитни оси на синхронната машина

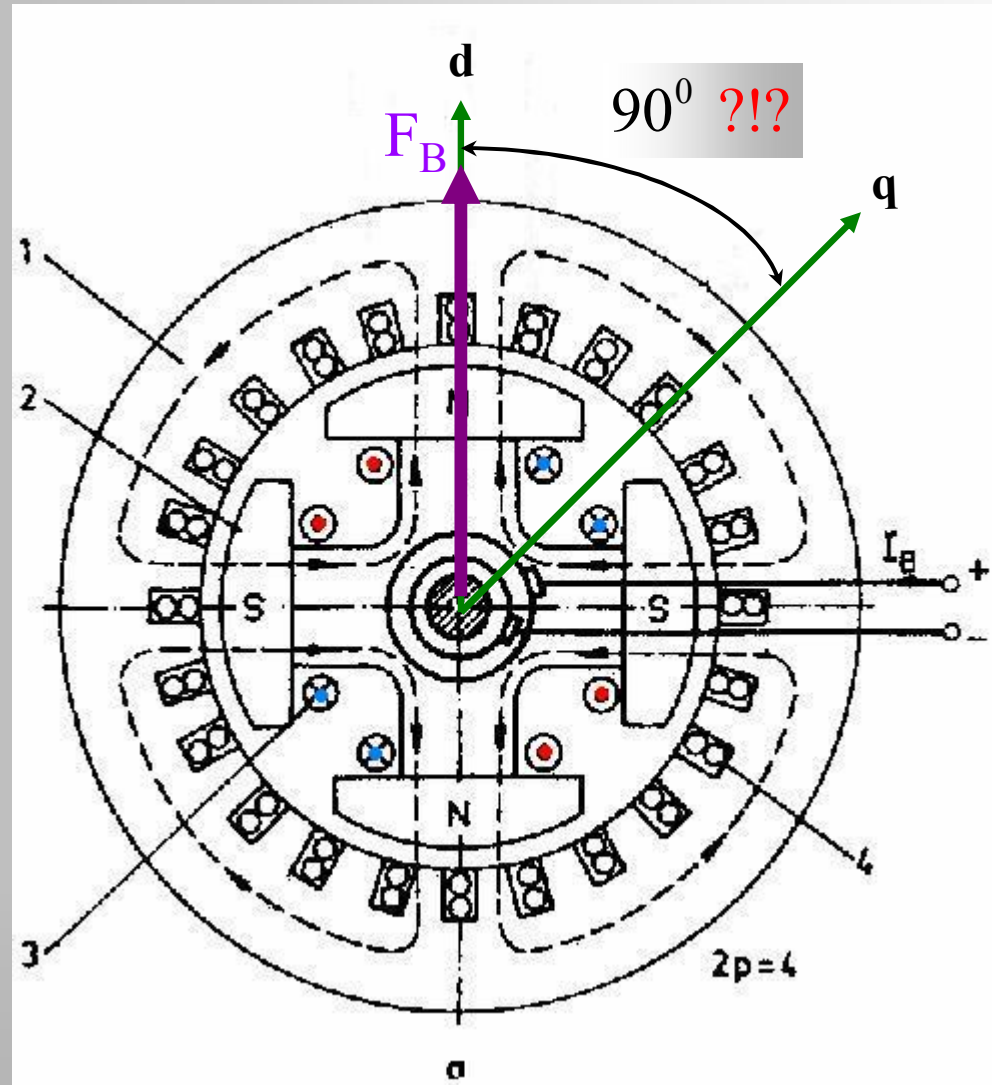
d – надлъжна ос, q – напречна ос

d, q ???



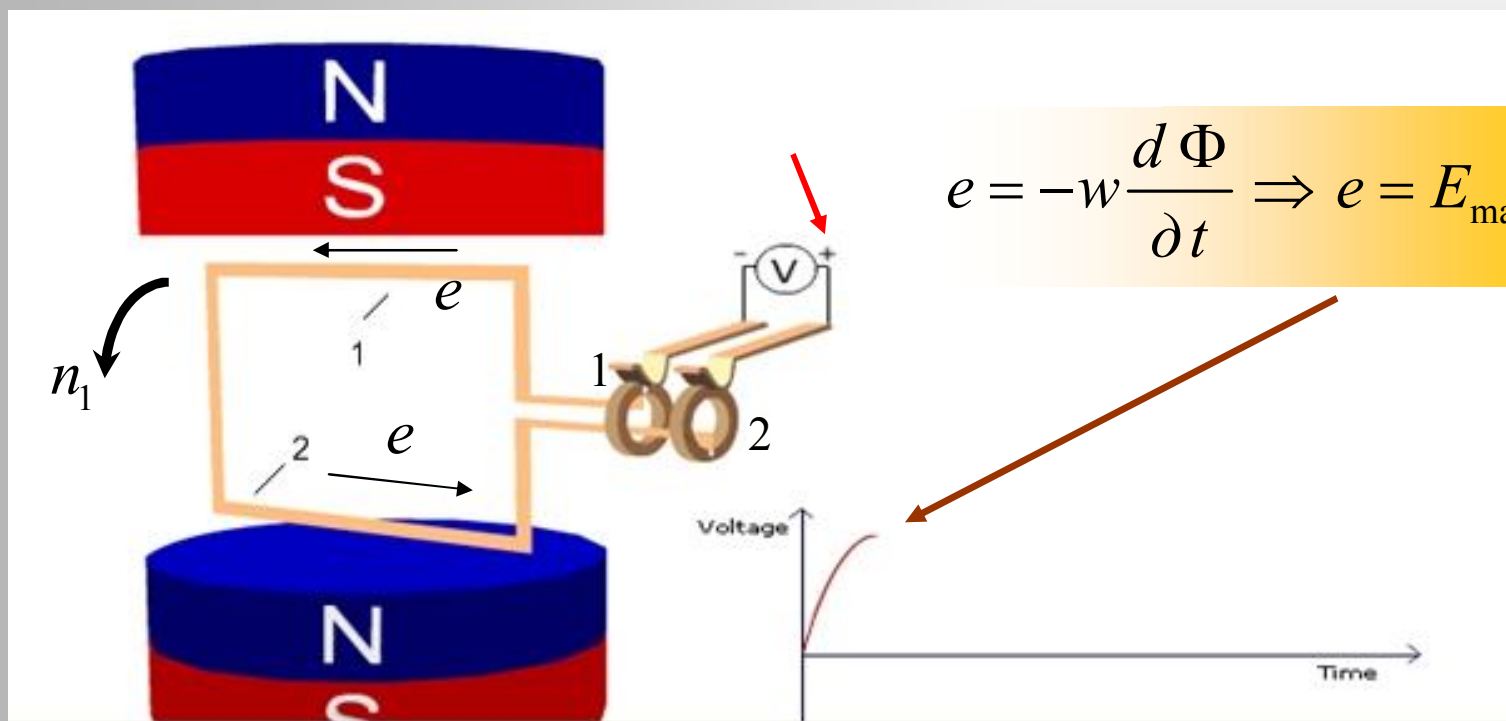
Магнитни оси на синхронната машина

d – надлъжна ос, q – напречна ос



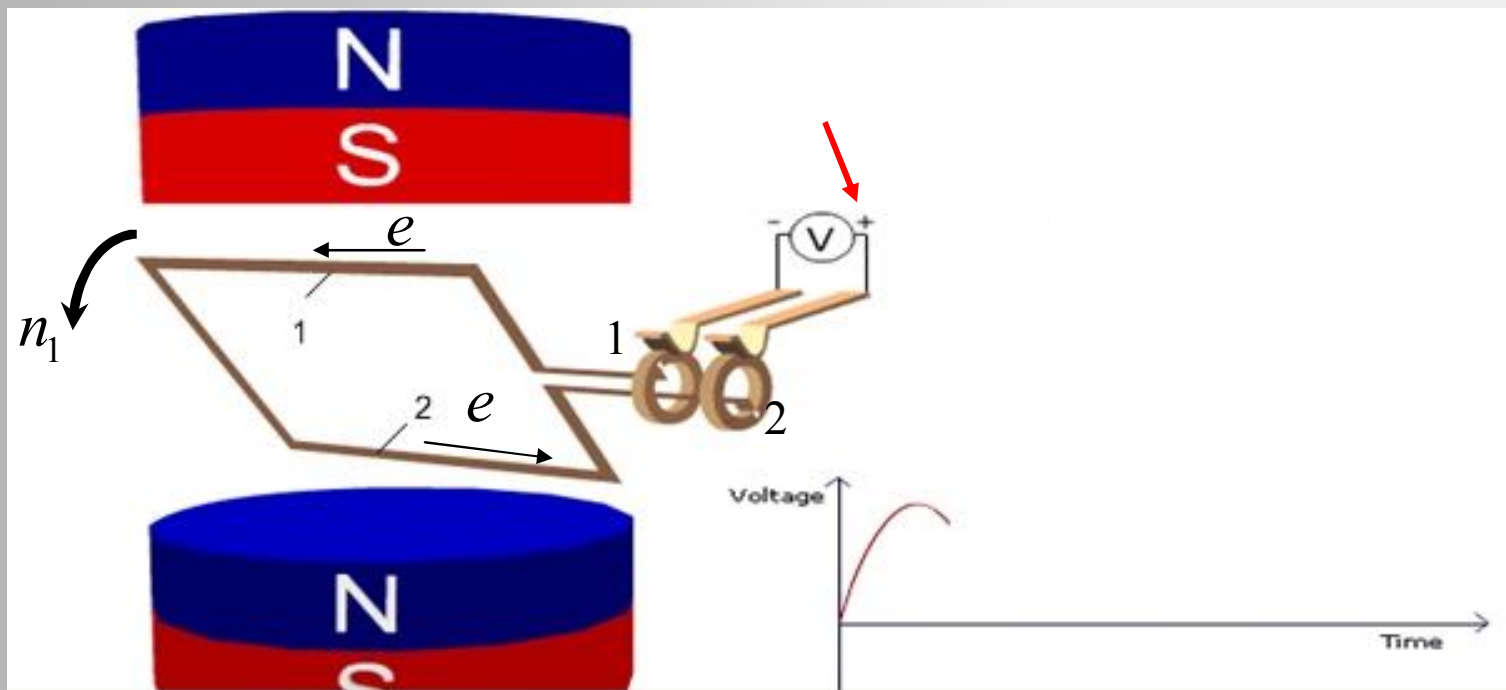
Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен генератор



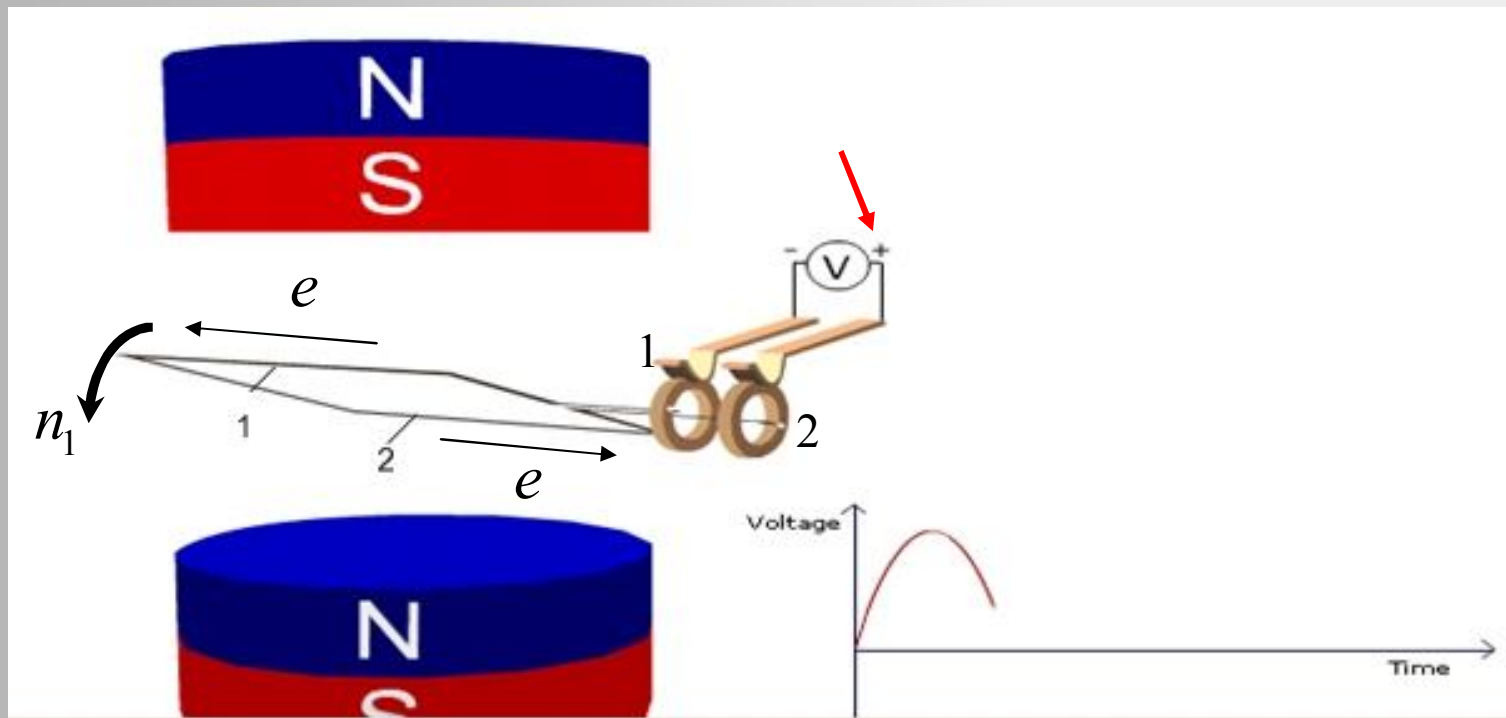
Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен генератор



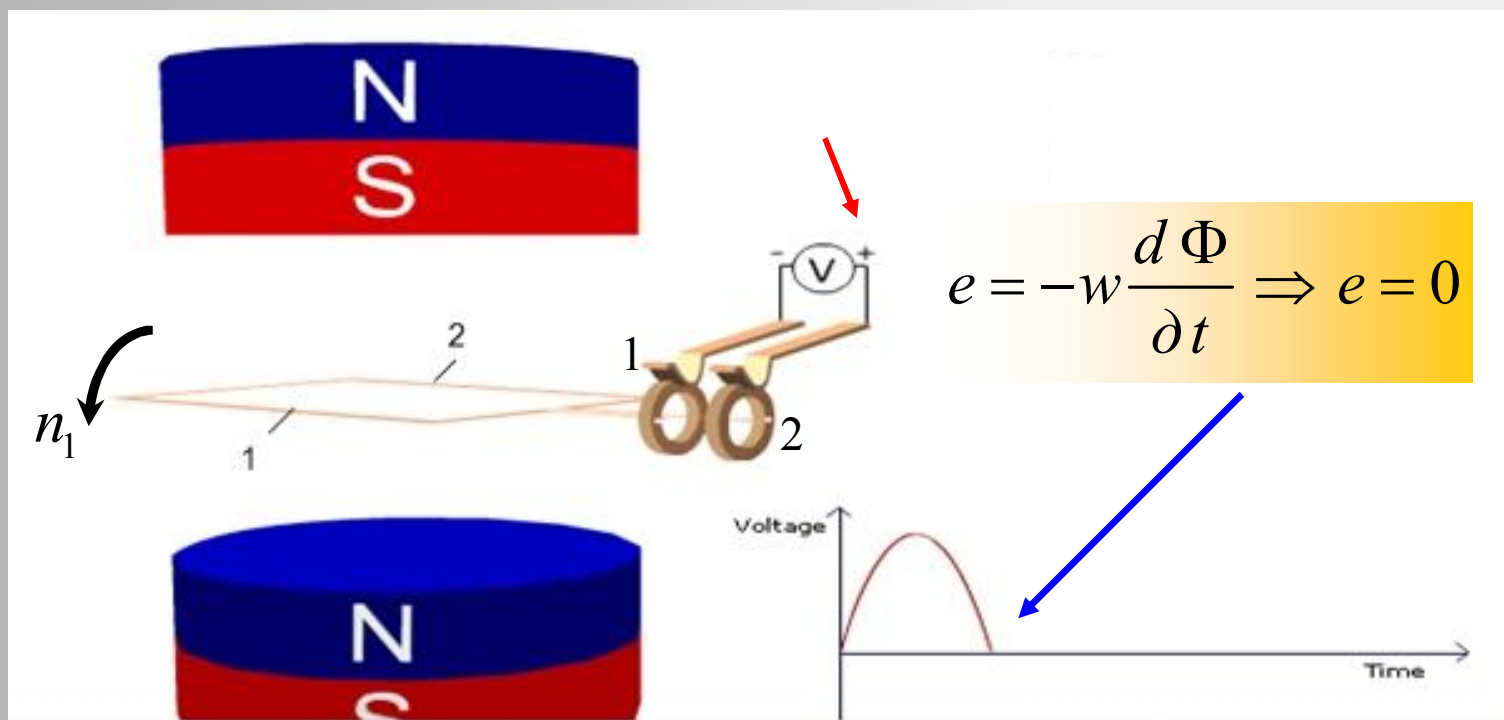
Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен генератор



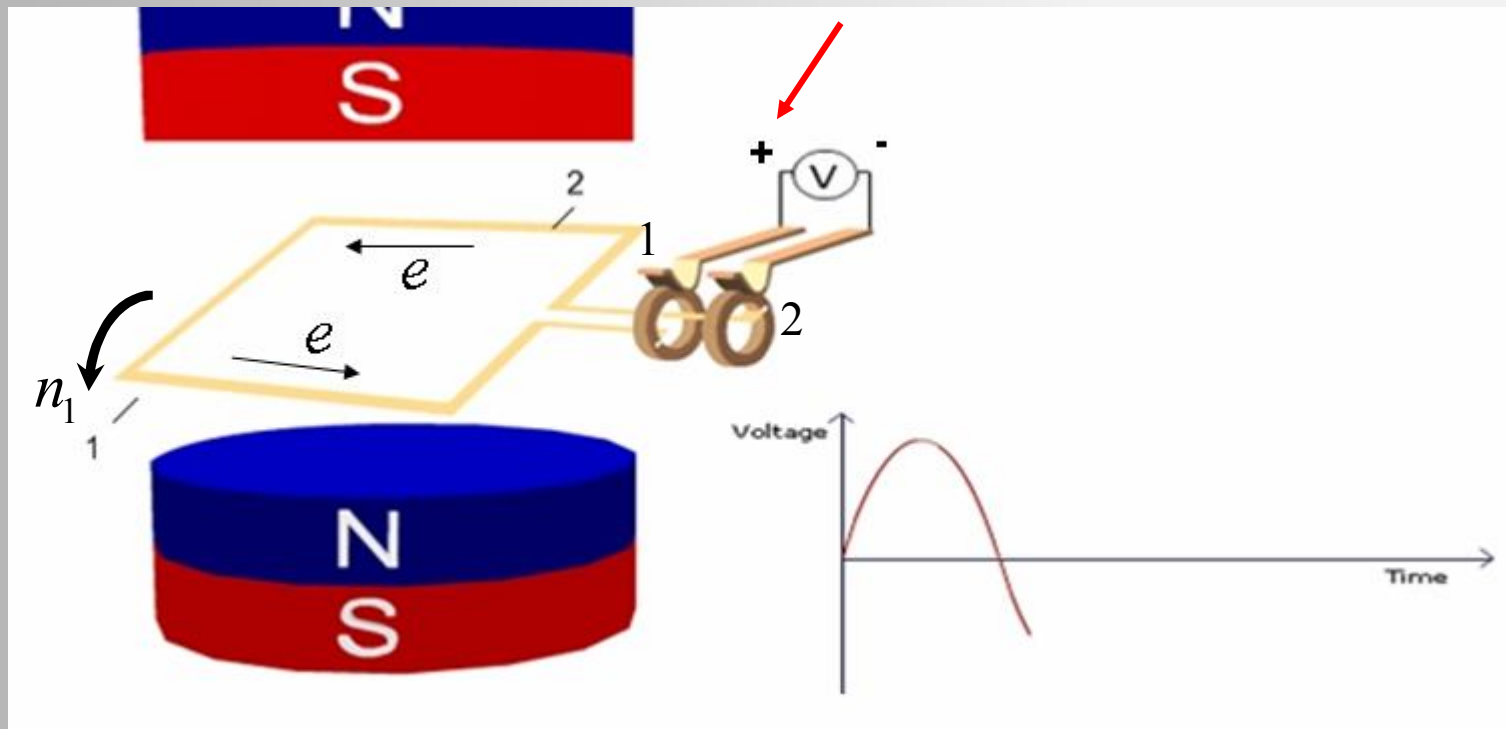
Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен генератор

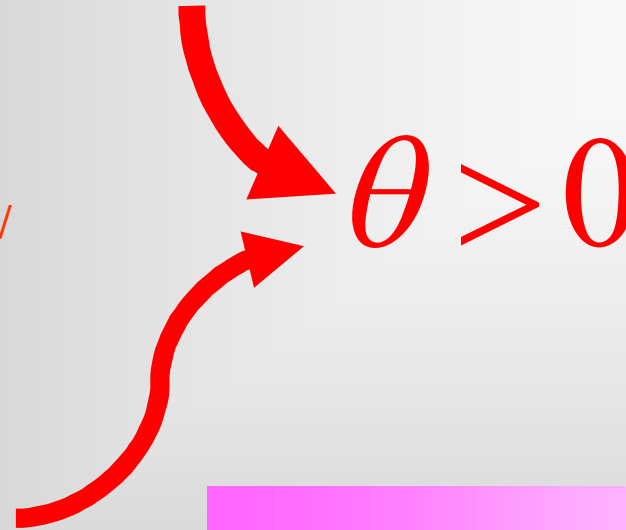
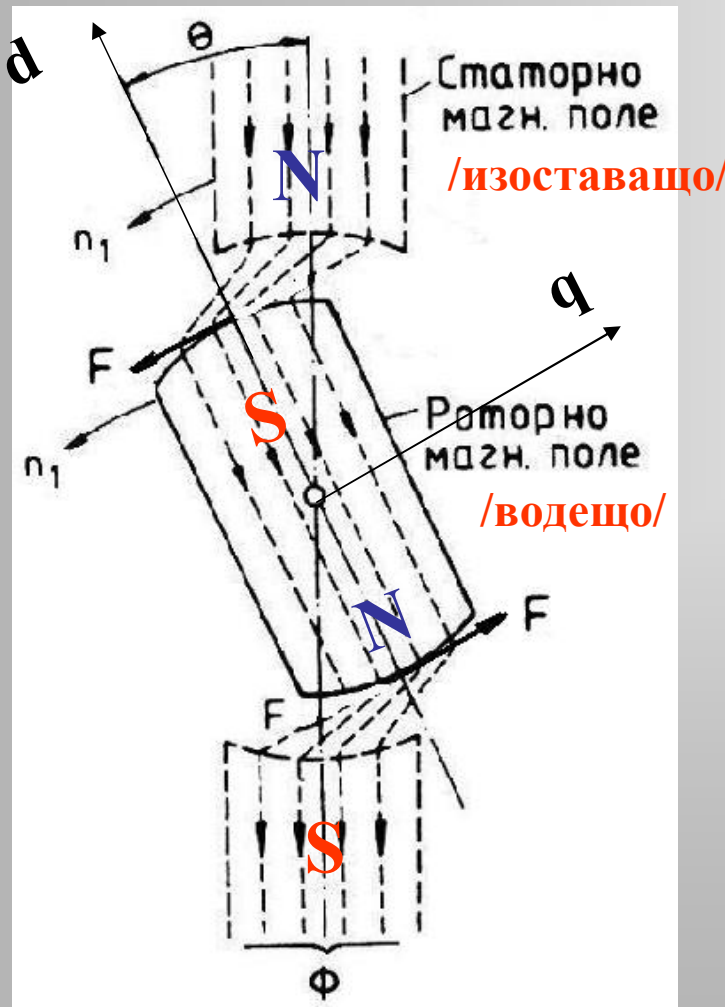


Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен генератор



Принцип на действие на синхронната машина Синхронен ГЕНЕРАТОР



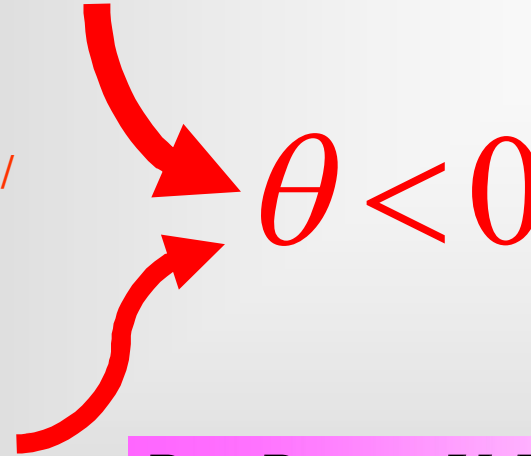
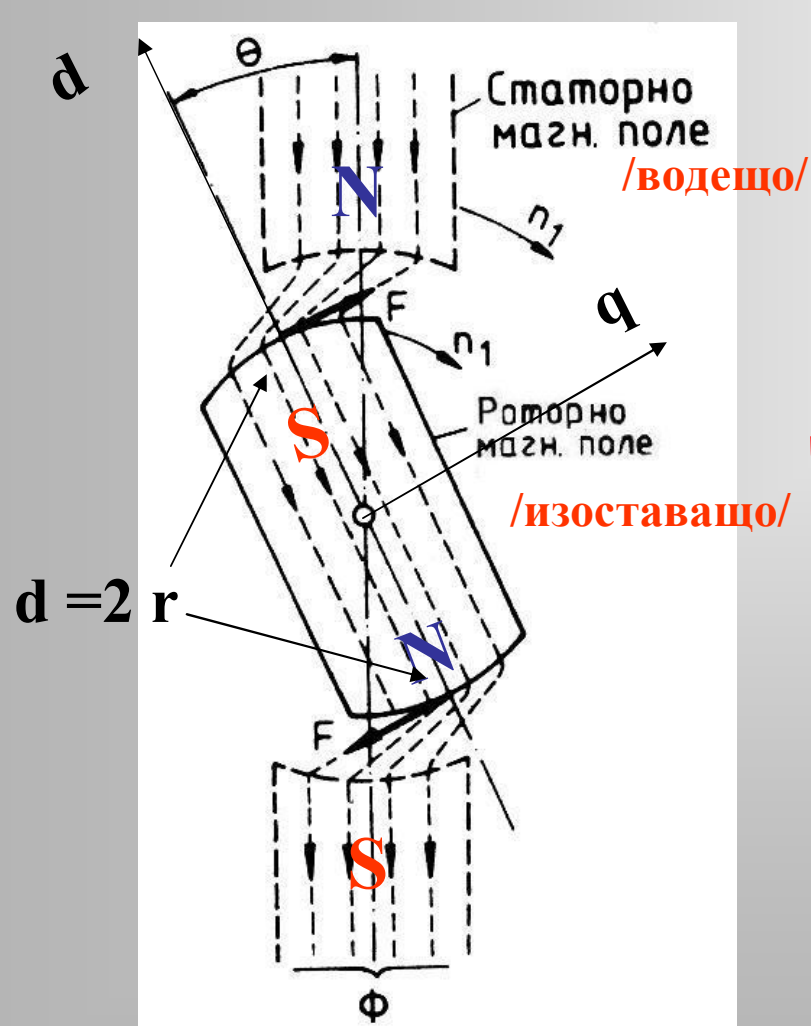
$$P_1 = P_{\text{мех}} = M\Omega = M \frac{2\pi n_1}{(60)}$$

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

$$P_2 = P_{\text{ел}} = m_2 U_2 I_2 \cos \varphi$$

Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен ДВИГАТЕЛ



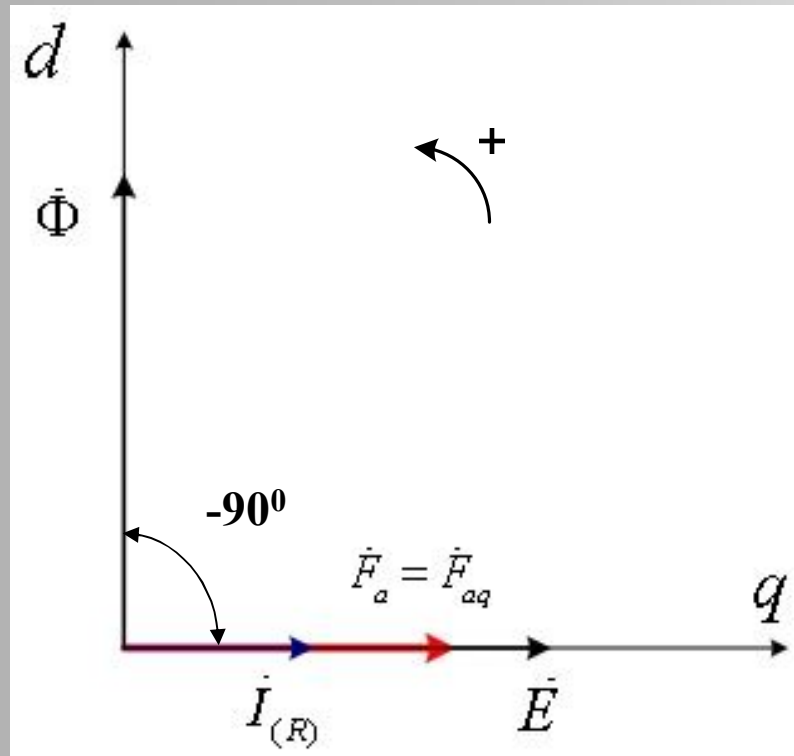
$$P_1 = P_{ел} = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi$$

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

$$P_2 = P_{мех} = M \Omega = M \frac{2\pi n_1}{(60)}$$

$$(M = 2F r = F d)$$

Напречна реакция на тока на котвата



$$Z = R + jX_L - jX_C = R + jX_L + (-jX_C)$$

$$\pm j = e^{\pm j\frac{\pi}{2}}$$

$$\mathcal{E} = \Phi e^{j\omega t}$$

$$\vec{E} = -\omega \frac{d\mathcal{E}}{dt} = -j\omega \Phi e^{j\omega t} = E e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

$$R \neq 0; X_L = 0; X_C = 0$$

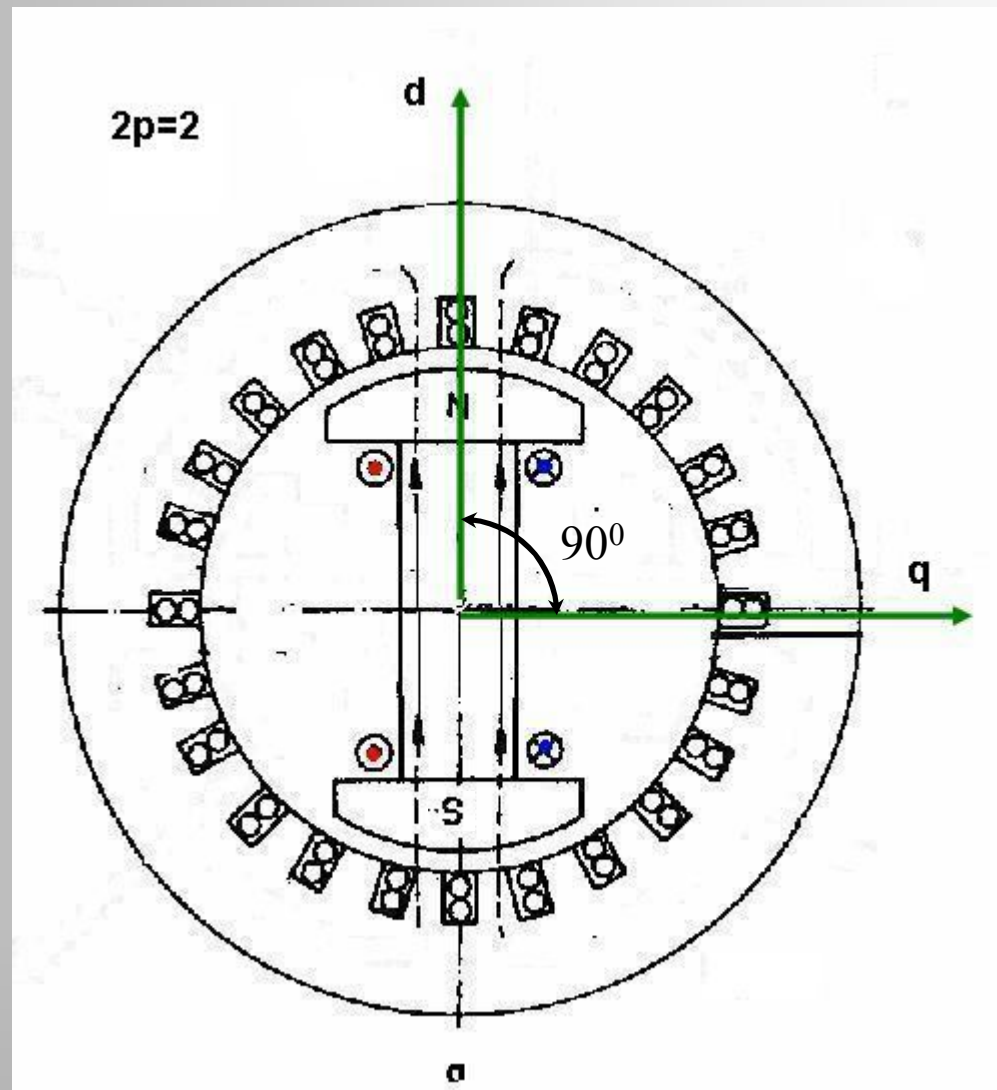
$$\Rightarrow Z = R$$

$$\vec{I} = \frac{\vec{E}}{Z} = \frac{E e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}}{R} = I_{(R)} e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

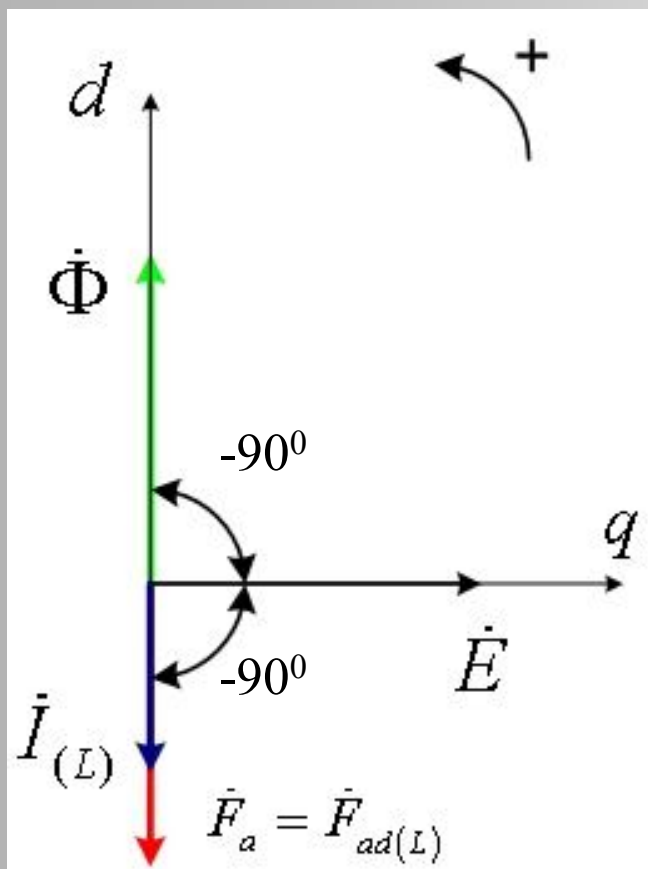
$$\Rightarrow \vec{I}_a \equiv \vec{I}_{(R)} \Rightarrow \vec{I}_a = \vec{I}_{aq}$$

Магнитни оси на синхронната машина

d – надлъжна ос, q – напречна ос



Надлъжна размагнитваща реакция на тока на котвата



$$Z = R + jX_L - jX_C = R + jX_L + (-jX_C)$$

$$\pm j = e^{\pm j\frac{\pi}{2}}$$

$$\dot{\Phi} = \Phi e^{j\omega t}$$

$$\dot{E} = -w \frac{d\dot{\Phi}}{dt} = -j\omega w \Phi e^{j\omega t} = E e^{j(\omega t - 90^\circ)}$$

$$R = 0; X_L \neq 0; X_C = 0$$

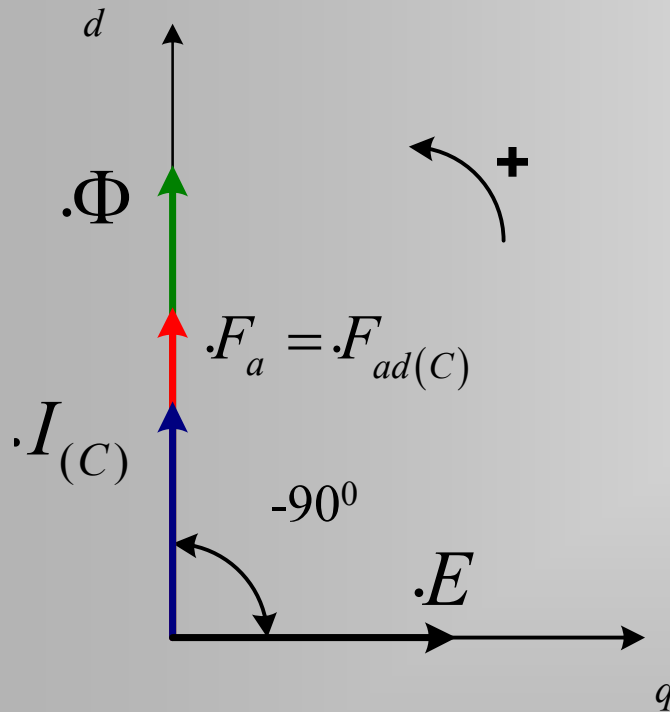
$$\Rightarrow Z = jX_L$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{Z} = \frac{E e^{j(\omega t - 90^\circ)}}{jX_L} \frac{j}{j} = -j \frac{E e^{j(\omega t - 90^\circ)}}{X_L} =$$

$$= I_{(L)} e^{j(\omega t - 90^\circ - 90^\circ)} = I_{(L)} e^{j(\omega t - 180^\circ)}$$

$$\Rightarrow \dot{I}_a \equiv \dot{I}_{(L)} \Rightarrow \dot{I}_a = \dot{I}_{ad(L)}$$

Надлъжна намагнитваща реакция на тока на котвата



$$Z = R + jX_L - jX_C = R + jX_L + (-jX_C)$$

$$\pm j = e^{\pm j\frac{\pi}{2}}$$

$$\Phi \& = \Phi e^{j\omega t}$$

$$E \& = -\omega \frac{d\Phi \&}{dt} = -j\omega \Phi e^{j\omega t} = E e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

$$R = 0; X_L = 0; X_C \neq 0$$

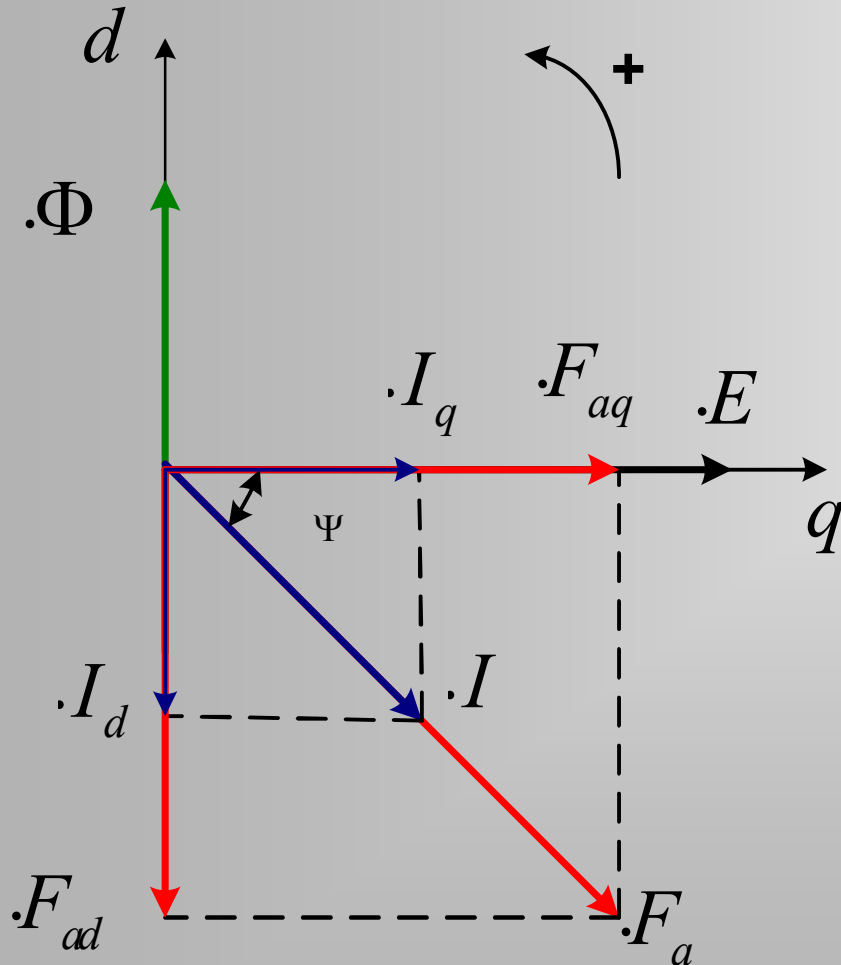
$$\Rightarrow Z = -jX_C$$

$$I \& = \frac{E \&}{Z} = \frac{E e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}}{-jX_C} \frac{j}{j} = j \frac{E e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}}{X_C} =$$

$$= I_{(C)} e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2})} = I_{(C)} e^{j\omega t}$$

$$\Rightarrow I \&_a \equiv I \&_{(C)} \Rightarrow I \&_a = I \&_{ad(C)}$$

Реакция на тока на котвата в общ вид,
при произволен товар/в случая L-R/



$$\vec{F}_a = \vec{F}_{aq} + \vec{F}_{ad}$$

$$F_{aq} = F_a \cos \Psi$$

$$F_{ad} = F_a \sin \Psi$$

$$\vec{I} = \vec{I}_q + \vec{I}_d$$

$$I_q = I \cos \Psi$$

$$I_d = I \sin \Psi$$

Уравнения и векторни диаграми на синхронния генератор

Общ случай – явнополюсна машина

$$I_B \Rightarrow \Phi_B \Rightarrow E_0 = -j\sqrt{2}\pi f_1 w k_w \Phi_B$$

$$I_{ad} \Rightarrow \Phi_{ad} \Rightarrow E_{ad} = -jI_{ad}x_{ad}$$

$$I_{aq} \Rightarrow \Phi_{aq} \Rightarrow E_{aq} = -jI_{aq}x_{aq}$$

$$\Phi_{\sigma a} \Rightarrow E_{\sigma a} = -jI_{\sigma a}$$

$$U_r = I_a$$

$$U + I_a = E_0 + E_{ad} + E_{aq} + E_{\sigma a}$$

$$U = E_0 - jI_{ad}x_{ad} - jI_{aq}x_{aq} - jI_{\sigma a} - I_a \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow E_0 = U + jI_{ad}x_{ad} + jI_{aq}x_{aq} + jI_{\sigma a} + I_a$$

$$I_a = I_{aq} + I_{ad}$$

$$F_{aq} = F_a \cos \Psi$$

$$F_{ad} = F_a \sin \Psi$$

$$I = I_q + I_d$$

$$I_q = I \cos \Psi$$

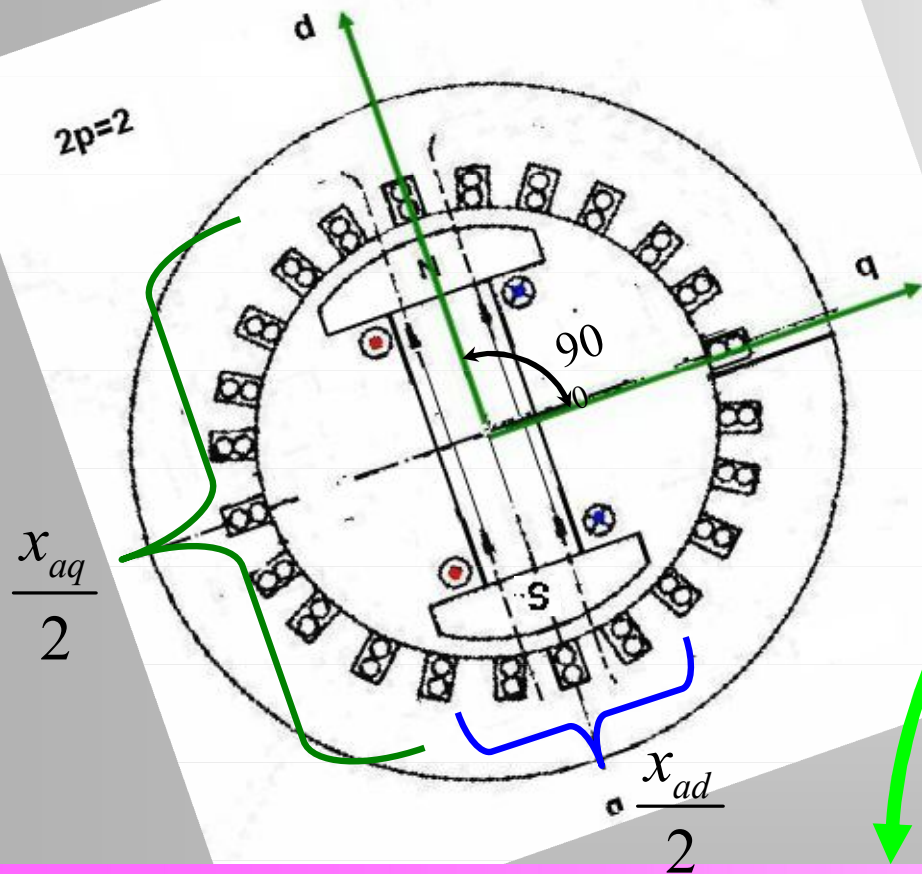
$$I_d = I \sin \Psi$$

$$x_i \equiv \frac{1}{R_{Mi}}$$

x_{ad} , x_{aq} – индуктивни съпротивления на реакцията на котвата по надлъжната и напречната ос, $x_{\sigma a}$ – индуктивно съпротивление на разсейване на котвената намотка

Магнитни оси на синхронната машина

d – надлъжна ос, **q** – напречна ос



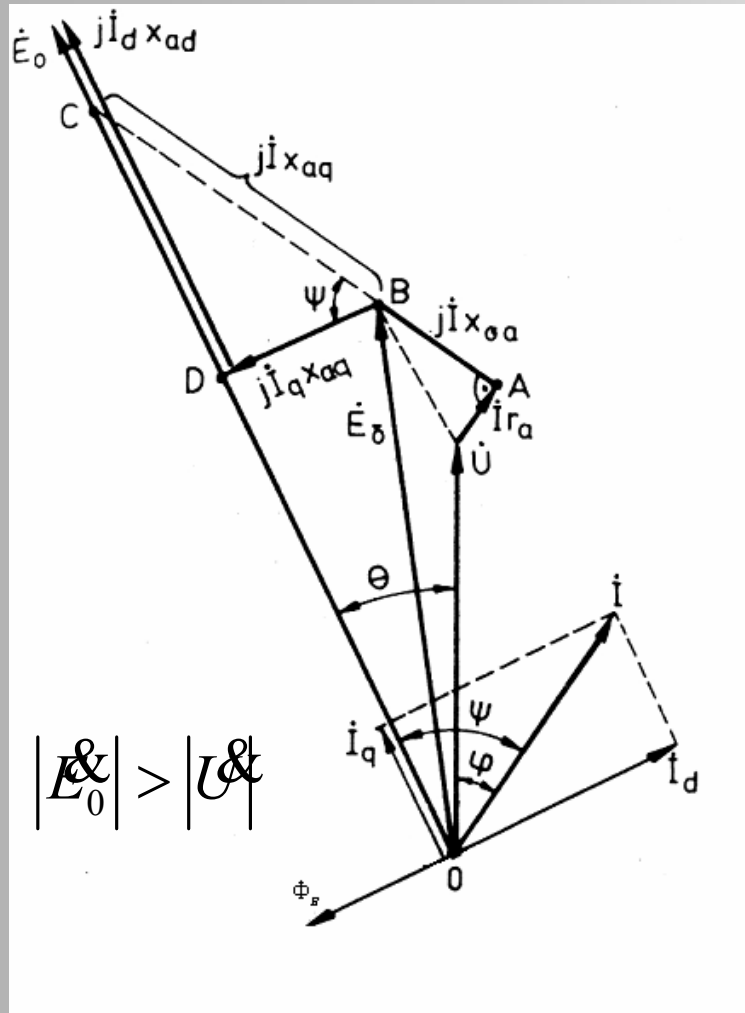
$$x_i \equiv \frac{1}{R_{Mi}}$$

$$x_{ad} \gg \gg x_{aq}$$

X_{ad} , X_{aq} – индуктивни съпротивления на реакцията на котвата по надлъжната и напречната ос, $X_{\sigma a}$ – индуктивно съпротивление на разсейване на котвената намотка

Уравнения и векторни диаграми на синхронния генератор

Общ случай – явнополусна машина



$$\theta > 0$$

$$R - L$$

$$\underline{I} = \underline{I}_q + \underline{I}_d$$

$$I_q = I \cos \Psi$$

$$I_d = I \sin \Psi$$

$$/ \underline{U} = \underline{E}_0 - j \underline{I}_d X_{ad} - j \underline{I}_q X_{aq} - j \underline{I} X_{\sigma a} - \underline{I} R_a /$$

$$\underline{E}_0 = \underline{U} + j \underline{I}_d X_{ad} + j \underline{I}_q X_{aq} + j \underline{I} X_{\sigma a} + \underline{I} R_a$$

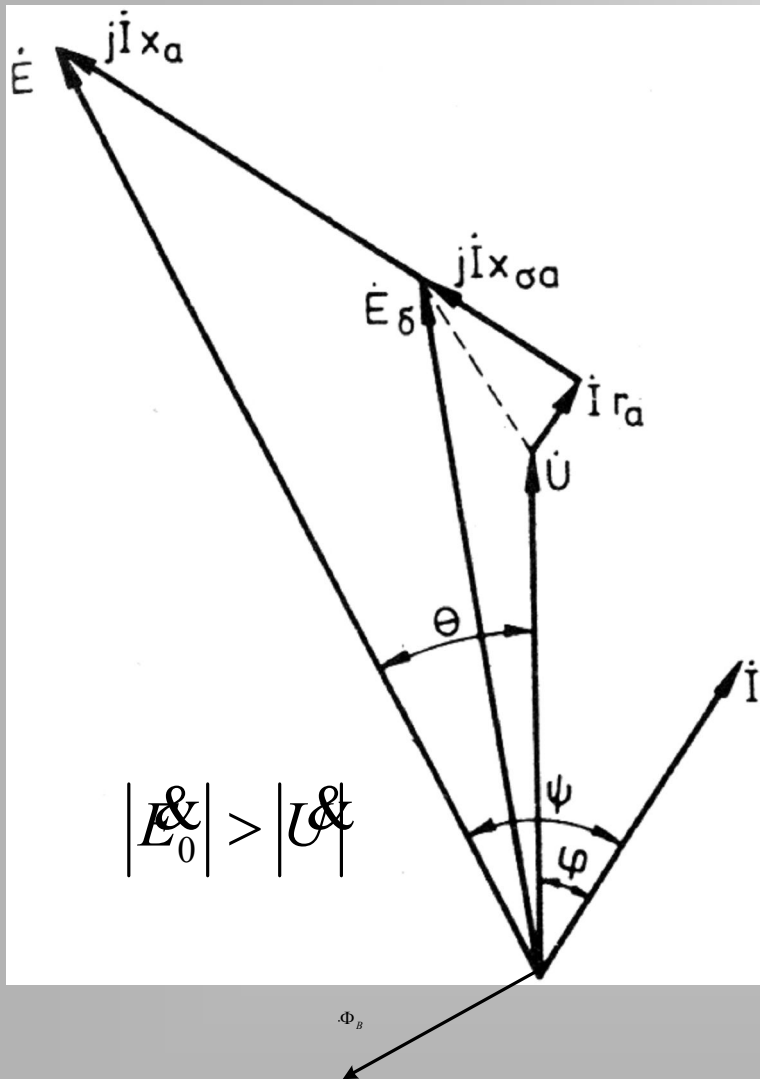
$$\underline{E}_\delta = \underline{U} + j \underline{I} X_{\sigma a} + \underline{I} R_a =$$

$$= \underline{E}_0 - j \underline{I}_d X_{ad} - j \underline{I}_q X_{aq}$$

Уравнения и векторни диаграми на синхронния генератор НЕЯВНОПОЛЮСНА МАШИНА

$$\theta > 0$$

$$R > L$$



$$x_{ad} = x_{aq} = x_a$$

$$\dot{I} = \dot{I}_q + \dot{I}_d$$

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + j\dot{I}_d x_{ad} + j\dot{I}_q x_{aq} + j\dot{I}x_{sa} + \dot{I}r_a =$$

$$= \dot{U} + jx_a (\dot{I}_q + \dot{I}_d) + j\dot{I}x_{sa} + \dot{I}r_a =$$

$$= \dot{U} + j\dot{I}x_a + j\dot{I}x_{sa} + \dot{I}r_a$$

$$\dot{E}_\delta = \dot{U} + j\dot{I}x_{sa} + \dot{I}r_a = \dot{E}_0 - j\dot{I}x_a$$

Ъглови характеристики на синхронната машина

$$P_\delta = f(\theta); \quad |M = f(\theta)|$$

$$E_0 = \text{const.}; \quad i_B = \text{const.}$$

$$U = \text{const.}; \quad f_1 = \text{const.}$$

$$P_\delta = P + p_c + mI^2 r_a \Leftrightarrow G$$

$$P_\delta = P - p_c - mI^2 r_a \Leftrightarrow M$$

$$P = mUI \cos \varphi$$

$$p_c = 0; \quad r_a = 0 \Rightarrow P_\delta = P = mUI \cos \varphi$$

$$M = \frac{P_\delta}{\Omega_1} = \frac{P_\delta}{2\pi n_1}$$

$$\begin{aligned} \underline{E}_0 &= \underline{U} + j\underline{I}_d x_{ad} + j\underline{I}_q x_{aq} + j\underline{I}_\sigma x_{\sigma a} = \\ &= \underline{U} + j\underline{I}_d x_{ad} + j\underline{I}_q x_{aq} + j(\underline{I}_q + \underline{I}_d) x_{\sigma a} = \\ &= \underline{U} + j\underline{I}_d (x_{ad} + x_{\sigma a}) + j\underline{I}_q (x_{aq} + x_{\sigma a}) = \\ &= \underline{U} + j\underline{I}_d x_d + j\underline{I}_q x_q \end{aligned}$$

$$x_d = x_{ad} + x_{\sigma a}$$

$$x_q = x_{aq} + x_{\sigma a}$$

ЕИ

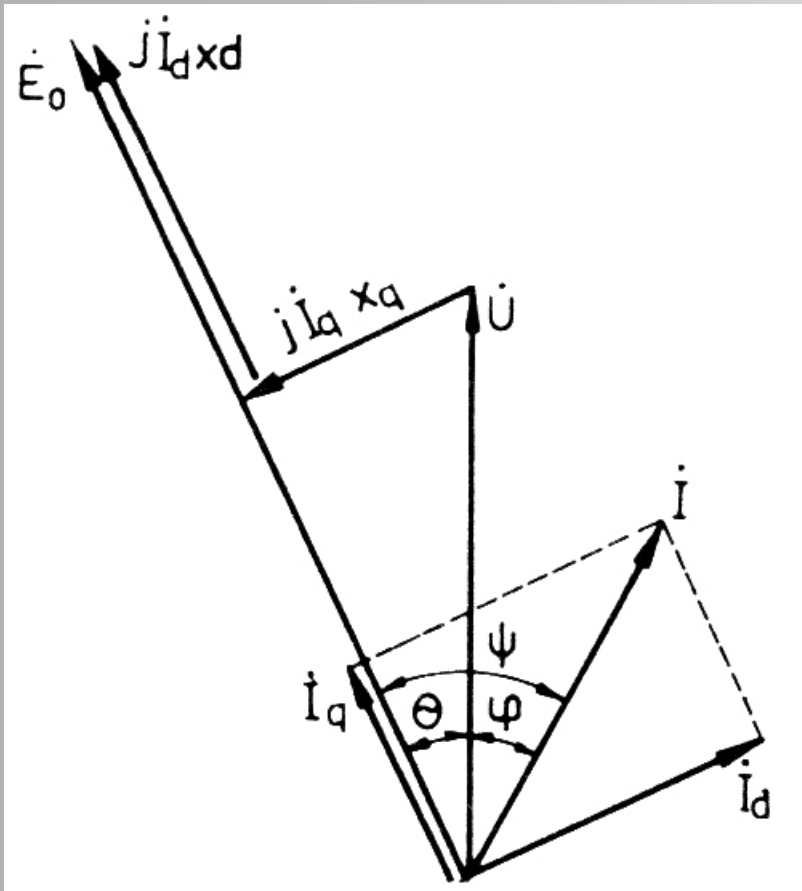
Ъглови характеристики на синхронната машина

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + jI_d x_d + jI_q x_q$$

$$P_\delta = f(\theta); \quad M = f(\theta)/\omega$$

$$E_0 = \text{const.}; \quad i_B = \text{const.}$$

$$U = \text{const.}; \quad f_1 = \text{const.}$$



$$E_0 = U \cos \theta + I_d x_d \Leftrightarrow I_d = \frac{E_0 - U \cos \theta}{x_d}$$

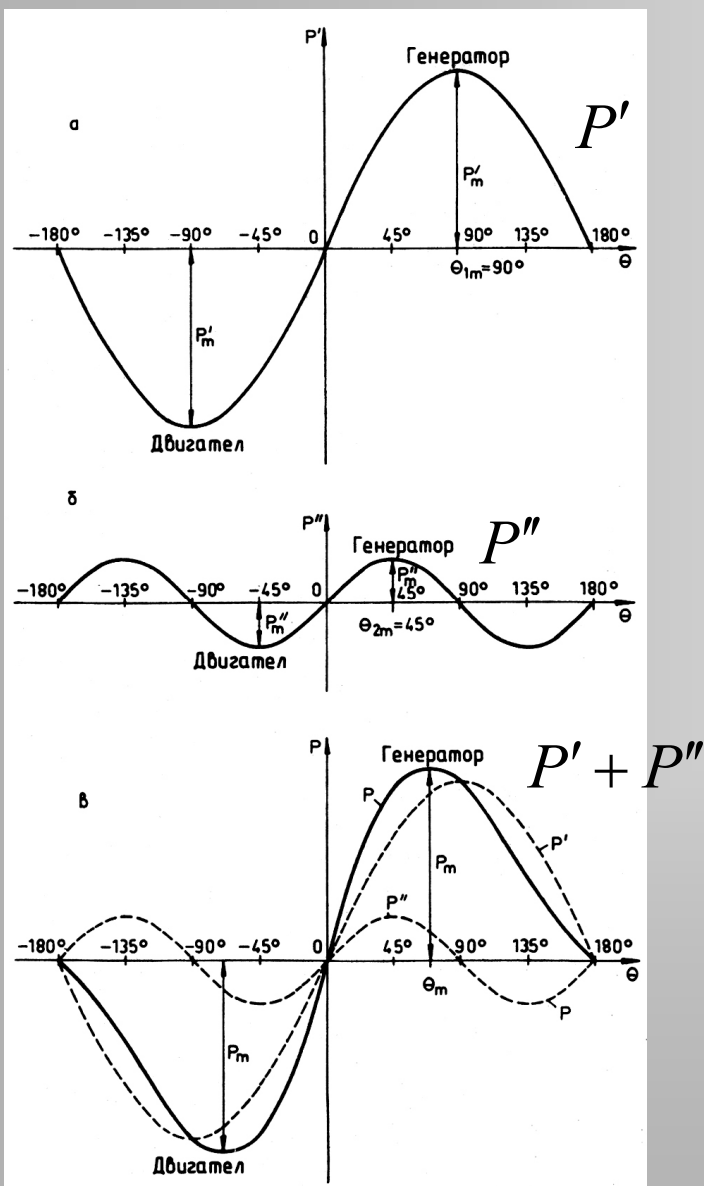
$$U \sin \theta = I_q x_q \Leftrightarrow I_q = \frac{U \sin \theta}{x_q}$$

$$P = mUI \cos \varphi = mUI \cos(\Psi - \theta) =$$

$$= mU(I \cos \Psi \cos \theta + I \sin \Psi \sin \theta) =$$

$$= mU(I_q \cos \theta + I_d \sin \theta)$$

Ъглови характеристики на синхронната машина



$$P = \frac{mE_0U}{x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta = P' + P''$$

$$1/ \quad x_q = x_d \Rightarrow P'' = 0$$

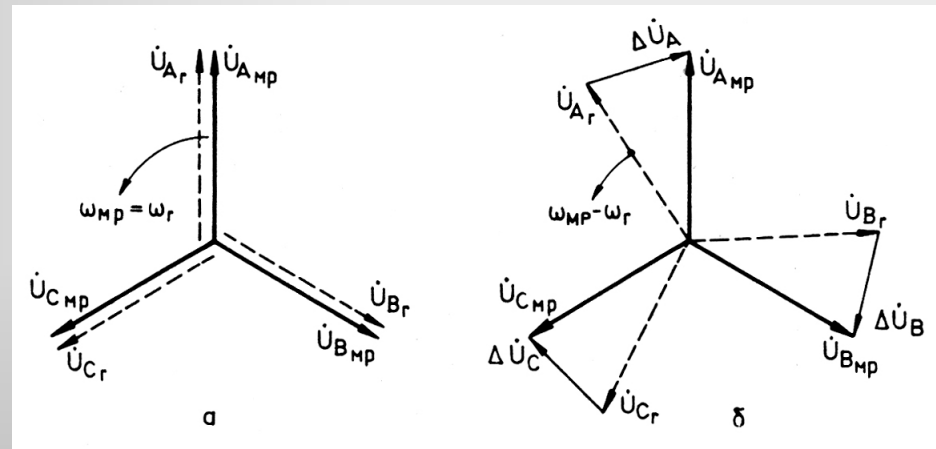
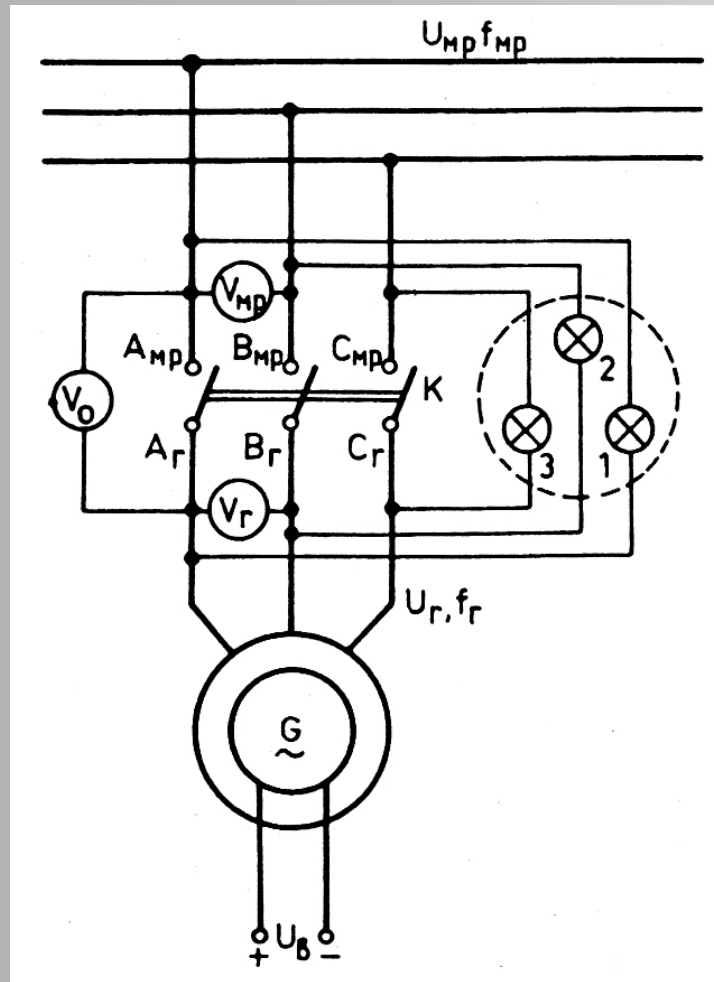
$$P = P' = \frac{mE_0U}{x_d} \sin \theta \neq 0$$

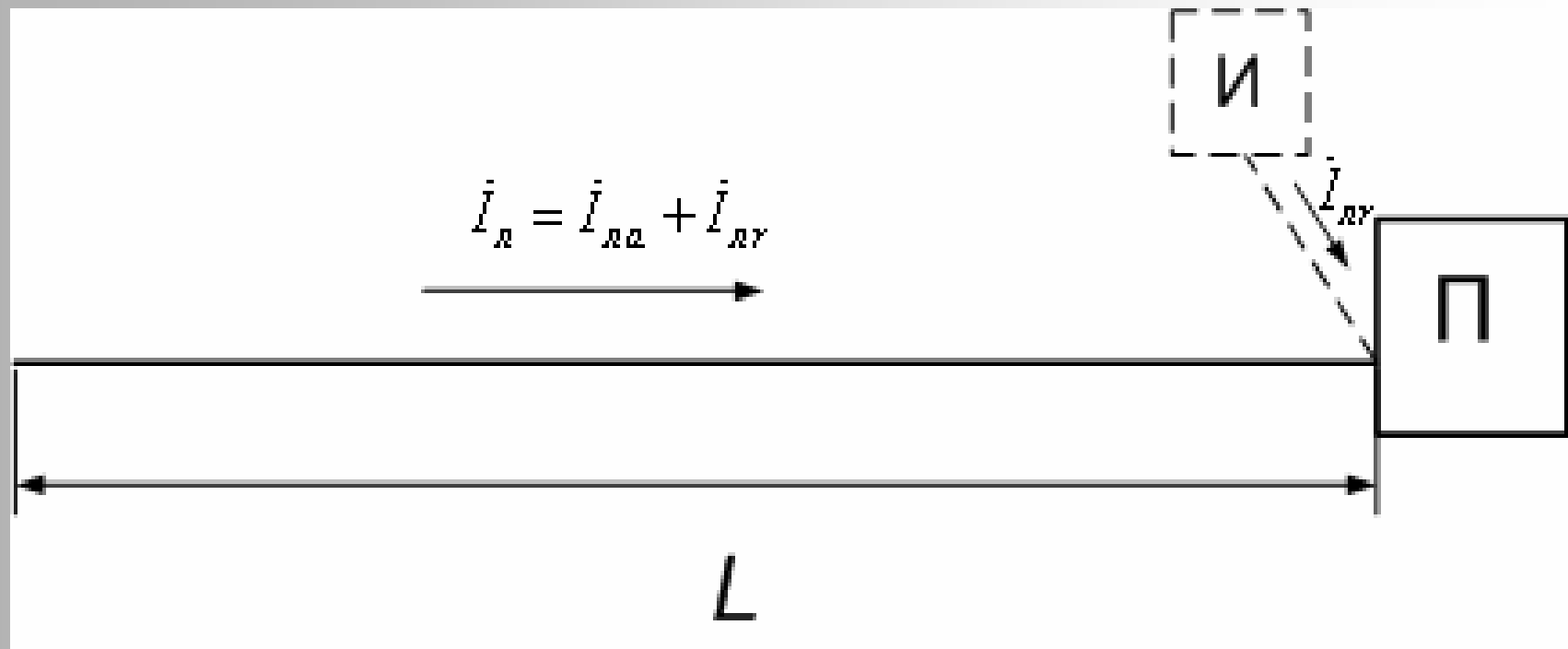
$$2/ \quad I_B = 0 \quad P' = \frac{mE_0U}{x_d} \sin \theta = 0$$

$$2.1 \quad x_q \neq x_d \Rightarrow P = P'' = \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \neq 0$$

$$2.2 \quad x_q = x_d \Rightarrow P = P'' = \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta = 0$$

Включване на синхронните генератори в паралелна работа /с мрежата/





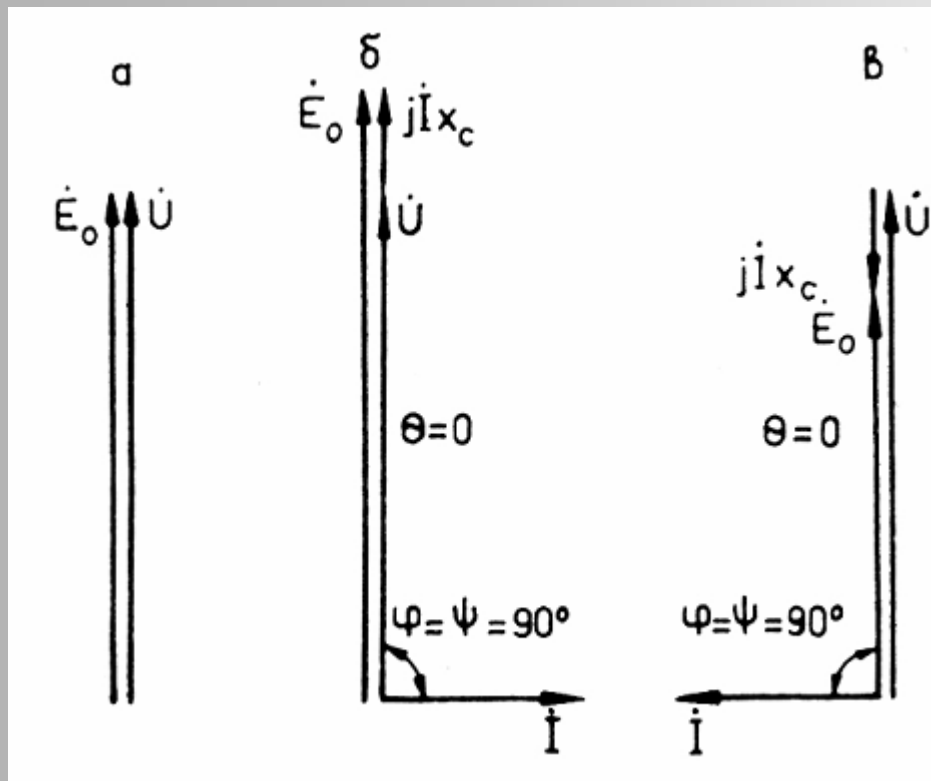
$$I_a = I \cos \varphi, \quad I_r = I \sin \varphi, \quad I^2 = I_a^2 + I_r^2$$

$$P_{ЕЛ} = 3(I_{ла}^2 + I_{лr}^2)r_{Л} = 3I_{ла}^2 r_{Л} + 3I_{лr}^2 r_{Л}$$

Режими на синхронната машина при паралелна работа /с мрежата/

$\theta=0$ - синхронен компенсатор

$\theta = 0$

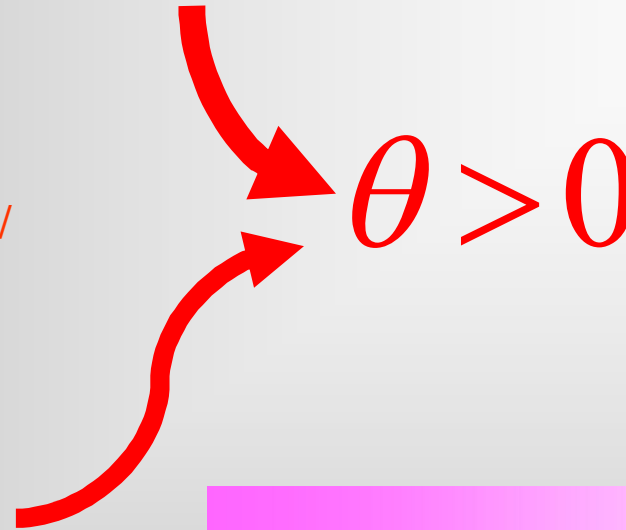
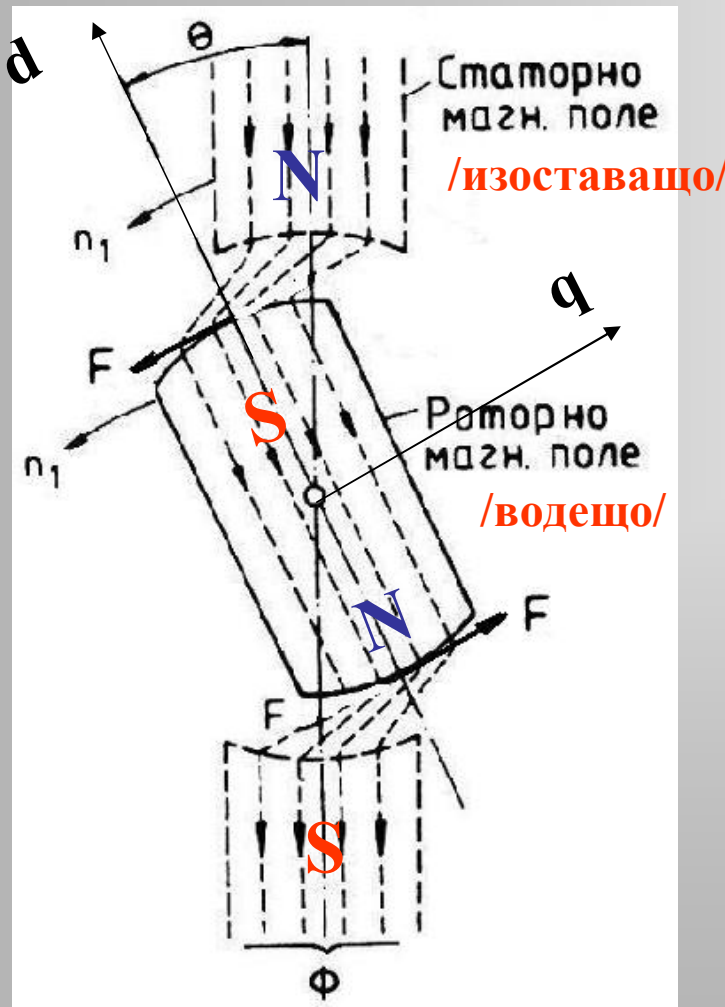


$U = const.; f = const.$

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + j\dot{I}x_c$$

$$x_c = x_{a(d)} + x_{\sigma a}$$

Принцип на действие на синхронната машина Синхронен ГЕНЕРАТОР



$$P_1 = P_{\text{мех}} = M\Omega = M \frac{2\pi n_1}{(60)}$$

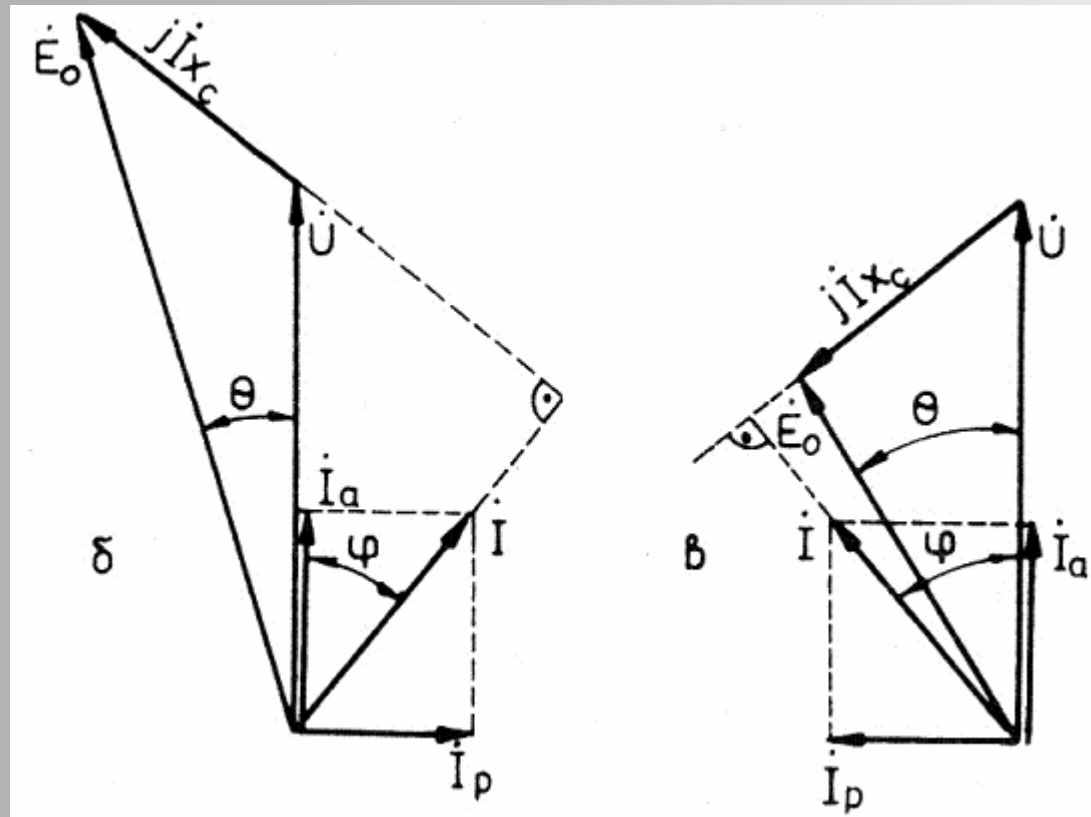
$$f_1 = \frac{pn_1}{(60)}$$

$$P_2 = P_{\text{ел}} = m_2 U_2 I_2 \cos \varphi$$

Режими на синхронната машина при паралелна работа /с мрежата/

$\theta > 0$ - синхронен генератор

$\theta > 0$



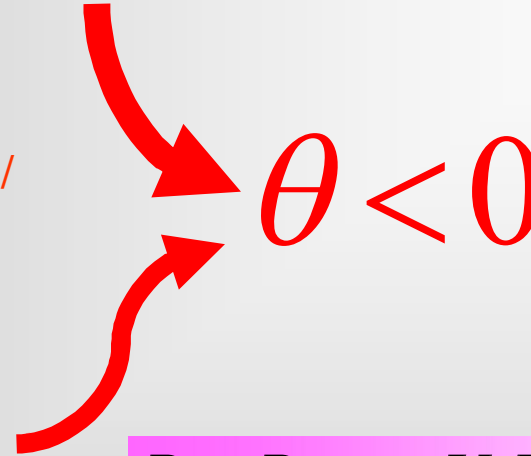
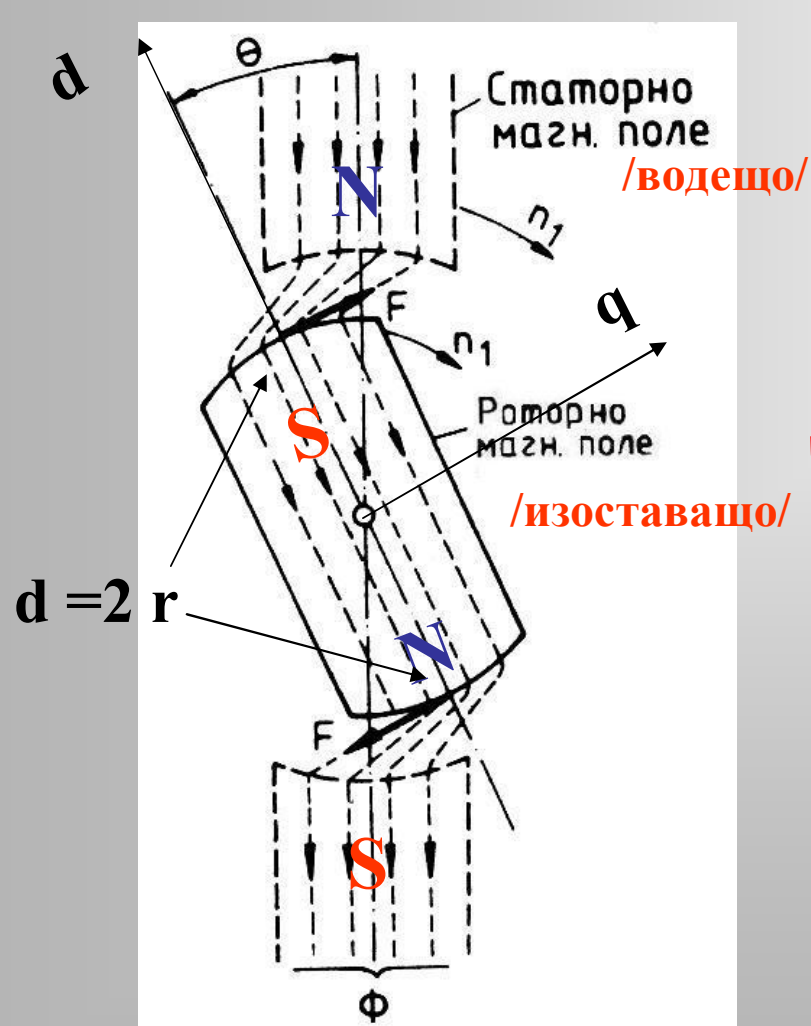
$U = const.; f = const.$

$$E_0 = U + jI_a X_c$$

$$X_c = X_{a(d)} + X_{\sigma a}$$

Принцип на действие на синхронната машина

Синхронен ДВИГАТЕЛ



$$P_1 = P_{ел} = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi$$

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

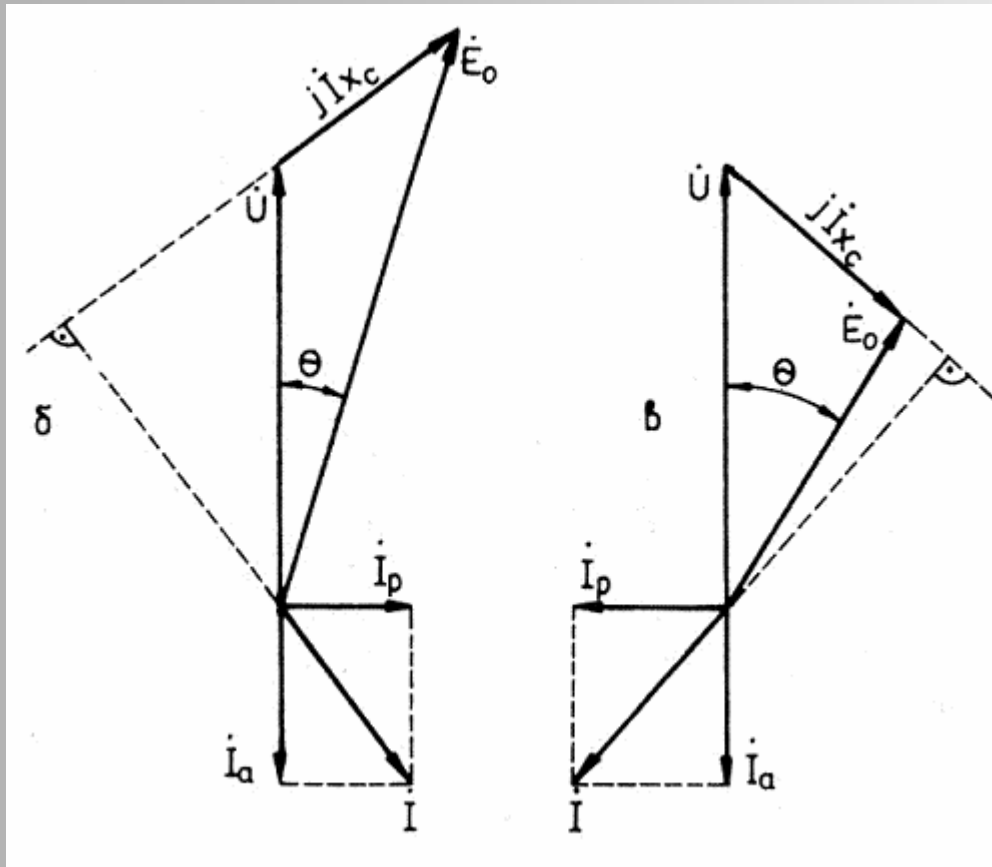
$$P_2 = P_{мех} = M \Omega = M \frac{2\pi n_1}{(60)}$$

$$(M = 2F r = F d)$$

Режими на синхронната машина при паралелна работа /с мрежата/

$\theta < 0$ - синхронен двигател

$\theta < 0$



$U = const.; f = const.$

$\dot{E}_0 = \dot{U} + j\dot{I}_a x_c$

$x_c = x_{a(d)} + x_{\sigma a}$



ЕМУ / Синхронни машини /
М. Михов - ЕФ

42