

Асинхроне машине

- Асинхроне машине -

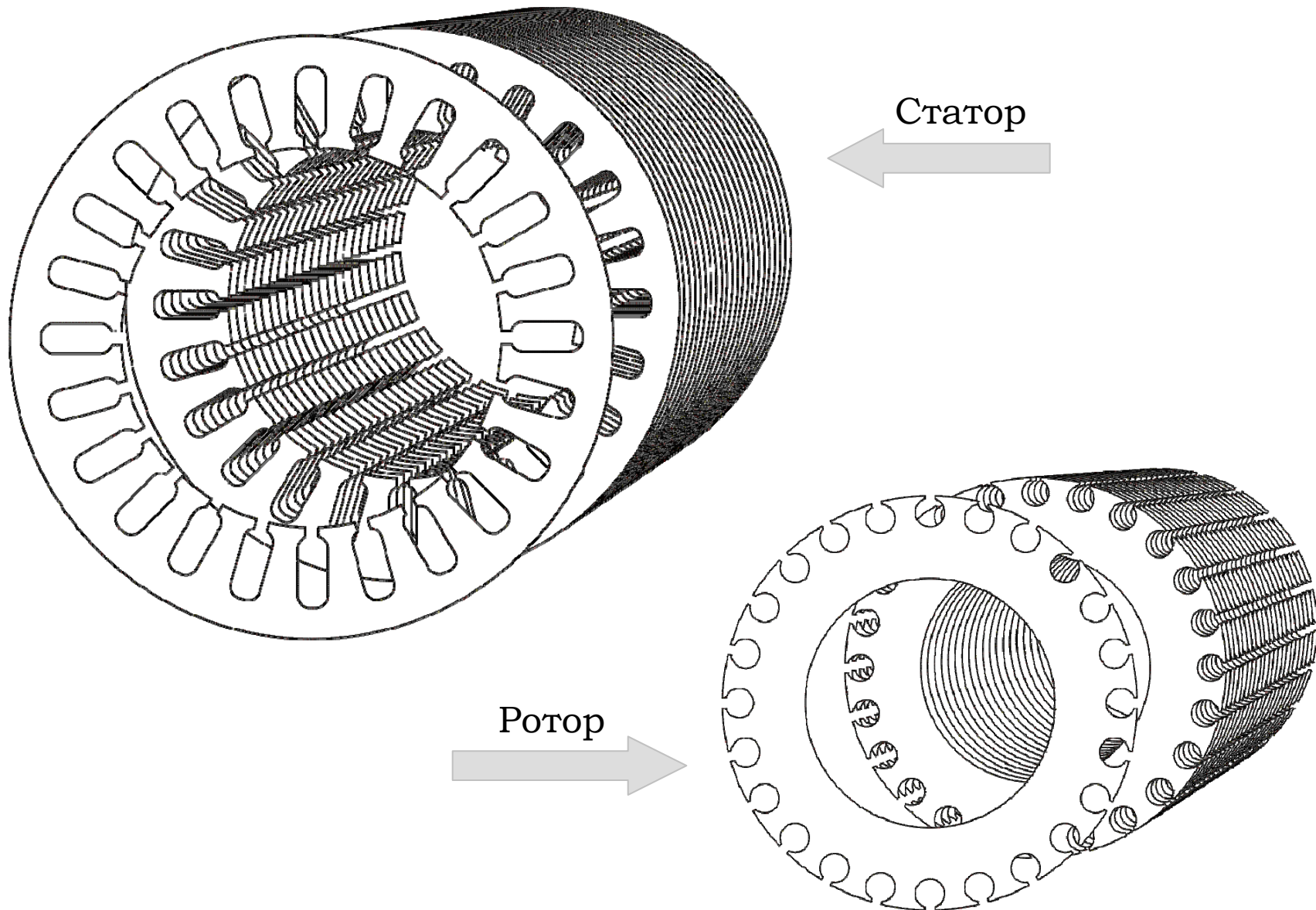
Конструкција



Делови машине 

- Асинхроне машине -

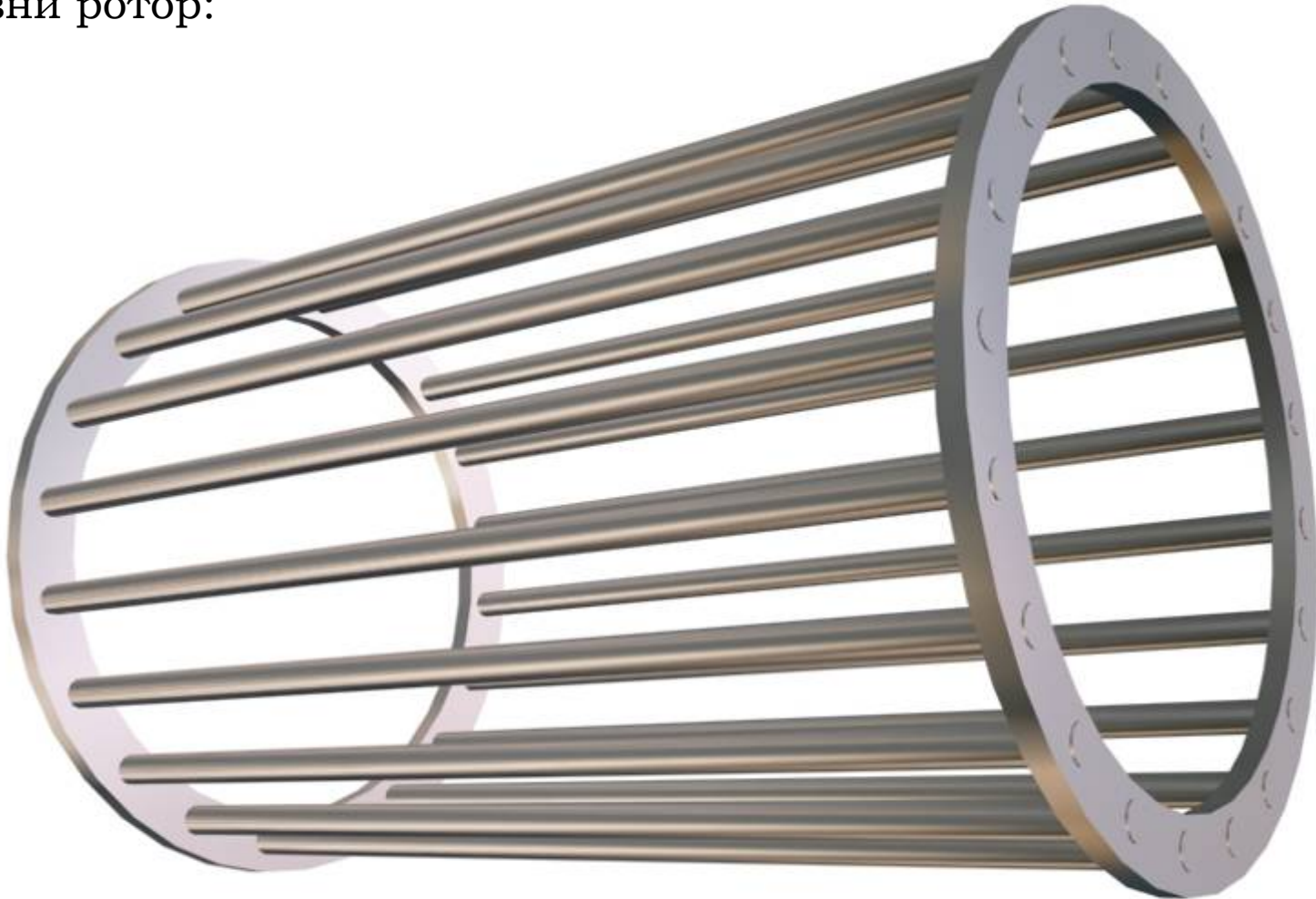
Конструкција, магнетско коло



- Асинхроне машине -

Конструкција, струјно коло ротора

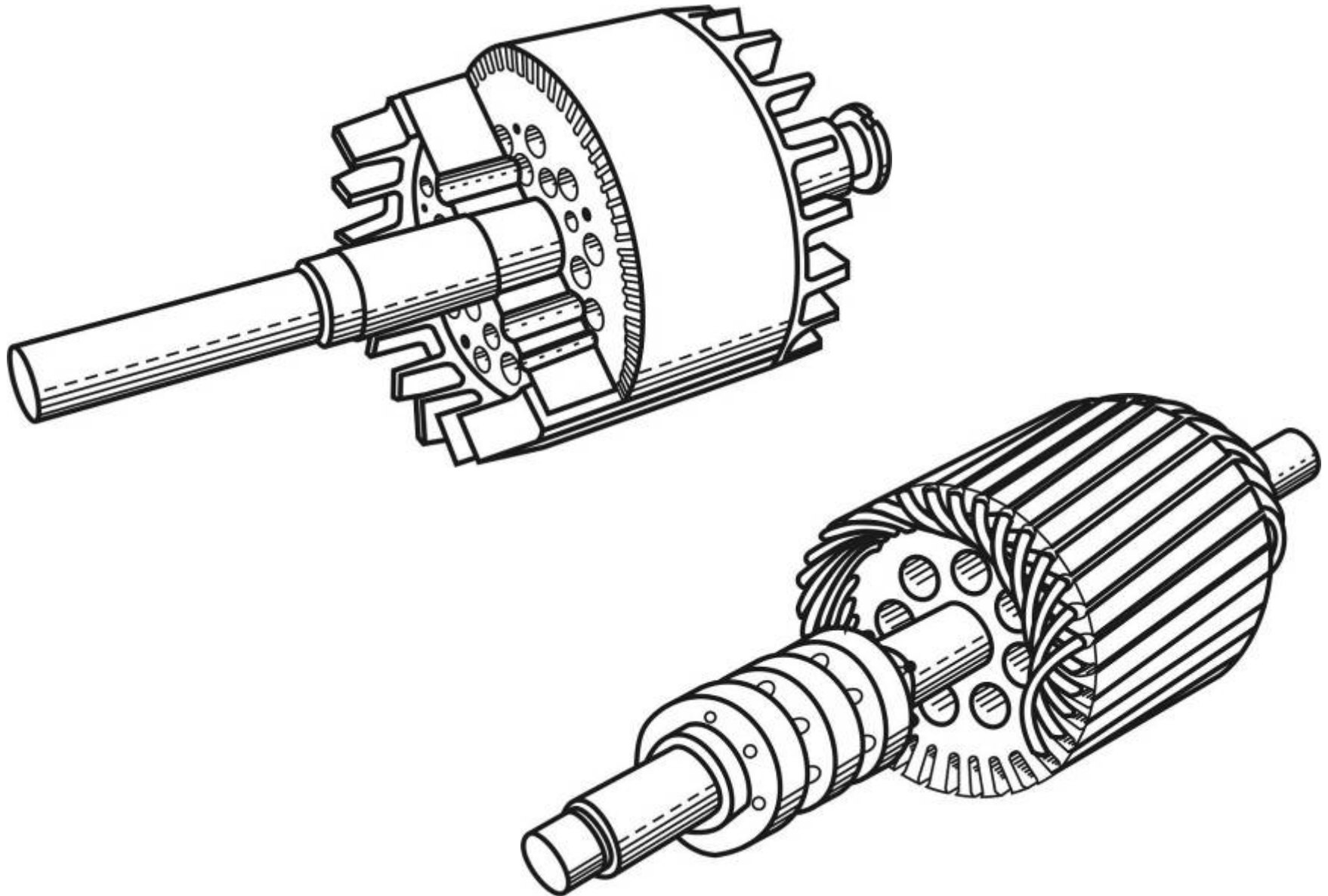
Кавезни ротор:



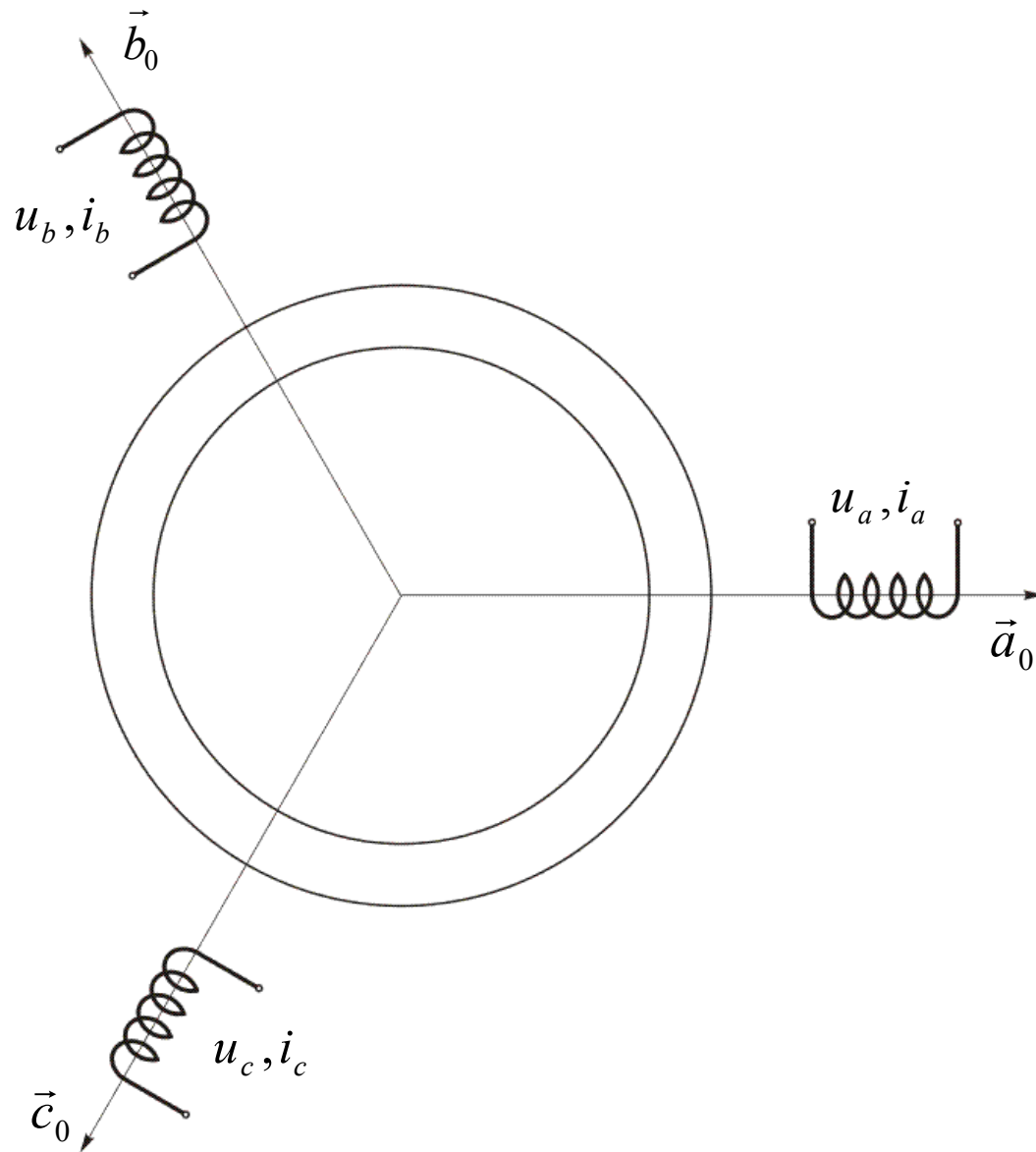
Положај ротора 

- Асинхронне машине -

Изглед ротора



Принцип рада



$$i_a = I_m \cos \omega_s t$$

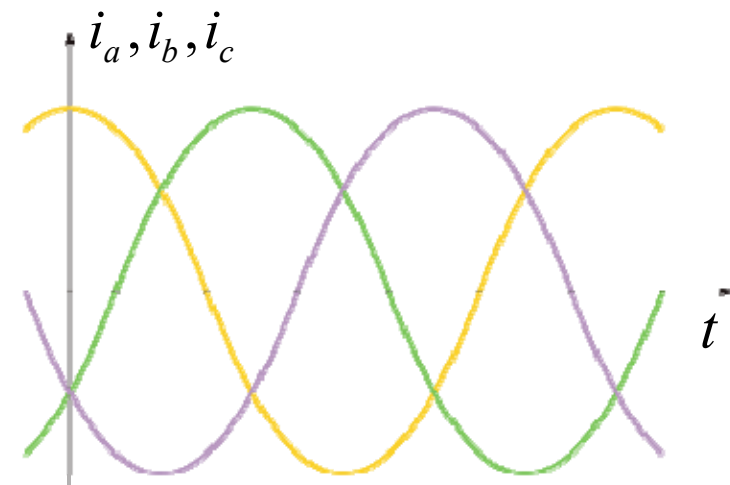
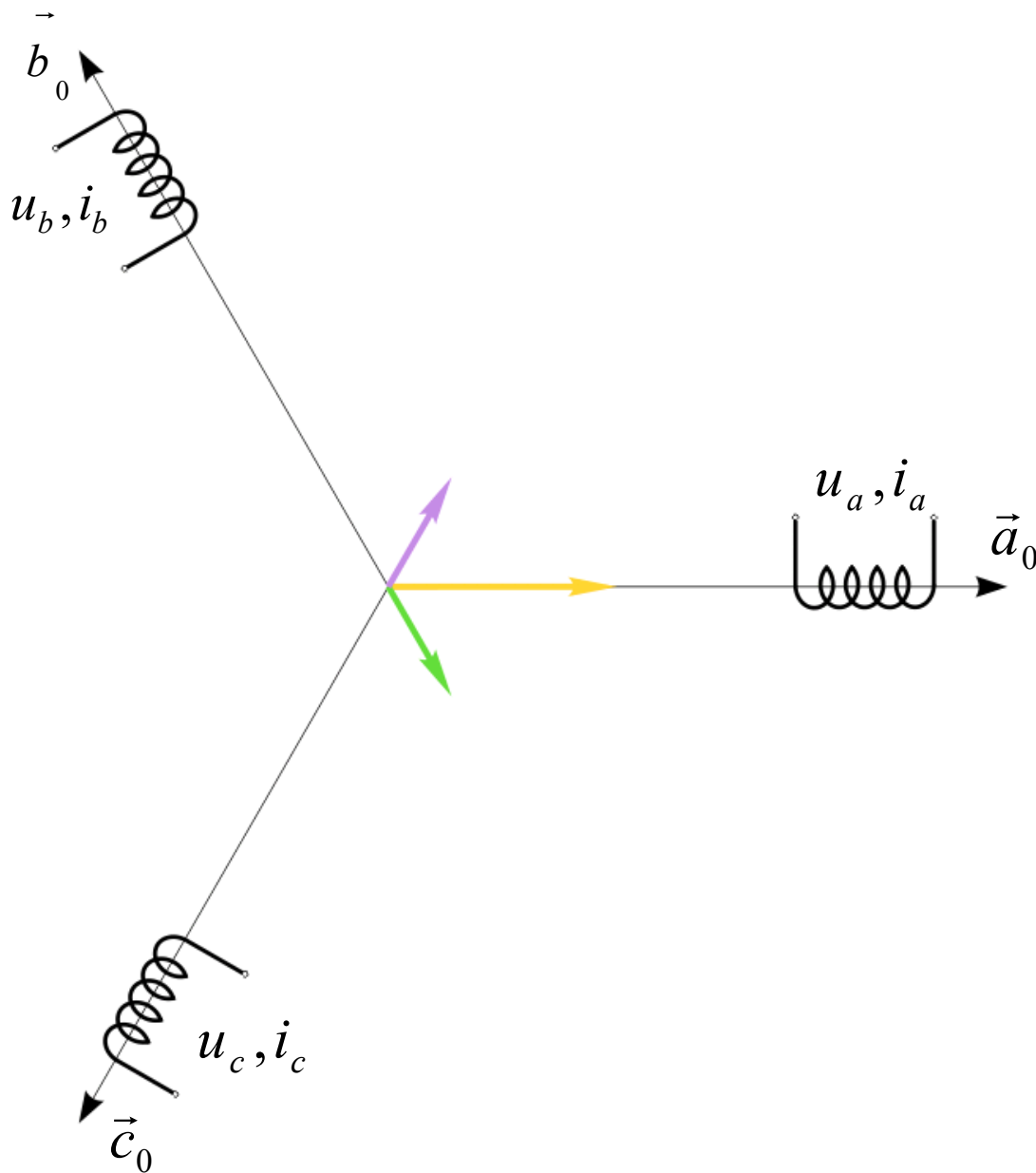
$$i_b = I_m \cos\left(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$i_c = I_m \cos\left(\omega_s t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Конвенција о обележавању ►

Расподела проводника ►

Принцип рада



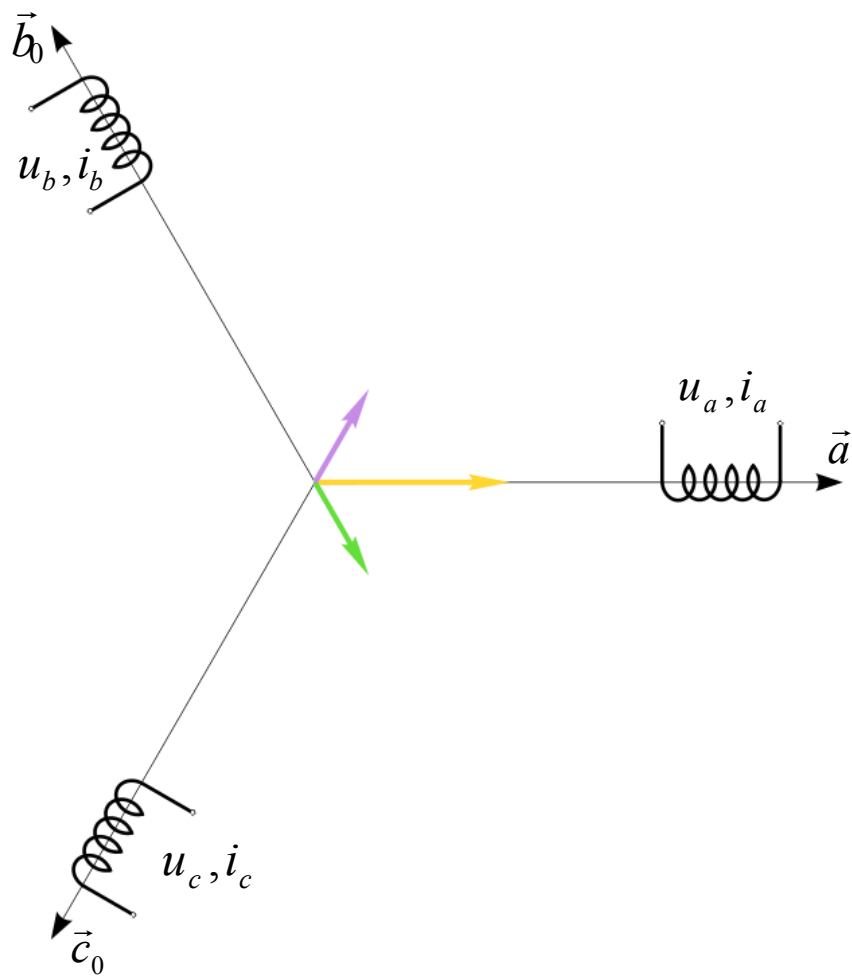
■ $F_a = N_s I_m \cos \omega_s t$

■ $F_b = N_s I_m \cos(\omega_s t - \frac{2\pi}{3})$

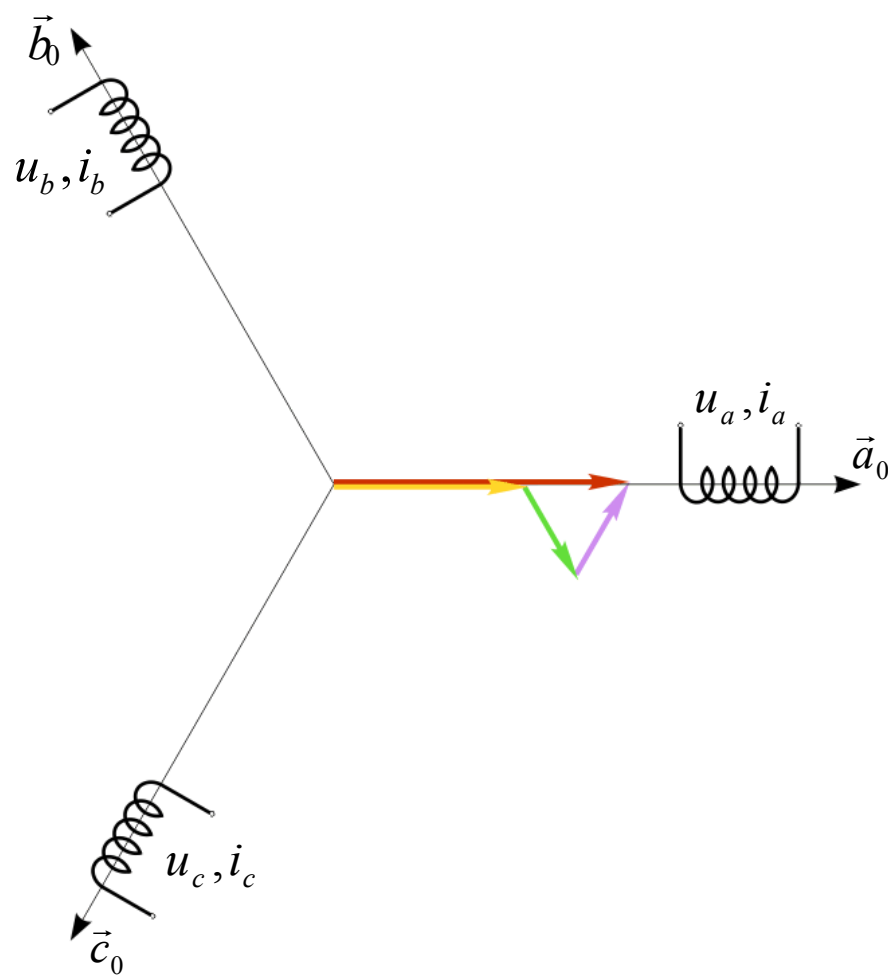
■ $F_c = N_s I_m \cos(\omega_s t - \frac{4\pi}{3})$

- Асинхронне машине -

Принцип рада



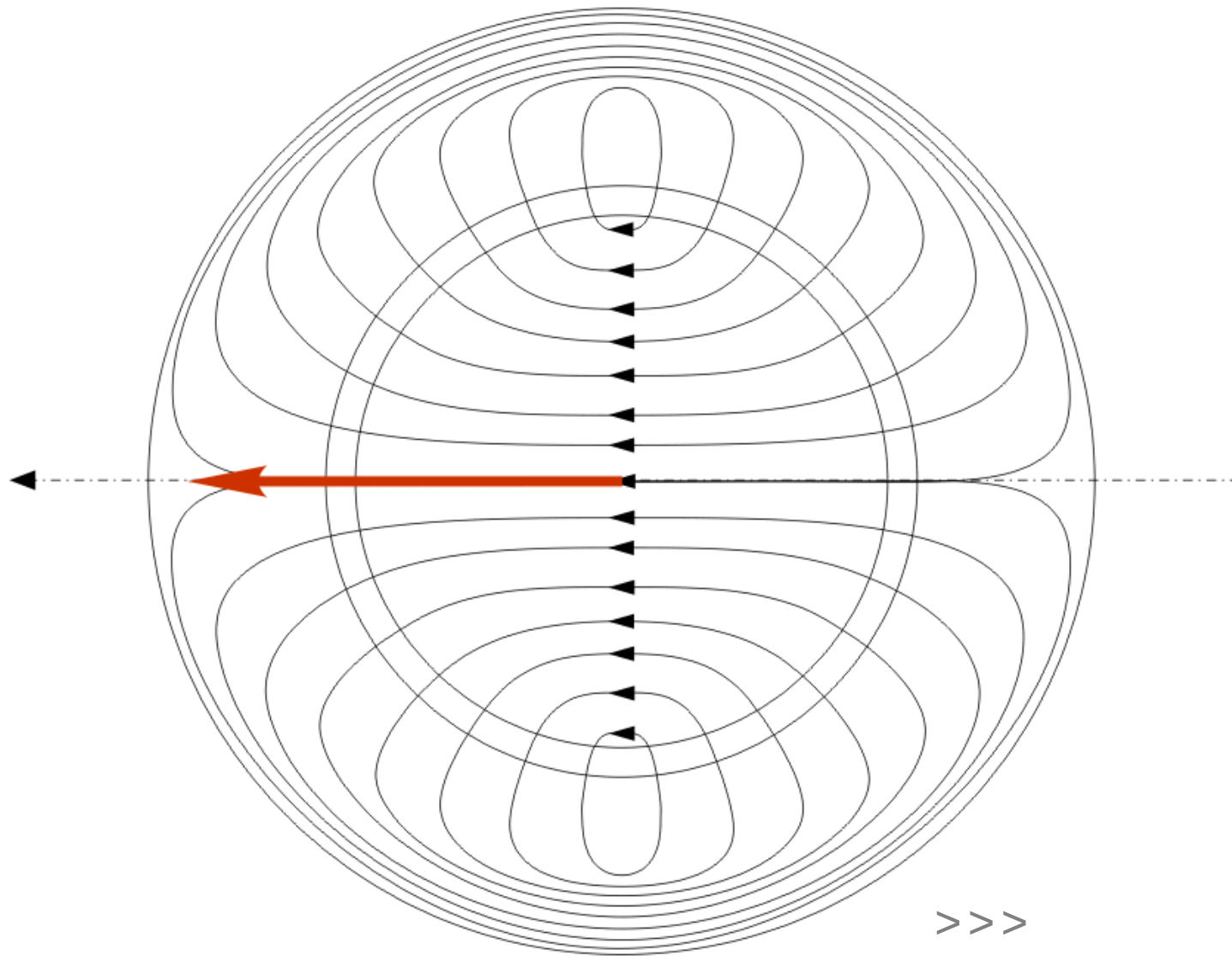
$$\text{Yellow bar} \quad \vec{F}_a \quad \text{Green bar} \quad \vec{F}_b \quad \text{Purple bar} \quad \vec{F}_c$$



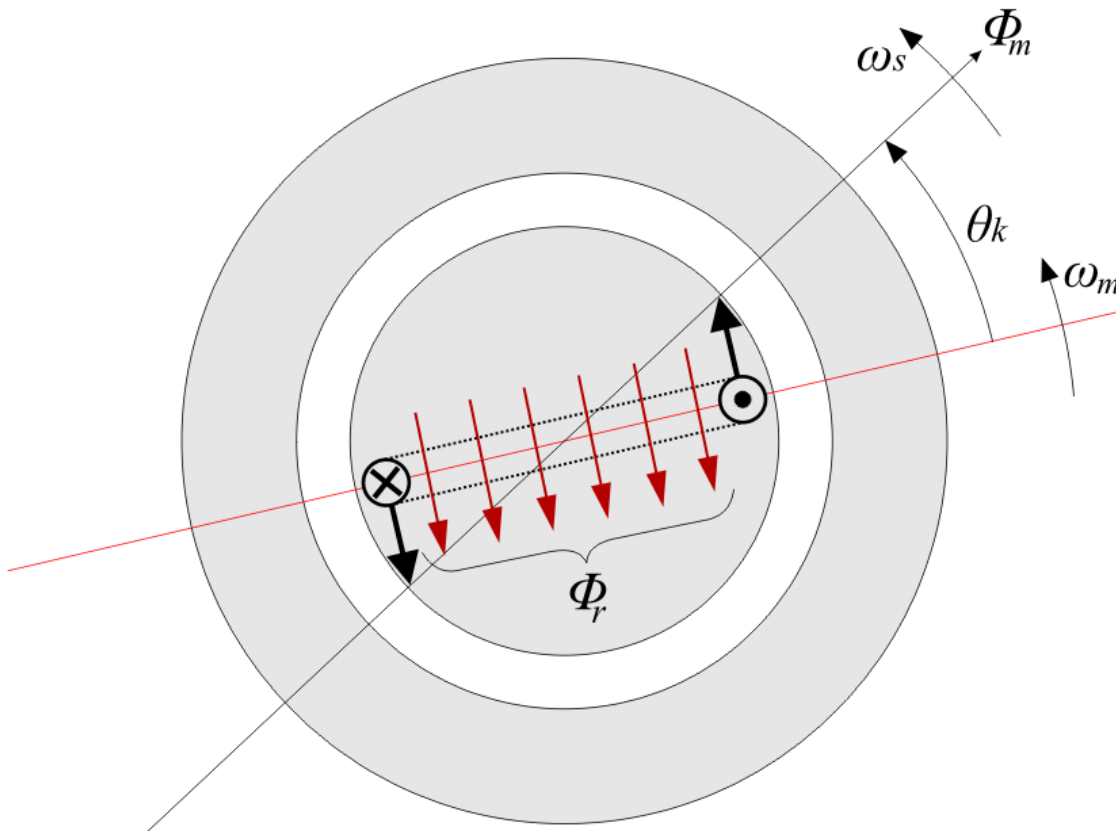
$$\text{Red bar} \quad \vec{F}_s = \vec{F}_a + \vec{F}_b + \vec{F}_c$$

- Асинхроне машине -

Принцип рада



Принцип рада



$$\omega_k = \omega_s - \omega_m > 0$$

$$\theta_k = \theta_{k_0} + \int_0^t \omega_k d\tau$$

За случај са слике важи:

$$\Phi_R = -\Phi_m \cdot \sin(\theta_k)$$

$$e = \frac{d\Phi_R}{dt} = -\Phi_m \cdot \omega_k \cos(\theta_k)$$

$$u = 0 = Ri_R + e \Rightarrow$$

$$i_R = +\frac{\Phi_m \cdot \omega_k}{Z_R} \cos(\theta_k)$$

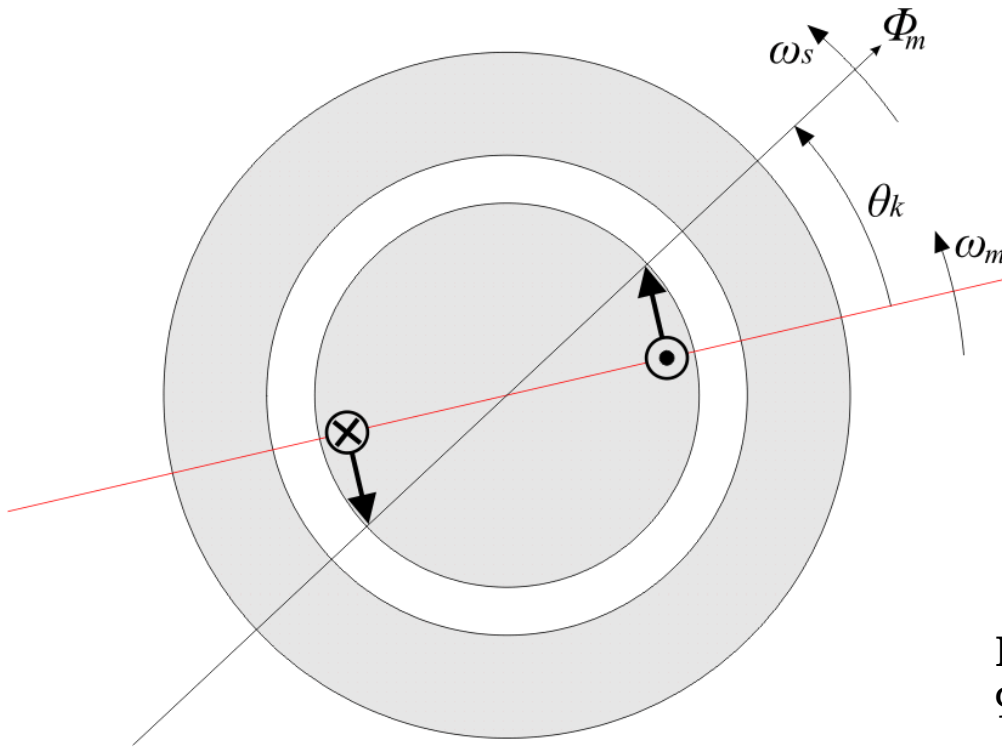
Принцип рада

$$B = K \cdot \Phi_m \cos(\theta_k)$$

$$M_{em} = 2 \cdot R \cdot L \cdot i_{R_1} \cdot B$$

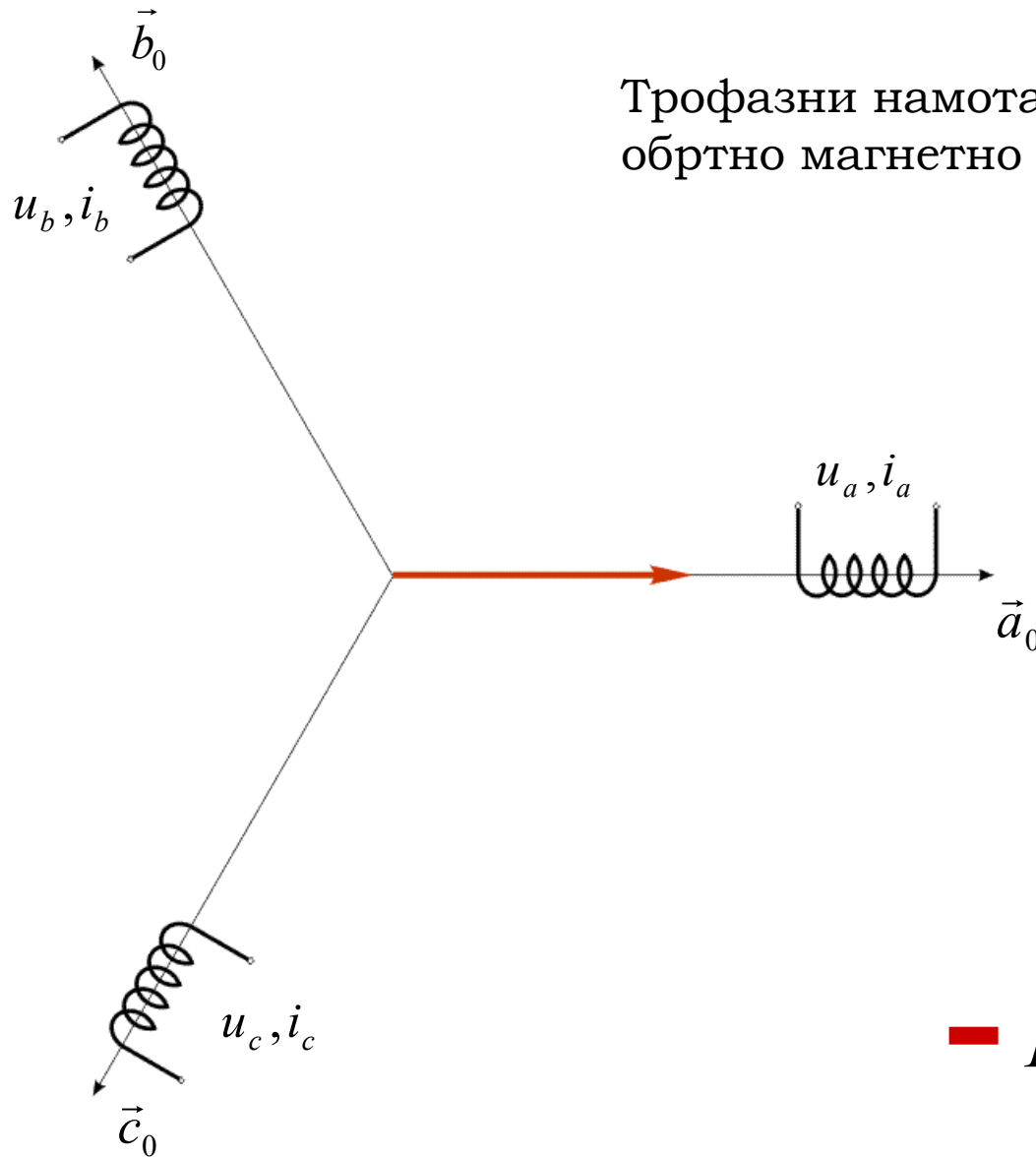
$$M_{em} = K' \cdot \Phi_m^2 \cdot \cos^2(\theta_k) \omega_k$$

$$\omega_k = \omega_s - \omega_m$$



Напомена: када угао тета(к) премаши 90 степени, индукција В на месту роторског проводника мења смер. Истовремено, флукс ротора почне да опада, тако да се мења и смер струје, тако да сила која делује на проводник не мења смер.

Моделовање

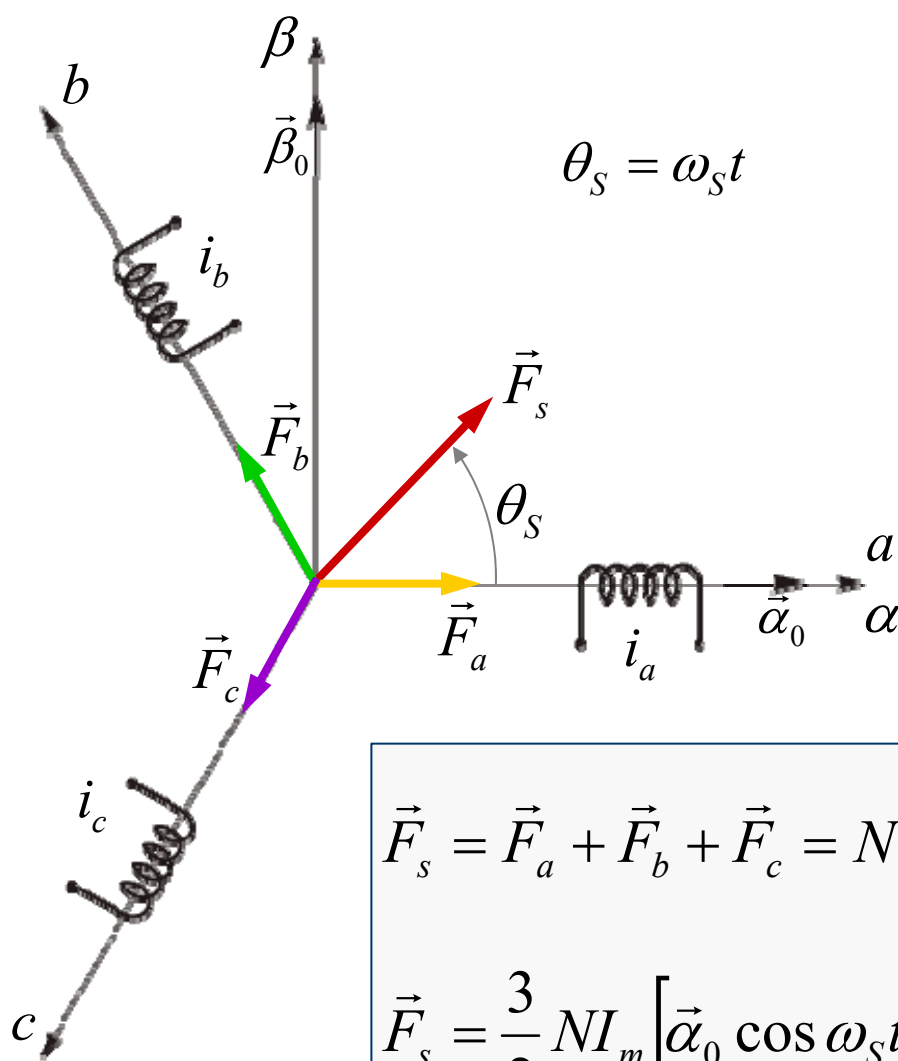


Трофазни намотај на статору ствара
обртно магнетно поље:

$$\text{— } \vec{F}_s = \vec{F}_a + \vec{F}_b + \vec{F}_c$$

Моделовање

Вектор МПС се може разложити на следећи начин:



$$i_a = I_m \cos \omega_s t,$$

$$i_b = I_m \cos(\omega_s t - 2\pi / 3),$$

$$i_c = I_m \cos(\omega_s t - 4\pi / 3).$$

$$\vec{F}_a = N i_a \vec{\alpha}_0,$$

$$\vec{F}_b = N i_b \left(-\frac{1}{2} \vec{\alpha}_0 + \frac{\sqrt{3}}{2} \vec{\beta}_0 \right),$$

$$\vec{F}_c = N i_c \left(-\frac{1}{2} \vec{\alpha}_0 - \frac{\sqrt{3}}{2} \vec{\beta}_0 \right).$$

$$\vec{F}_s = \vec{F}_a + \vec{F}_b + \vec{F}_c = N \left[\vec{\alpha}_0 \left(i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2} \right) + \vec{\beta}_0 \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \right]$$

$$\vec{F}_s = \frac{3}{2} N I_m \left[\vec{\alpha}_0 \cos \omega_s t + \vec{\beta}_0 \sin \omega_s t \right]$$

Моделовање

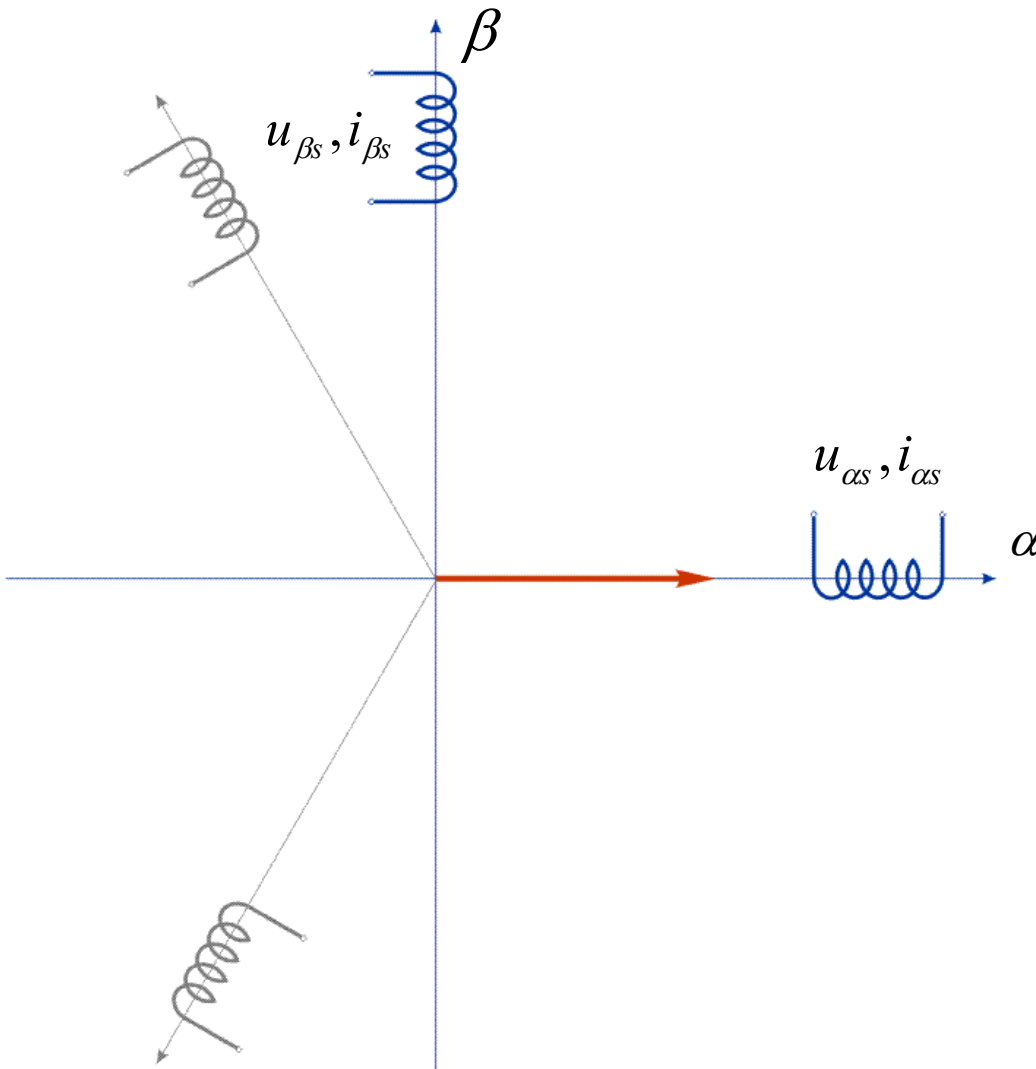
Трофазно-двофазна трансформација:

$$\vec{F}_s = \vec{F}_{\alpha s} + \vec{F}_{\beta s}$$

Заменом намотаја abc
двофазним сетом алфа-бета
намотаја са једнаким бројем
Навојака и са са струјама
одређеним као:

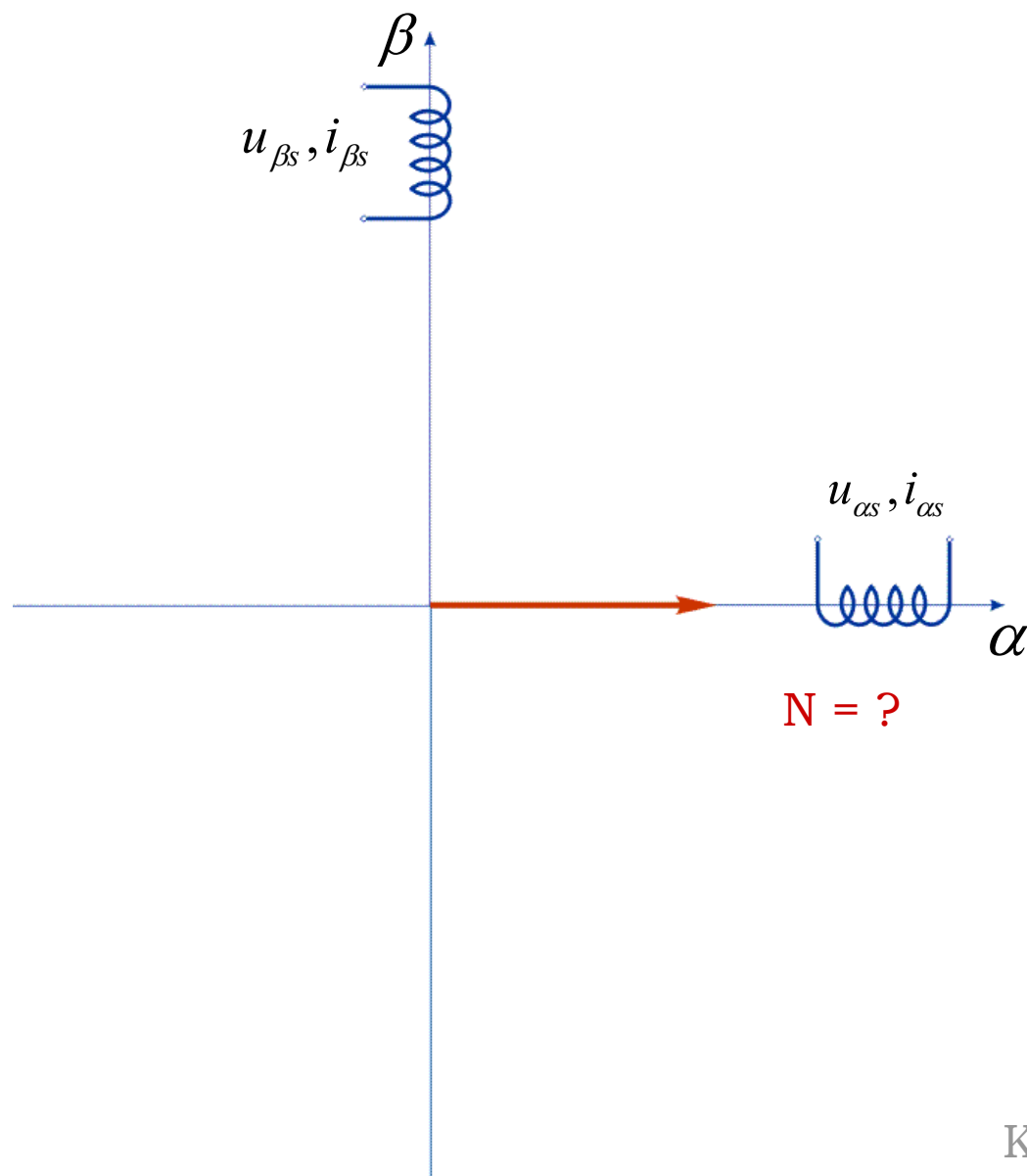
$$i_{\alpha s} = i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2} = \frac{3}{2} i_a$$
$$i_{\beta s} = \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c)$$

... добија се МПС машине
једнака претходној, па се тако
има и једнак флуks и момент

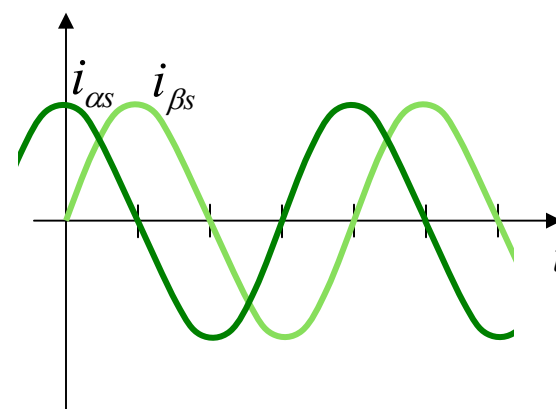


Моделовање 3h/24h

Трофазно-двофазна трансформација – Кларкина трансформација:



■ $\vec{i}_{\alpha s}$ ■ $\vec{i}_{\beta s}$

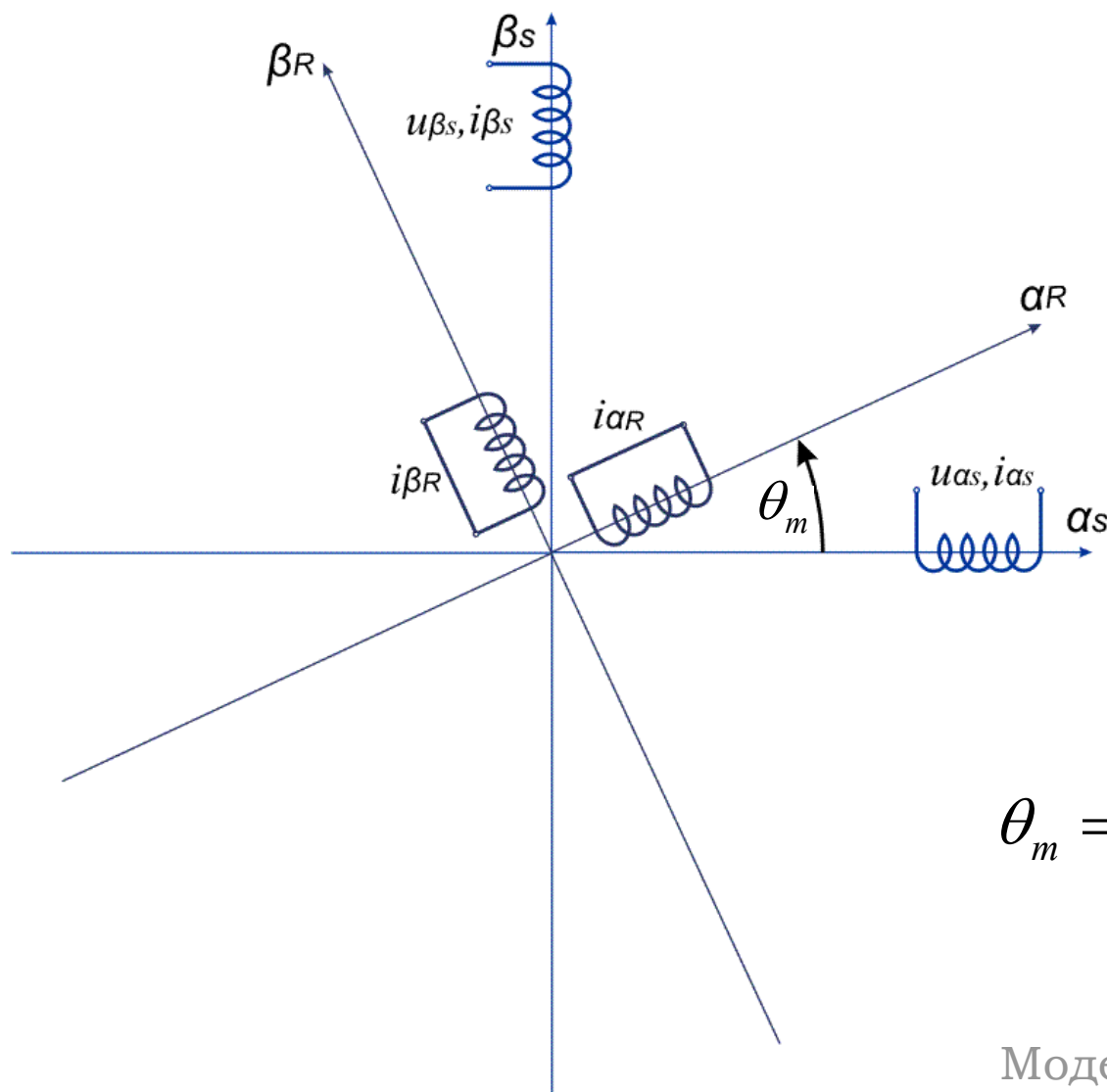


$$\begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

Коефицијент трансформације 

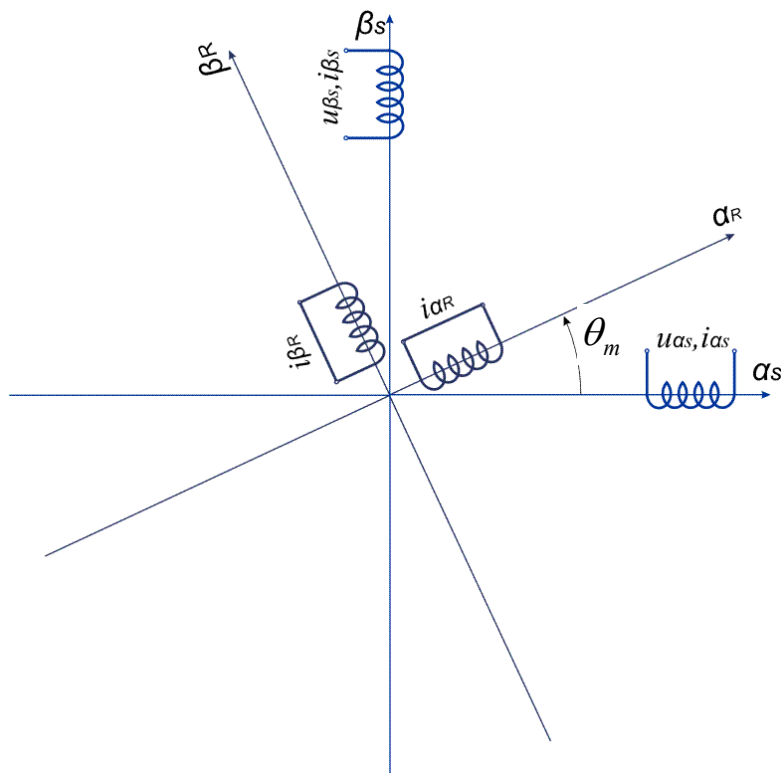
Моделовање

Ротор се, такође, моделује као сет два узајамно нормална кратко-спојена намотаја:



$$\theta_m = \theta_{m0} + \int_0^t \omega_m d\tau$$

Моделовање - једначине напонске равнотеже



$$\theta_m = \theta_{m0} + \int_0^t \omega_m d\tau$$

$$u_{\alpha s} = R_s i_{\alpha s} + \frac{d\Psi_{\alpha s}}{dt},$$

$$u_{\beta s} = R_s i_{\beta s} + \frac{d\Psi_{\beta s}}{dt},$$

$$0 = R_R i_{\alpha R} + \frac{d\Psi_{\alpha R}}{dt},$$

$$0 = R_R i_{\beta R} + \frac{d\Psi_{\beta R}}{dt},$$

Утиче ли однос N_s/N_r
на разматрања?

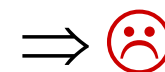
$$\begin{bmatrix} \Psi_{\alpha s} \\ \Psi_{\beta s} \\ \Psi_{\alpha R} \\ \Psi_{\beta R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m \cos \theta_m & -L_m \sin \theta_m \\ 0 & L_s & L_m \sin \theta_m & L_m \cos \theta_m \\ L_m \cos \theta_m & L_m \sin \theta_m & L_R & 0 \\ -L_m \sin \theta_m & L_m \cos \theta_m & 0 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \\ i_{\alpha R} \\ i_{\beta R} \end{bmatrix}$$

Моделовање – недостаци $\alpha\beta$ модела

$$u_{\alpha s} = R_s i_{\alpha s} + L_s \frac{di_{\alpha s}}{dt} + L_m \cos \theta_m \frac{di_{\alpha R}}{dt} - \omega_m L_m \sin \theta_m i_{\alpha R} - L_m \sin \theta_m \frac{di_{\beta R}}{dt} - \omega_m L_m \cos \theta_m i_{\beta R}$$

$$u_{\beta s} = R_s i_{\beta s} + L_s \frac{di_{\beta s}}{dt} + L_m \sin \theta_m \frac{di_{\alpha R}}{dt} + \omega_m L_m \cos \theta_m i_{\alpha R} + L_m \cos \theta_m \frac{di_{\beta R}}{dt} - \omega_m L_m \sin \theta_m i_{\beta R}$$

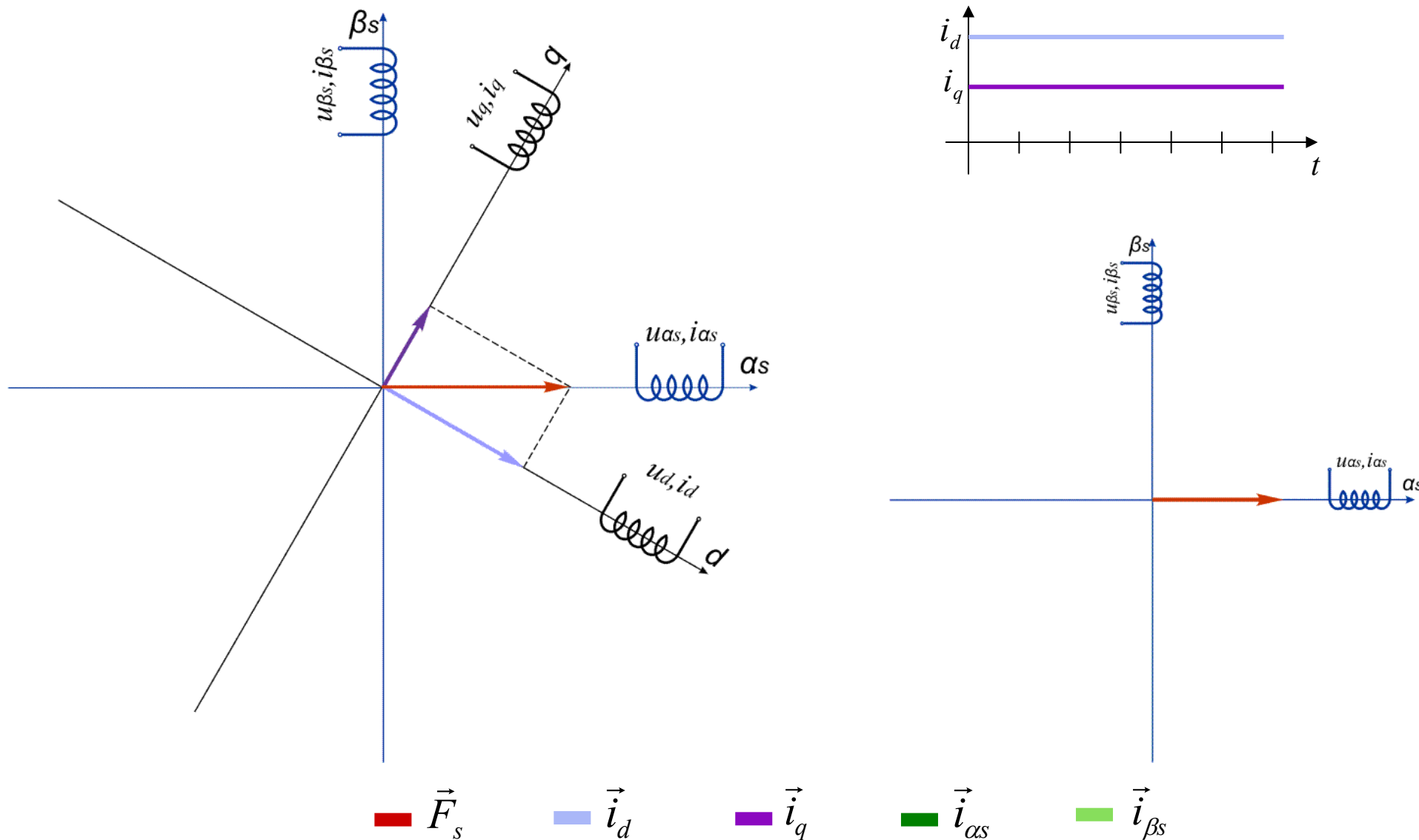
- Коефицијенти диференцијалне једначине су тригонометријске функције променљиве стања!
- Променљиве стања у стационарном стању нису константе!



Решење проблема $\Rightarrow$ увођење виртуелних намотаја који се обрћу синхронно са пољем

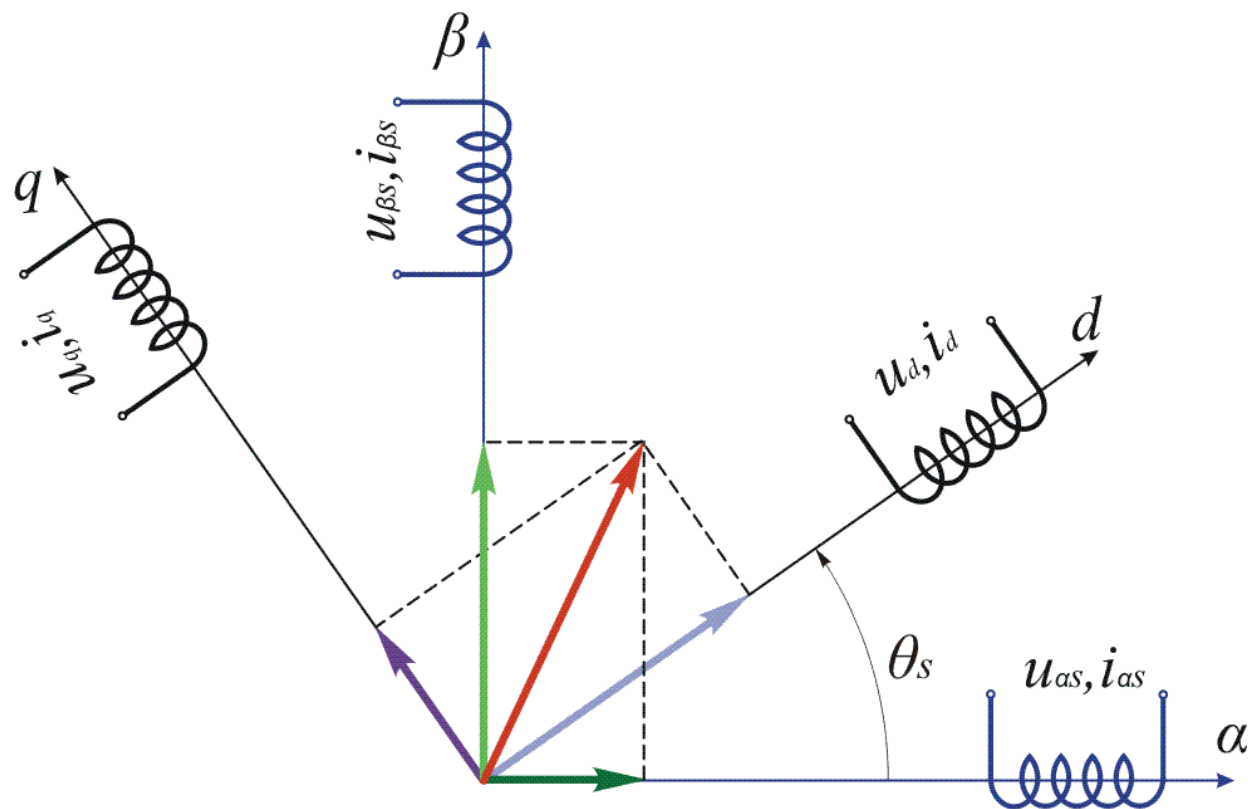
Моделовање – увођење виртуелних намотаја

$\alpha\beta - dq$ трансформација – Паркова трансформација:



Моделовање – увођење виртуелних намотаја

$\alpha\beta - dq$ трансформација – Паркова трансформација (статорске величине):



$$\theta_s = \theta_s(0) + \int_0^t \omega_s d\tau$$

— $\vec{F}_s$

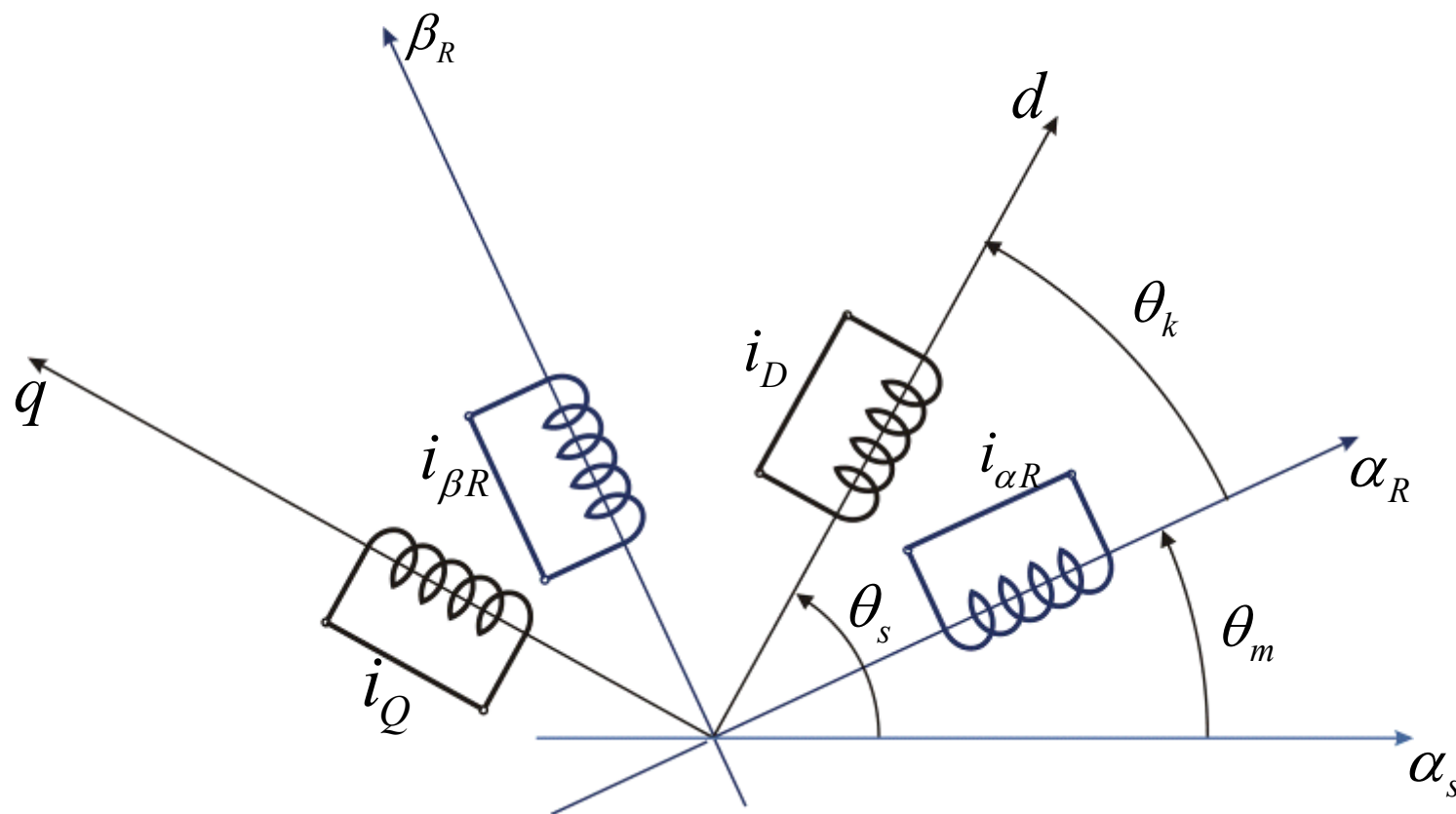
— $\vec{i}_d$
— $\vec{i}_q$

— $\vec{i}_{\alpha s}$
— $\vec{i}_{\beta s}$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_s & \sin \theta_s \\ -\sin \theta_s & \cos \theta_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \end{bmatrix}$$

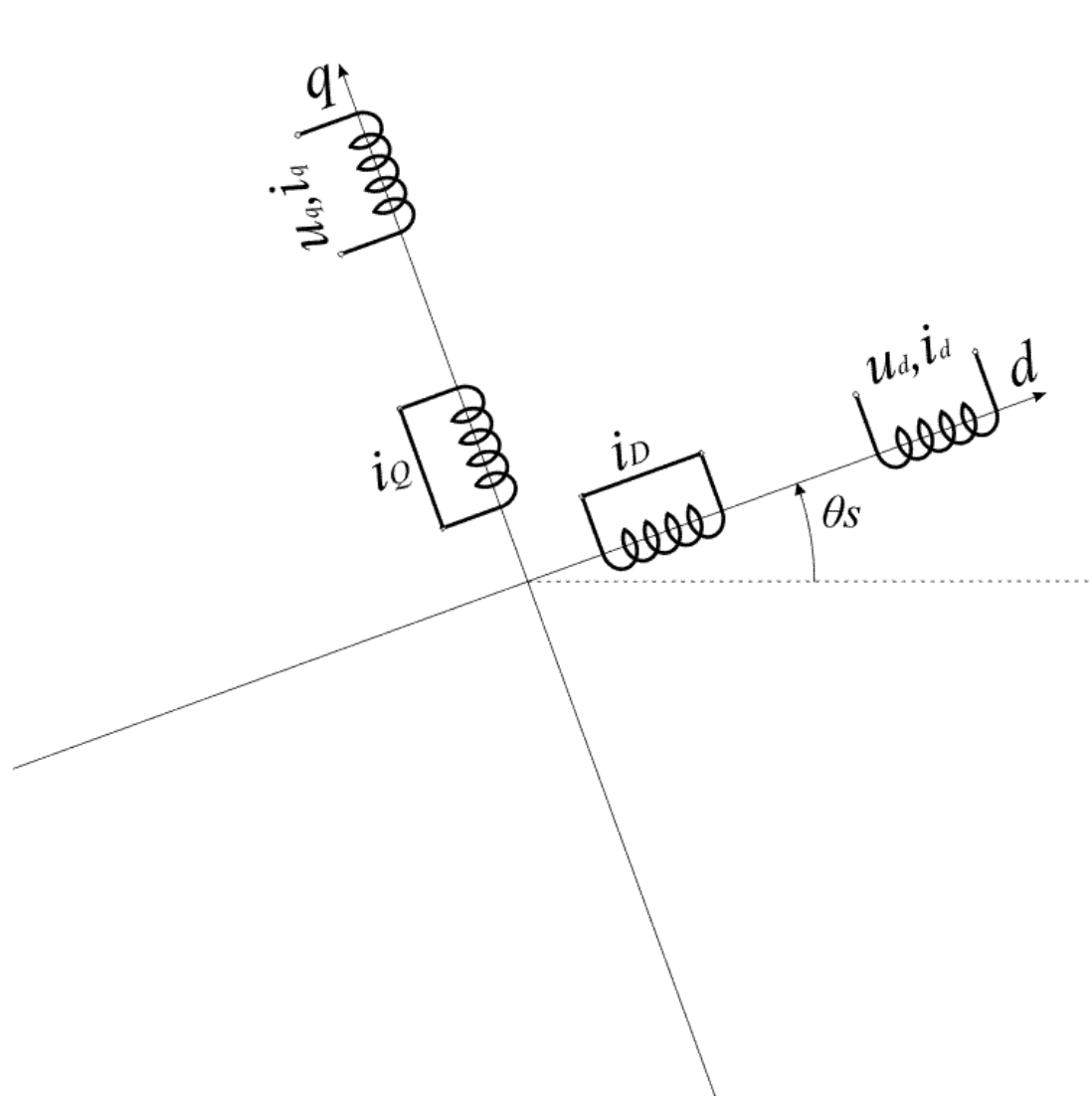
Моделовање

$\alpha\beta$ – dq трансформација – Паркова трансформација (роторске величине):



$$\begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & \sin \theta_k \\ -\sin \theta_k & \cos \theta_k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha R} \\ i_{\beta R} \end{bmatrix}$$

Моделовање – променљиве стања у dq коорд. систему



$$\theta_s = \theta_s(0) + \int_0^t \omega_s d\tau$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_s & \sin \theta_s \\ -\sin \theta_s & \cos \theta_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \end{bmatrix}$$

$$\underline{i}_{dq} = i_d + j i_q = e^{-j\theta_s} \underline{i}_{\alpha\beta}$$

$$\begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & \sin \theta_k \\ -\sin \theta_k & \cos \theta_k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{\alpha R} \\ i_{\beta R} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_D \\ \psi_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_R & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix}$$

Динамички модел

Једначина напонске равнотеже за виртуелне dq намотаје статора:

полазећи од једначина у стационарном координатном систему и усвајајући комплексну нотацију:

$$\begin{aligned}\underline{i}_{dq} &= i_d + j i_q = (\cos \theta_s - j \sin \theta_s) \underline{i}_{\alpha\beta} \\ &= e^{-j\theta_s} \underline{i}_{\alpha\beta} = e^{-j\theta_s} (i_{\alpha s} + j i_{\beta s})\end{aligned}$$

$$\underline{u}_{dq} = R_s \underline{i}_{dq} + \frac{d}{dt} \underline{\psi}_{dq} + j \omega_s \underline{\psi}_{dq}$$

$$\operatorname{Re} \{ \underline{u}_{dq} \} = u_d = R_s i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_s \psi_q$$

$$\operatorname{Im} \{ \underline{u}_{dq} \} = u_q = R_s i_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega_s \psi_d$$

Једначина напонске равнотеже за виртуелне dq намотаје ротора:

$$0 = R_R \underline{i}_{DQ} + \frac{d}{dt} \underline{\psi}_{DQ} + j \omega_k \underline{\psi}_{DQ}$$

$$\operatorname{Re} \{ \underline{u}_{dq} \} = 0 = R_R i_D + \frac{d\psi_D}{dt} - \omega_k \psi_Q$$

$$\operatorname{Im} \{ \underline{u}_{dq} \} = 0 = R_R i_Q + \frac{d\psi_Q}{dt} + \omega_k \psi_D$$

Динамички модел 4h/26h

Динамички модел се састоји од следећих једначина:

$$u_d = R_s i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_s \psi_q$$

$$u_q = R_s i_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega_s \psi_d$$

$$0 = R_R i_D + \frac{d\psi_D}{dt} - \omega_k \psi_Q$$

$$0 = R_R i_Q + \frac{d\psi_Q}{dt} + \omega_k \psi_D$$

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_D \\ \psi_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_R & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix}$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M_{em} - \sum M_{OPT}$$

$$M_{em} = \frac{3}{2} (\psi_d i_q - \psi_q i_d)$$

(анализом израза за улазну снагу. $P_{abc} = 1.5 P_{dq}$)

$$u_d i_d + u_q i_q = R_s (i_d^2 + i_q^2) + (\psi'_d i_d + \psi'_q i_q) + \omega_s (\psi_d i_q - \psi_q i_d)$$

Модел за стационарна стања 6h/28h

$$\underline{u}_{dq} = R_s \underline{i}_{dq} + \cancel{\frac{d}{dt} \underline{\psi}_{dq}} + j\omega_s \underline{\psi}_{dq}$$

$$0 = R_R \underline{i}_{DQ} + \cancel{\frac{d}{dt} \underline{\psi}_{DQ}} + j\omega_k \underline{\psi}_{DQ}$$

$$\underline{u}_{dq} \Rightarrow \underline{u}_s, \underline{i}_{dq} = \underline{i}_s, \underline{i}_{DQ} = \underline{i}_R, \underline{\psi}_{dq} = \underline{\psi}_s, \underline{\psi}_{DQ} = \underline{\psi}_R \Rightarrow$$

$$\underline{u}_s = R_s \underline{i}_s + j\omega_s \underline{\psi}_s$$

$$0 = R_R \underline{i}_R + j\omega_k \underline{\psi}_R \bigg/ \cdot \frac{\omega_s}{\omega_k} \Rightarrow \text{Како је } s = \frac{\omega_k}{\omega_s}$$

$$\underline{u}_s = R_s \underline{i}_s + j\omega_s \underline{\psi}_s$$

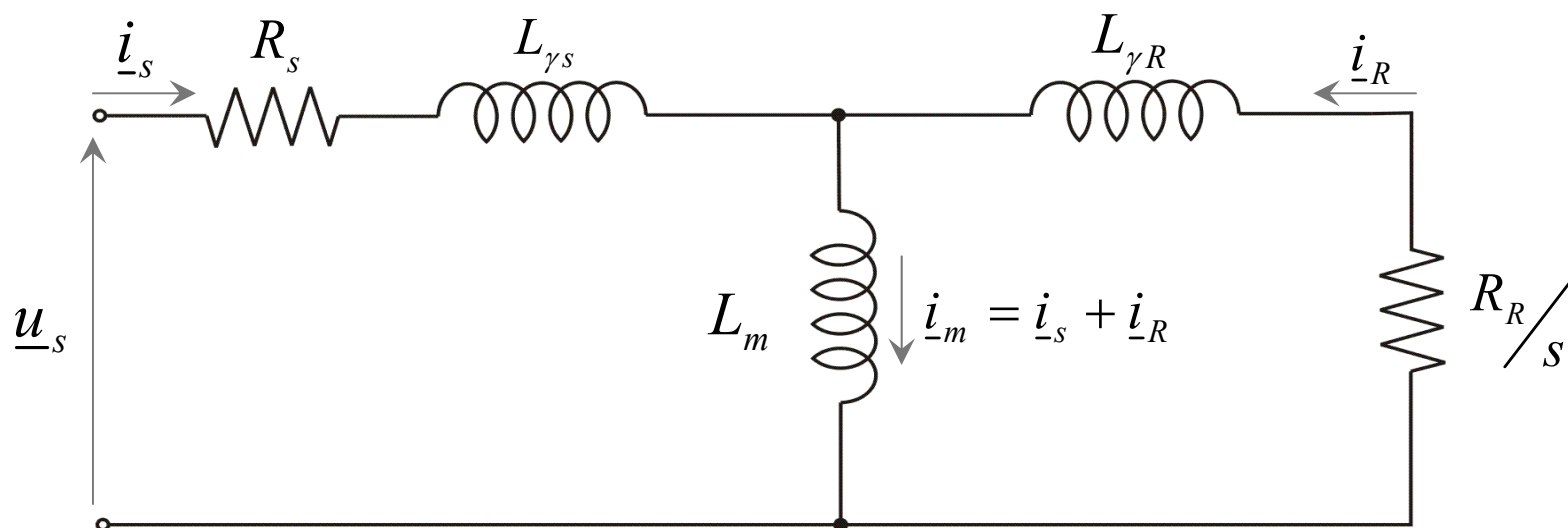
$$0 = \frac{R_R}{s} \underline{i}_R + j\omega_s \underline{\psi}_R$$

Заменска шема за стационарна стања

$$\underline{u}_s = R_s \underline{i}_s + j\omega_s \underline{\psi}_s \quad \text{где је} \quad \underline{\psi}_s = L_{\gamma s} \underline{i}_s + L_m \underline{i}_m$$

$$0 = \frac{R_R}{s} \underline{i}_R + j\omega_s \underline{\psi}_R \quad \text{где је} \quad \underline{\psi}_R = L_{\gamma R} \underline{i}_R + L_m \underline{i}_m$$

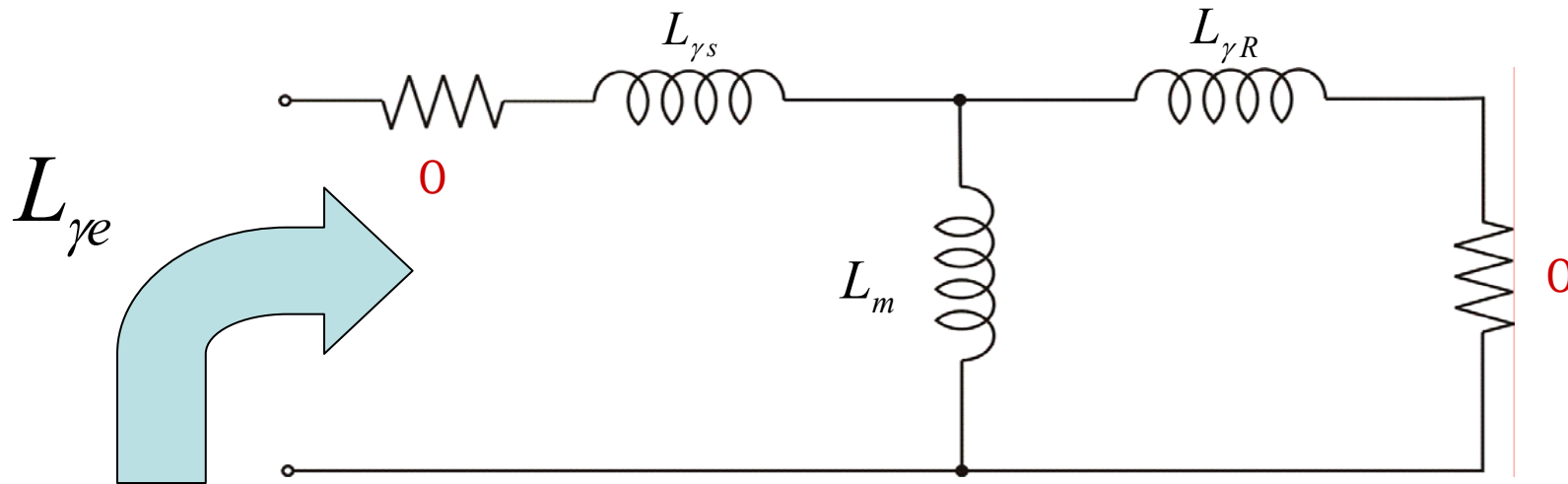
На основу претходних једначина може се нацртати заменска шема:



Одређивање механичке карактеристике на основу заменске шеме:

?? Вредности параметара, расипање ?? Релативне/сведене вредности

Дефиниције индуктивности расипања



Улазна индуктивност мреже чији са нултим серијским отпорима и уклоњеним оточним отпорима назива се еквивалентна индуктивност расипања мреже

$$L_{\gamma S} = L_S - L_m, \quad L_{\gamma R} = L_R - L_m$$

$$L_{\gamma e} = L_{\gamma S} + \frac{L_m L_{\gamma R}}{L_m + L_{\gamma R}} = \frac{L_{\gamma S} L_R + L_m L_{\gamma R}}{L_R}$$

$$= \frac{L_{\gamma S} L_R + L_m L_{\gamma R} + L_m L_R - L_m L_R}{L_R} = \frac{L_S L_R - L_m^2}{L_R}$$

...што је
приближно једнако
збиру расипања
статора и ротора

Релативне / сведене вредности [р.ј.] [р.ц.]

Номинална струја на статорском отпору релативне вредности од 1% ствара пад напона у износу од 1% номиналног напона. Тада кажемо да је R_s једнако 0.01.

Подсетник: Могу се релативизовати (свести) ефективне вредности струје/напона/флуksа тако што се поделе са базном вредношћу струје/напона/флуksа. Могуће је, међутим, релативизовати и вршне вредности (тј. апсолутне вредности вектора у dq систему са $K=2/3$) тако што се деле са вршним базним вредностима (ефективне вредности су 1.4142 пута мање). У решавању задатака из ОГ2ЕМ, код релативизације, јављаће се ефективне вредности. Напомена: Као базне вредности, по правилу се узимају вредности номиналног режима рада. Изузетак је базна вредност момента. Последица одлуке $M_B = S_{\text{nom}}/w_{\text{nom}}$ је да релативизована вредност номиналног момента није 1, већ је мања

Релативне / сведене вредности [p.j.] [p.u.]

Номинална струја на статорском отпору релативне вредности од 1% ствара пад напона у износу од 1% номиналног напона. Тада кажемо да је R_s једнако 0.01.

$$R_s^{rel} = \frac{R_s [\Omega]}{Z_B [\Omega]}, \quad Z_B [\Omega] = Z_{nom} [\Omega] = \frac{U_{nom,eff.}^{fazno} [V]}{I_{nom,eff.}^{fazno} [A]} \Rightarrow \frac{R_s I_{nom}}{U_{nom}} = R_s^{rel}$$

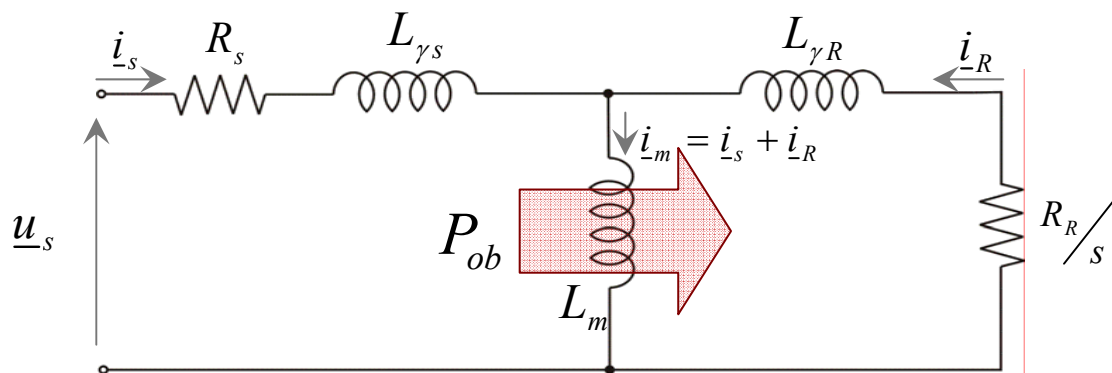
$$I_s^{rel} = \frac{I_s [A]}{I_{nom} [A]}, \quad U_s^{rel} = \frac{U_s [V]}{U_{nom} [V]}, \quad \Psi_s^{rel} = \frac{\Psi_s [Wb]}{\Psi_{nom} [Wb]},$$

За свођење вредности,
у имениоцу су max/eff.
номиналне вредности
.....брзина....

$$L_s^{rel} = \frac{L_s [H] \omega_{Snom} [rad / s]}{Z_{nom} [\Omega]}, \quad L_s^{rel} = X_s^{rel} \text{свуда је } VAR_B = VAR_{BAZNO} = VAR_{nom}$$

$$\text{ОГ2ЕМ: } M_{em}^{rel} = \frac{M_{em} [Nm]}{M_B [Nm]}, \quad M_B [Nm] = \frac{S_{nom} [V]}{\omega_{Snom}^* [rad / s]} \Rightarrow M_{nom}^{rel} < 1, \quad M(s)$$

Механичка карактеристика 8h/30h



$$M_{em} = \frac{P_{ob}}{\Omega_s} = \frac{p P_{ob}}{\omega_s} \dots p = 1 \Rightarrow \frac{P_{ob}}{\omega_s}$$

$$P_{ob} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_R}{s} \cdot I_R^2$$

$$M_{em} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_R}{s} \cdot I_R^2 \cdot \frac{1}{\Omega_s}$$

Како је $|\underline{I}_m| < |\underline{I}_s|$, може се писати:

$$M_{em} \approx \frac{3}{2} \cdot \frac{R_R}{s} \cdot I_s^2 \cdot \frac{1}{\Omega_s} \quad \text{где је} \quad \underline{I}_s \approx \frac{\underline{U}_s}{(R_s + \frac{R_R}{s}) + j\omega_s(L_{\gamma s} + L_{\gamma R})}$$

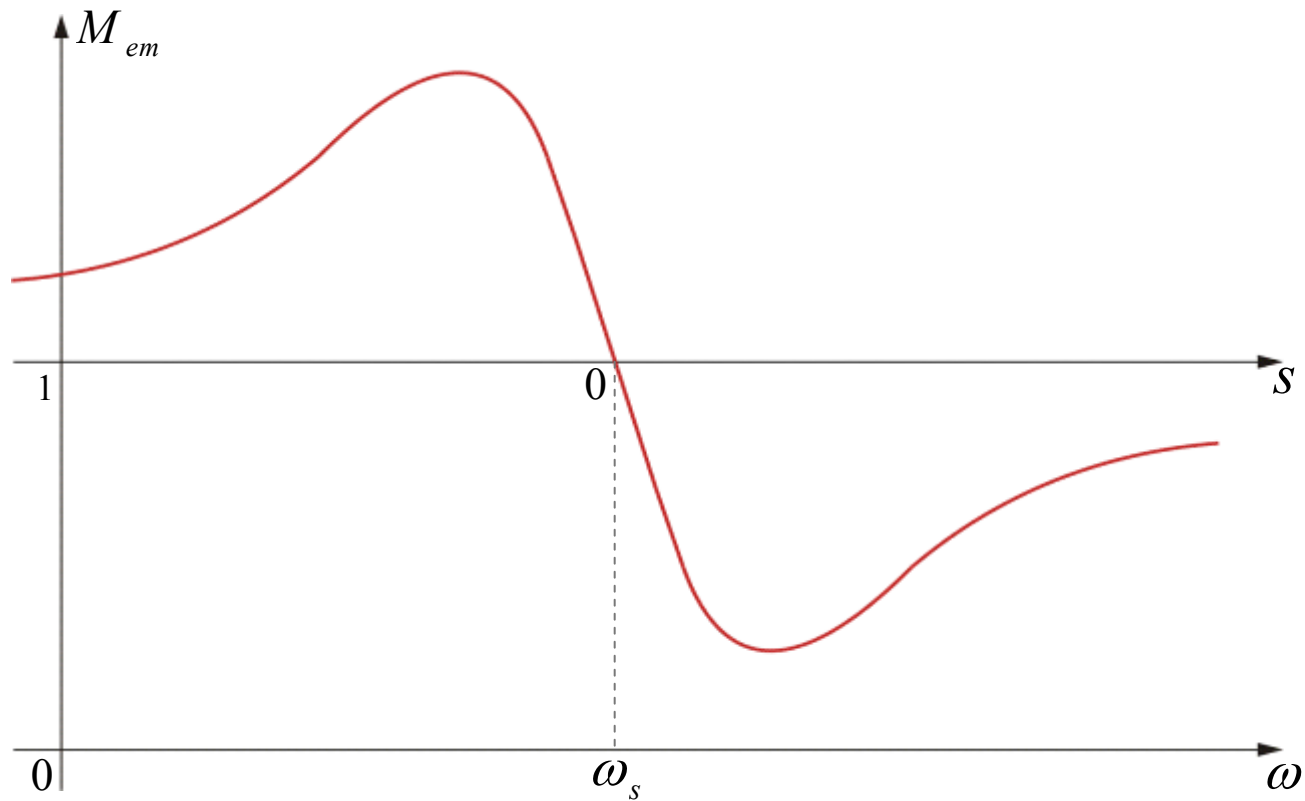
$$L_{\gamma e} = \frac{L_s L_R - L_m^2}{L_R} \approx L_{\gamma s} + L_{\gamma R}$$

$$M_{em}(s) = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_R}{\Omega_s \cdot s} \cdot \frac{U_s^2}{\left(R_s + \frac{R_R}{s}\right)^2 + \omega_s^2 L_{\gamma e}^2}$$

??? Чему је једнак
напон у бројиоцу
за мотор познатог
фазног напона

Механичка карактеристика

$$M_{em}(s) = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_R}{\omega_s \cdot s} \frac{U_s^2}{\left(R_s + \frac{R_R}{s}\right)^2 + \omega_s^2 L_{\gamma e}^2}$$

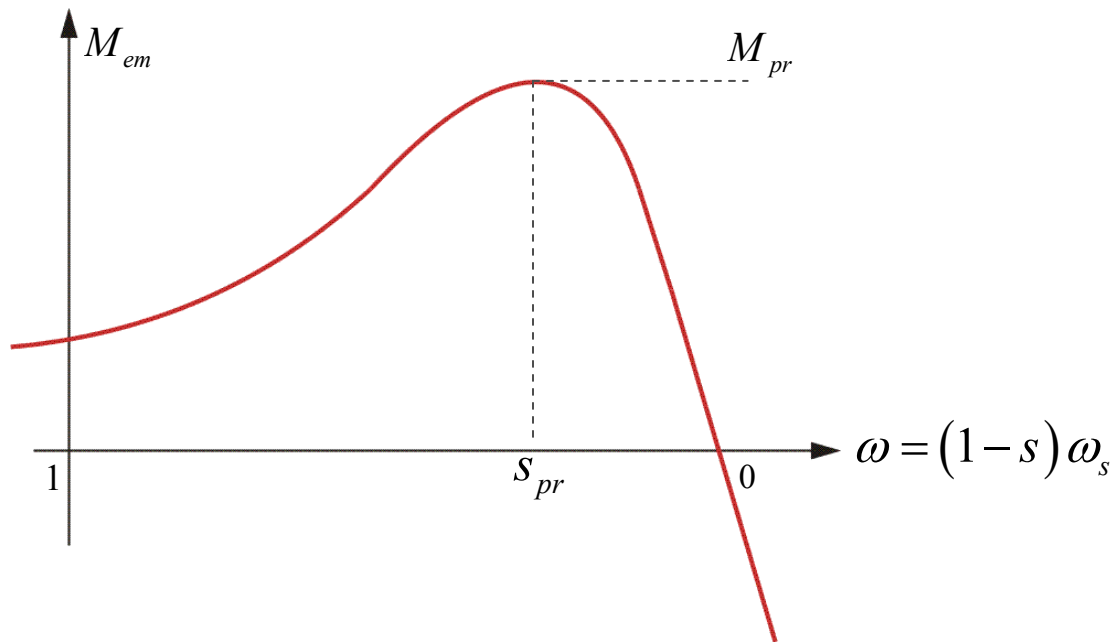


Механичка карактеристика

ПРЕВАЛНИ МОМЕНТ (за $R_s = 0$)

Из услова $\frac{dM_{em}}{ds} = \frac{d}{ds} \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{R_R}{\omega_s \cdot s} \frac{U_s^2}{\frac{R_R^2}{s^2} + \omega_s^2 L_{\gamma e}^2} \right] = 0 \rightarrow$ превално клизање $s_{pr} = \pm \frac{R_R}{\omega_s L_{\gamma e}}$

па је превални момент $M_{pr} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2L_{\gamma e}} \left(\frac{U_s}{\omega_s} \right)^2$



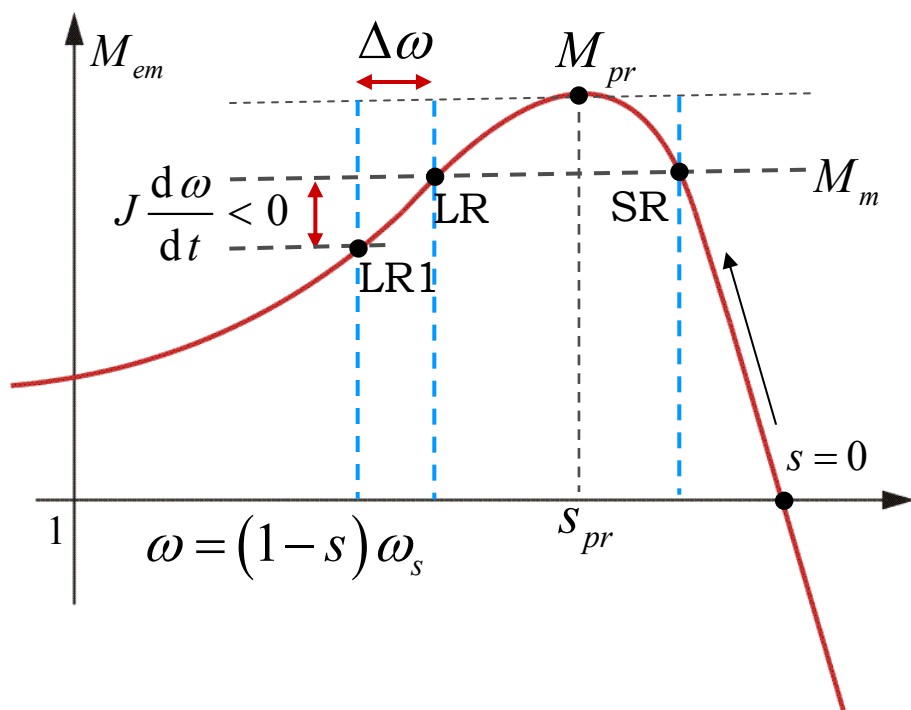
Клосова формула:

$$M_{em}(s) = \frac{2M_{pr}}{\frac{s}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s}}$$

Превални момент

Њутнова једначина: $J \frac{d\omega}{dt} = M_{em}(\omega) - M_m$. Претпостављамо да је $M_m = \text{const}$.

LR: Радна тачка са лабилном равнотежом. Уколико се брзина обртања умањи за $\Delta\omega$, како је приказано на доњој слици, радна тачка се креће слева удесно и долази у тачку означену са LR1, у којој момент M_m остаје неизмењен, док се покретачки момент $M_{em}(\omega)$ умањује (уочити пад покретачког момента десно од тачке LR). Извод брзине $J \frac{d\omega}{dt} = M_{em}(\omega) - M_m$ је негативан, тако да се брзина обртања даље умањује. Радна тачка се прогресивно удаљава на леву страну и креће ка координатном почетку. Мотор ће се зауставити, тј. неће се вратити у тачку LR.



SR: Радна тачка са стабилном равнотежом.

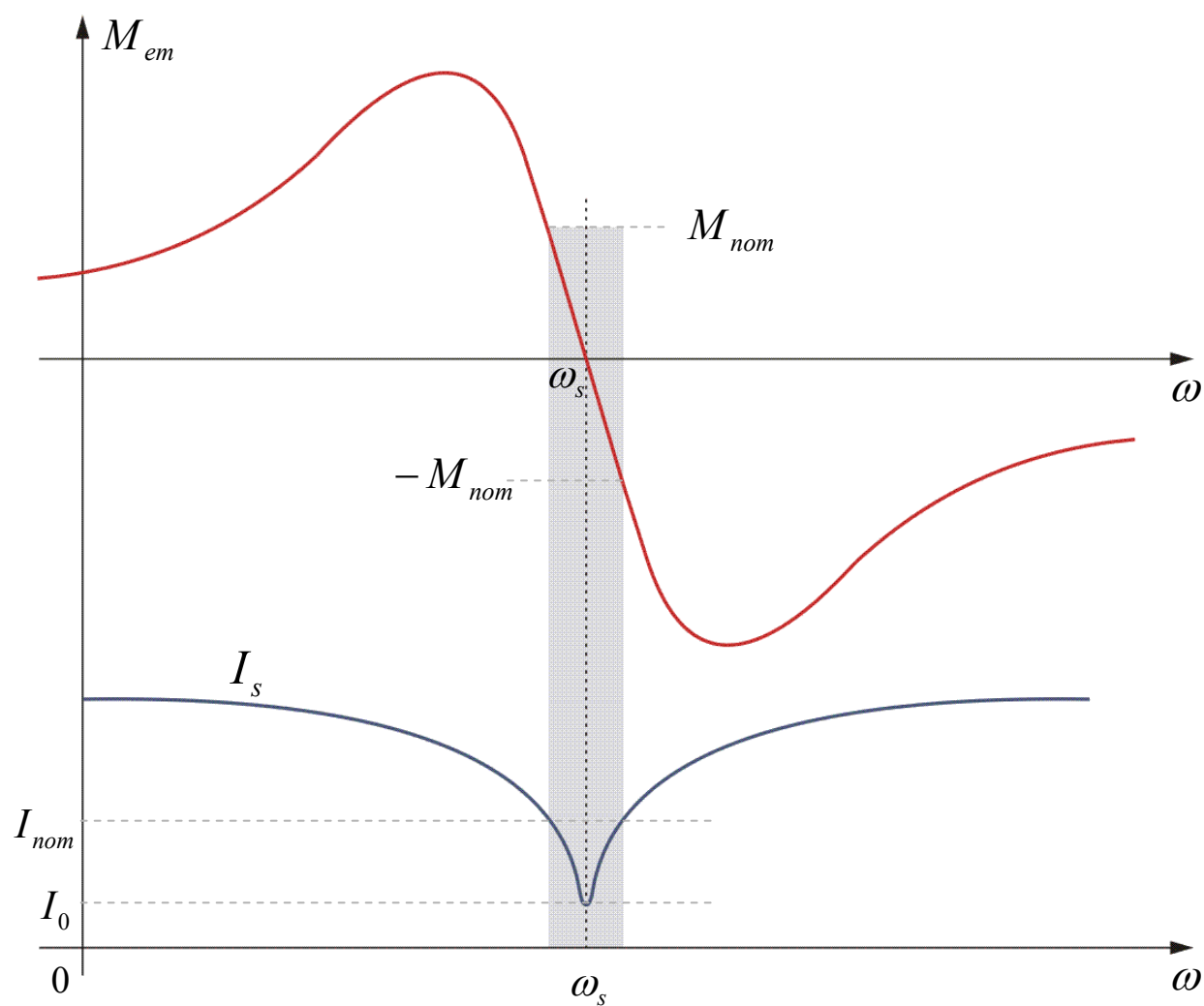
Уколико се брзина обртања умањи, радна тачка се креће слева удесно, момент M_m остаје једнак, док се покретачки момент $M_{em}(\omega)$ увећава. Извод брзине је позитиван, па се радна тачка враћа у равнотежно стање, у тачку SR.

Превални момент је највећа вредност момента која се може остварити. Полазећи из тачке $s = 0$, где је $M_m = 0$ и $\Omega_m = \Omega_s$, постепено увећање момента оптерећења доводи до смањења брзине и увећања клизања све док се покретачки момент не увећа тако да уравнотежи момент оптерећења. Када M_m достигне M_{pr} , даљи поремећаји доводе до преласка **превалне** тачке на карактеристици, што резултује прогресивним смањењем брзине и заустављањем.

- Асинхроне машине -

Механичка карактеристика

ЗОНА ТРАЈНОГ РАДА



Губици снаге у машини

Губици у бакру статора: $R_s i_s^2$

Губици у бакру ротора: $R_r i_r^2$

Губици у гвожђу статора: $\sigma_H f_s B_m^2 + \sigma_V f_s^2 B_m^2$

Губици у гвожђу ротора: $\sigma_H f_k B_m^2 + \sigma_V f_k^2 B_m^2$

Механички губици: $k_F \omega_m^2$

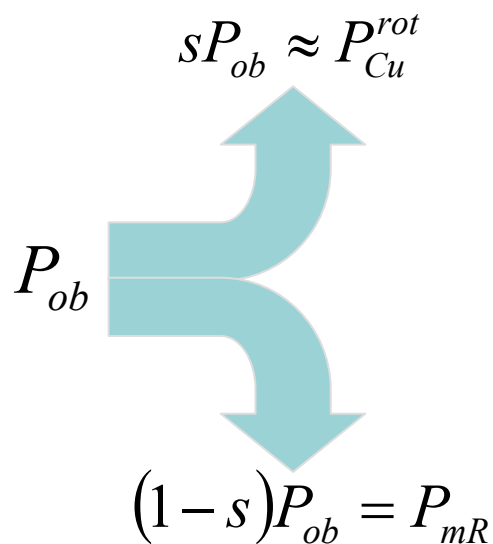
Губици снаге у машини

$$P_{ob} = P_e - 3R_s i_{s_{eff}}^2 - P_{Fe}^{stat} = M_{em} \omega_s \quad \dots (= M_{em} \Omega_s)$$

Снага која се из електричне претвара у механичку (тј. снага електромеханичке конверзије)

$$P_{mR} = M_{em} \omega_m \quad \Rightarrow \quad P_{ob} - P_{Cu}^{rot} - P_{Fe}^{rot} \approx P_{ob} - P_{Cu}^{rot}$$

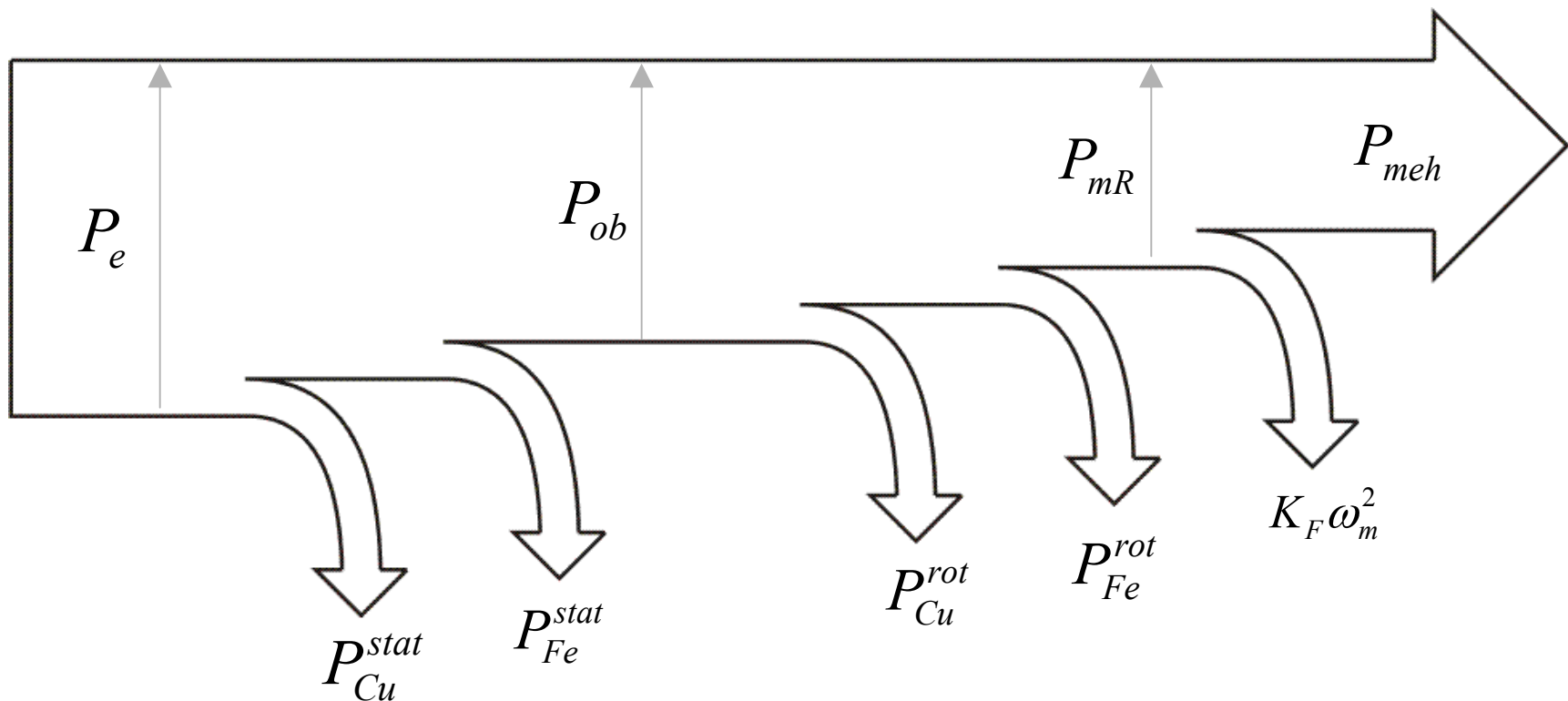
$$P_{\gamma R} = P_{ob} - P_{mR} = M_{em} (\omega_s - \omega_m) = P_{Cu}^{rot} + P_{Fe}^{rot}$$



Биланс снаге машине у моторном режиму рада 10h/32h

Корисна – излазна снага која је
расположена на вратилу мотора

$$P_{meh} = P_{mR} - k_F \omega_m^2$$



Ако су губици у бакру ротора доминантни $\Rightarrow P_e \approx P_{ob} \approx P_{Cu}^{rot} + P_{meh} = sP_{ob} + (1-s)P_{ob}$

Промена брзине обртања асинхроних мотора

ТРАДИЦИОНАЛНИ НАЧИНИ:

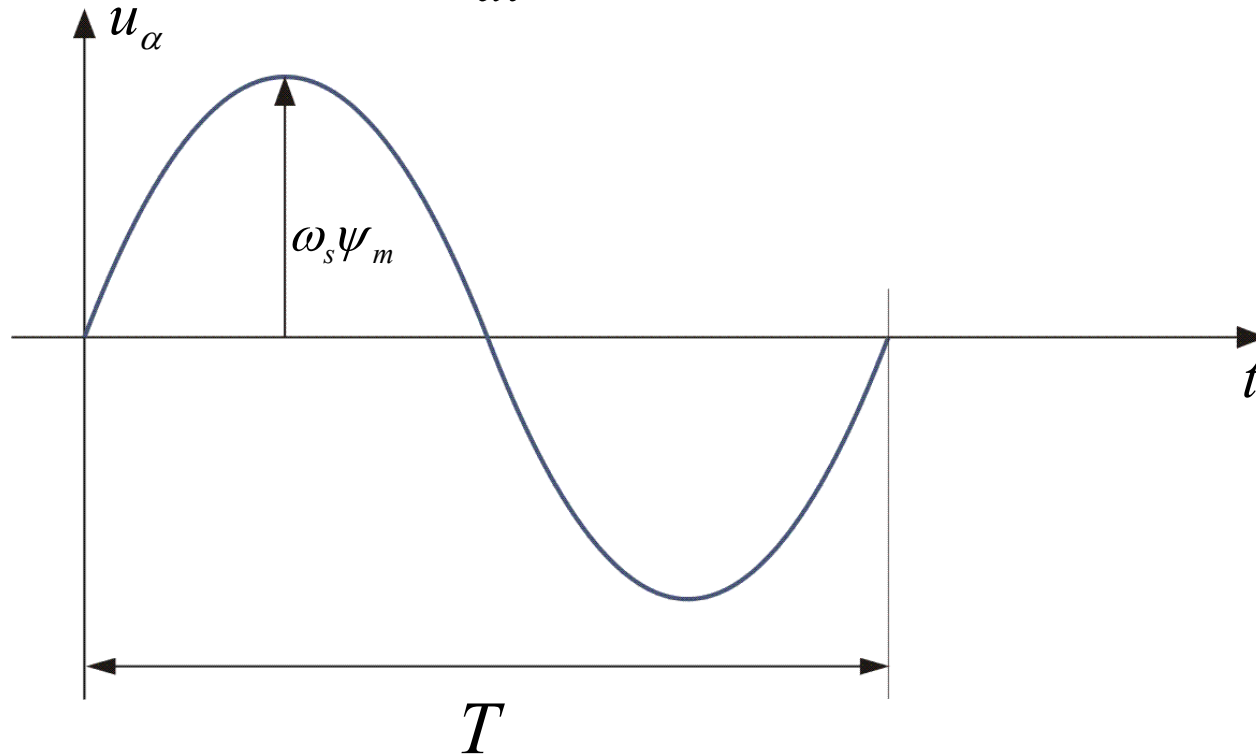
-Промена броја полова $\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$ 

-Варијација амплитуде напона U_s 

-Варијација роторског отпора R_R 

Напајање асинхронних мотора

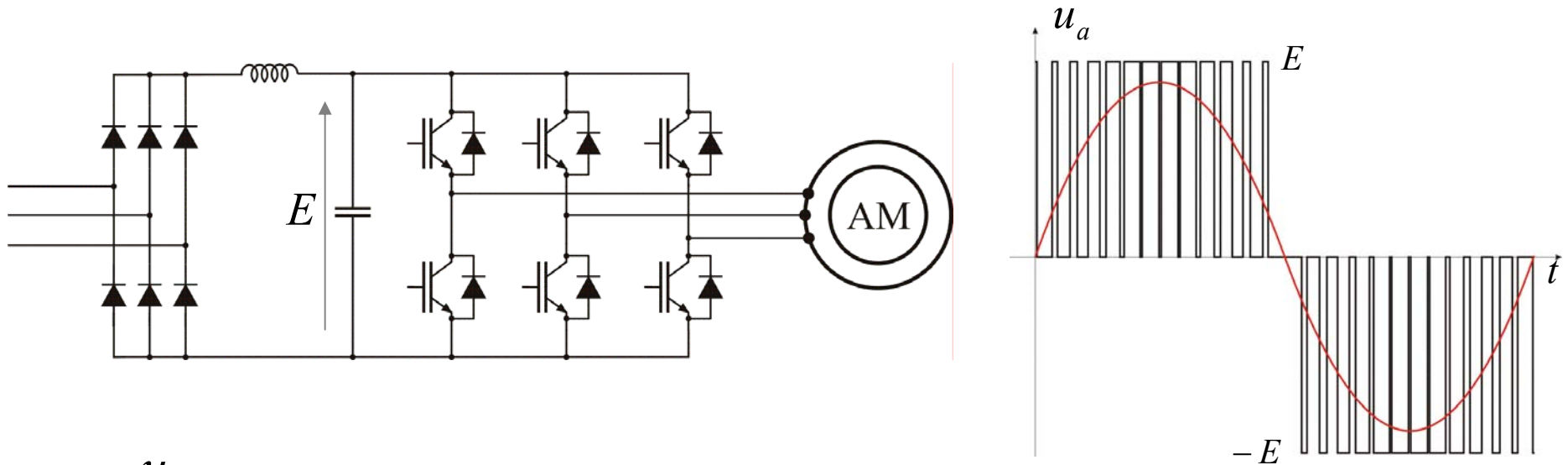
$$u_{\alpha} = u_a \cong \frac{d\psi_{as}}{dt} = \omega_s \psi_m \cos(\omega_s t - \varphi)$$



Варијабилна амплитуда напона: $A = \omega_s \psi_m$

Варијабилна учестаност: $\omega_s = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

Напајање асинхронних мотора 12h/34h

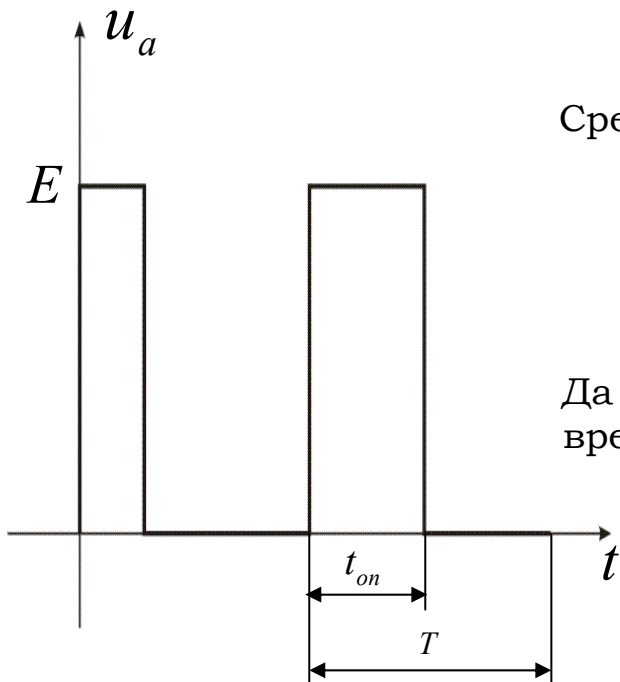


Средња вредност напона у једној периоди T :

$$U_{SR} = \frac{1}{T} \cdot \int_{NT}^{(N+1)T} u_a dt = \frac{t_{on}}{T} E$$

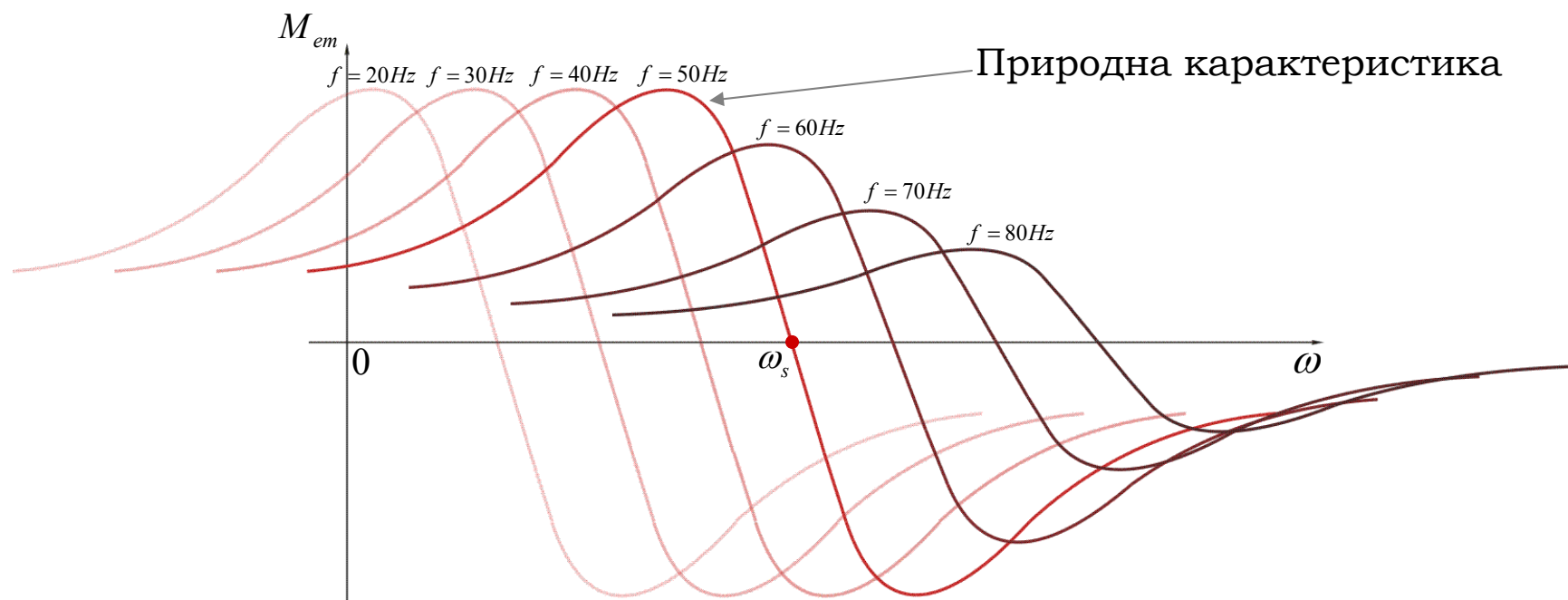
Да би промена средње вредности напона била простопериодична, време t_{on} треба мењати по следећем закону:

$$t_{on}^A = \frac{T}{2} + \frac{T}{2} \frac{a U_m \sqrt{2}}{E/2} \cos(a 2\pi f_{nom} t)$$

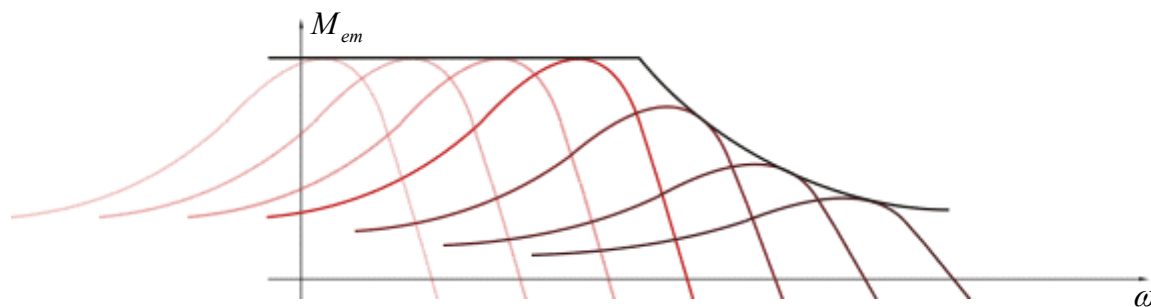


Напајање асинхронних мотора

Напајањем мотора из претвараача може се обезбедити читава фамилија механичких карактеристика:



Превални момент опада при брзинама изнад номиналне:

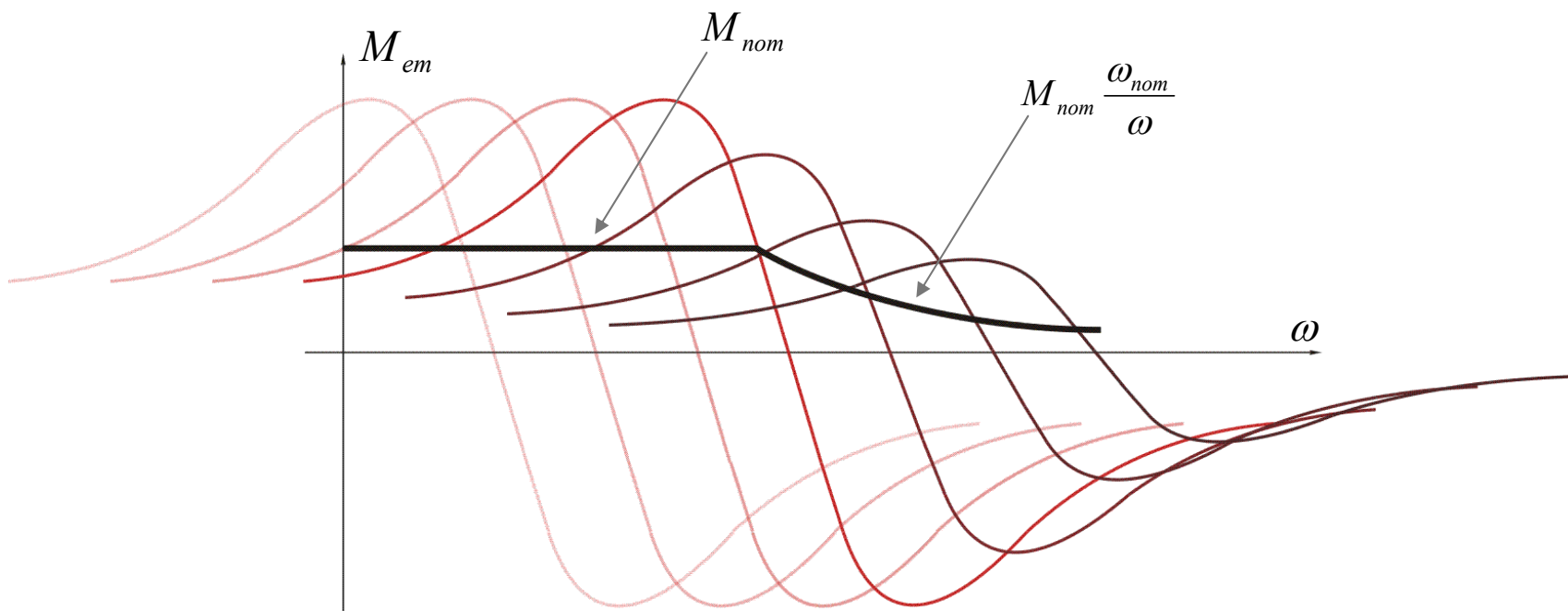


Разлог? ►

Напајање асинхронних мотора

Момент који мотор може трајно да оствари изнад номиналне брзине радећи са номиналном струјом:

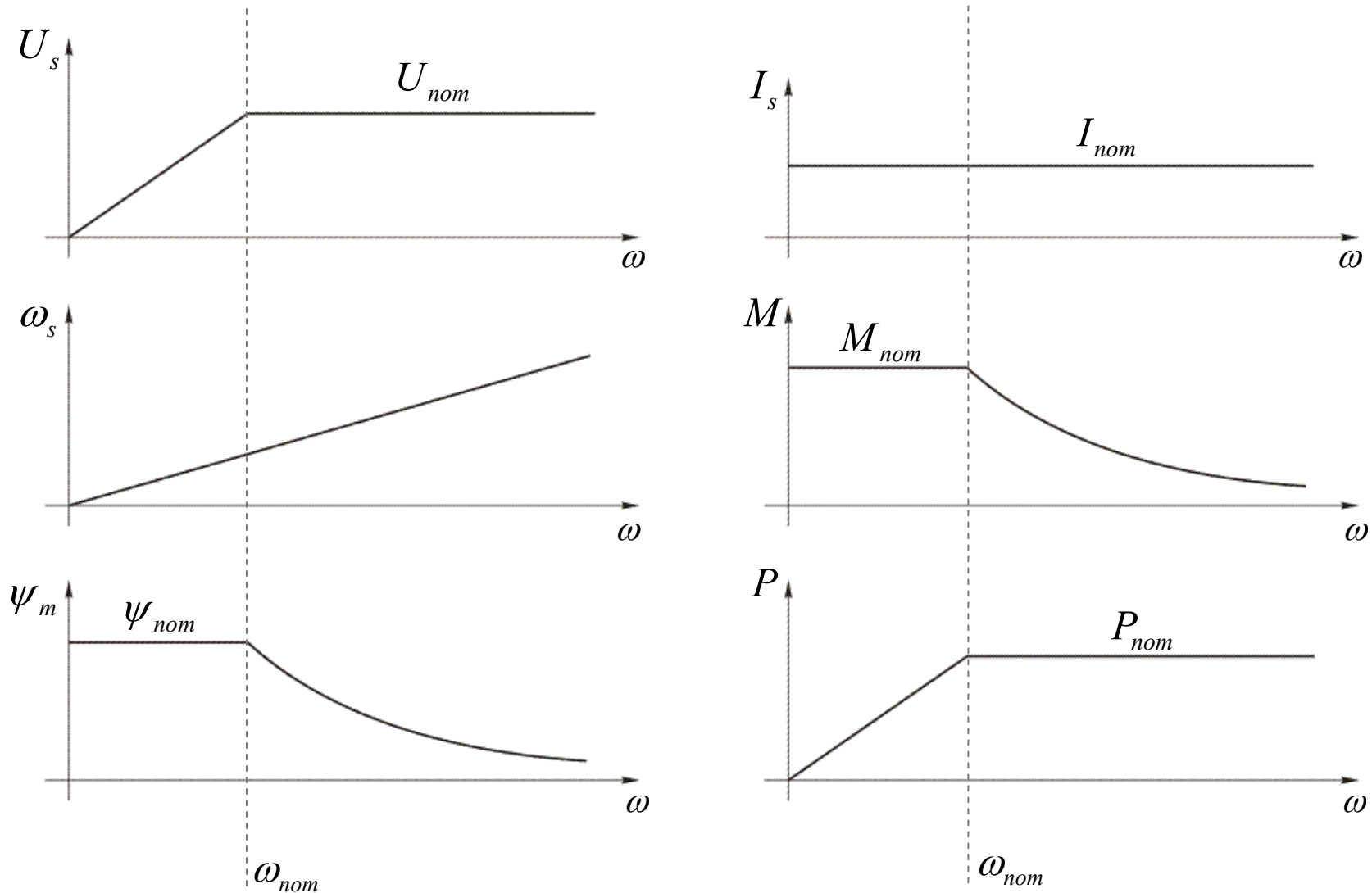
$$\vec{M} = \vec{\psi} \times \vec{i}_s \quad \Rightarrow M \sim \psi \cdot I_{nom} \quad \Rightarrow M(\omega) = M_{nom} \frac{\omega_{nom}}{\omega}$$



Експлоатациона карактеристика

Граничне вредности U, I , флукса, одрживе у трајном раду

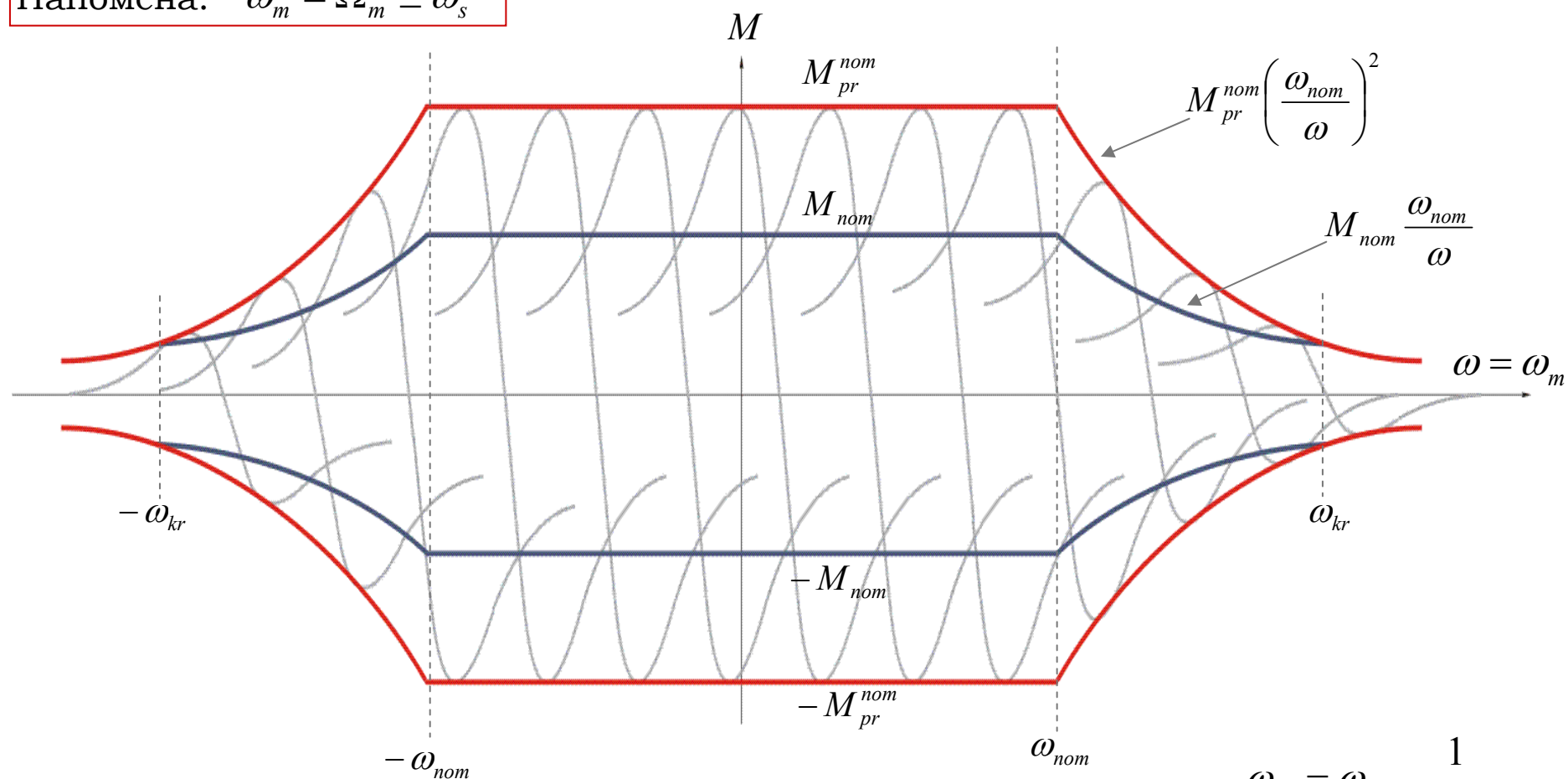
Напон, струја, флукс, момент и снага у функцији брзине обртања мотора:



Напајање асинхронних мотора

ЕКСПЛОАТАЦИОНА И ТРАНЗИЈЕНТНА КАРАКТЕРИСТИКА:

Напомена: $\omega_m = \Omega_m \cong \omega_s$



Транзијентна карактеристика

Експлоатациона карактеристика

$$\omega_{kr} = \omega_{nom} \frac{1}{2X_{\gamma e}}$$

$X_{\gamma e}$ - Релативна вредност
реактансе расипања

- Асинхроне машине -

монофазни мотори 14h/36h

90% мотора који се користе су
монофазни асинхрони мотори

Елементи ЕЕС, Трансформатори

Анализа ЕЕС (јесен)

Енергетски претварачи

Електромоторни погони

ДПП1, Дигитално управљање ЕПП

ДПП2, Дигитално управљање кретањем

Пројектовање ЕМ сачиниоци, губици, намотаји, ...

Пројекти ЕТФ: Компаније F1, GE, MOOG, Vickers....