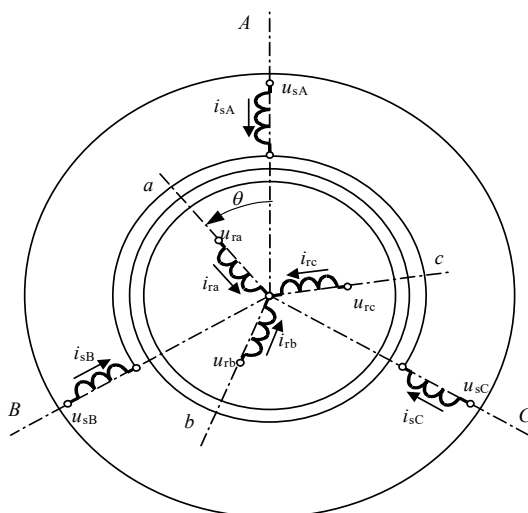


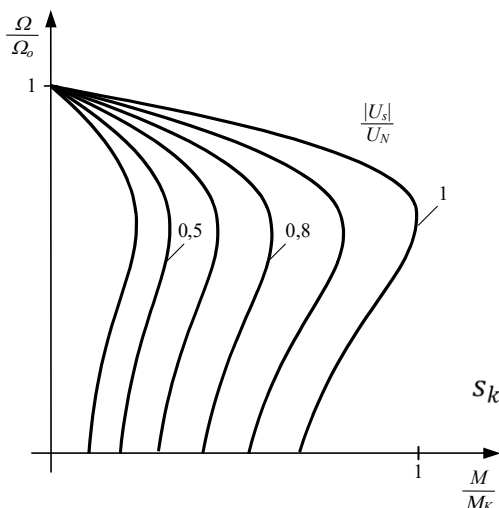
5. Regulacja częstotliwościowa prędkości obrotowej silnika indukcyjnego klatkowego

- 5.1 Zasada regulacji częstotliwościowej - warunki optymalizacji statycznej;
- 5.2 Regulacja skalarna prędkości obrotowej (U/f);
- 5.3 Regulacja wektorowa prędkości obrotowej
- 5.4 Metoda bezpośredniego sterowania momentem i strumieniem (DTC);

Schemat uzwojeń trójfazowej
maszyny indukcyjnej



Charakterystyki mechaniczne silnika indukcyjnego

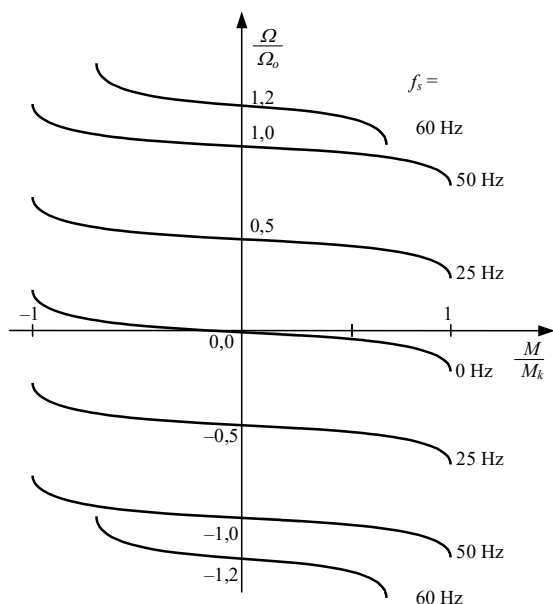


$$M_e = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

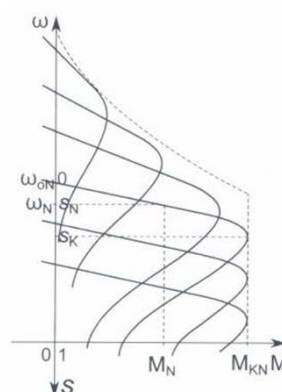
$$M_k = \frac{3}{2} p \frac{1-\sigma}{\sigma L_s} \left(\frac{U_s}{\Omega_s} \right)^2$$

$$s_k = \frac{R_r}{\Omega_s L_r \sigma} \quad \Omega_{rk} = \frac{R_r}{\sigma L_r}$$

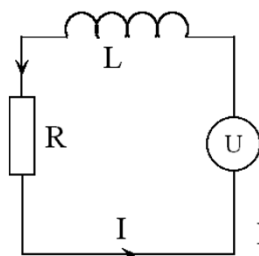
$$\Omega_0 = \Omega_s = \frac{2\pi f_s}{p}$$



Charakterystyki mechaniczne SI przy zmianie częstotliwości



Związek napięcia stojana z częstotliwością

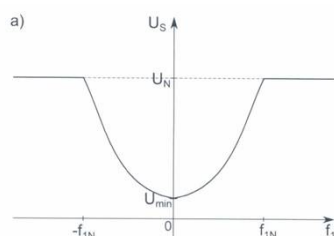


$$U = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\Psi = L \cdot I$$

$$I = U/Z = U_m / \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}$$



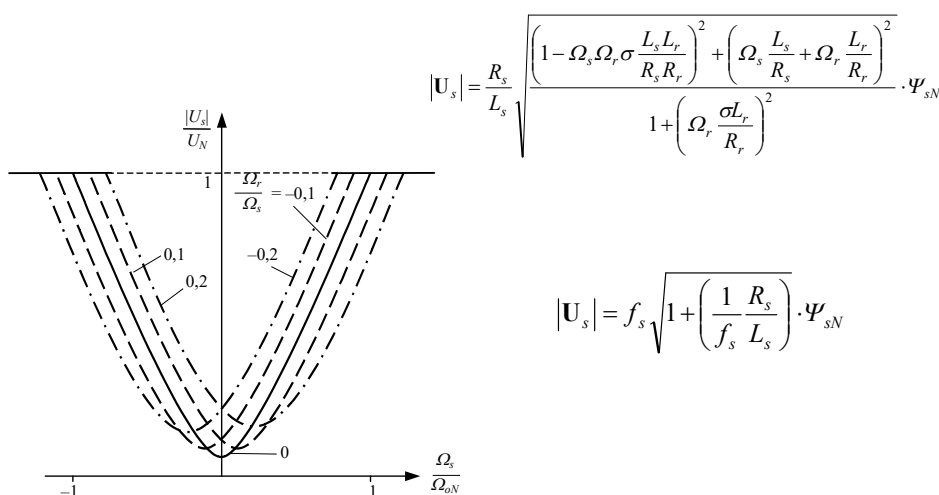
Dla dużych $f \Rightarrow I \approx U/\omega L$

$$\Psi = L \cdot I = U/\omega \Rightarrow U = \Psi \cdot \omega$$

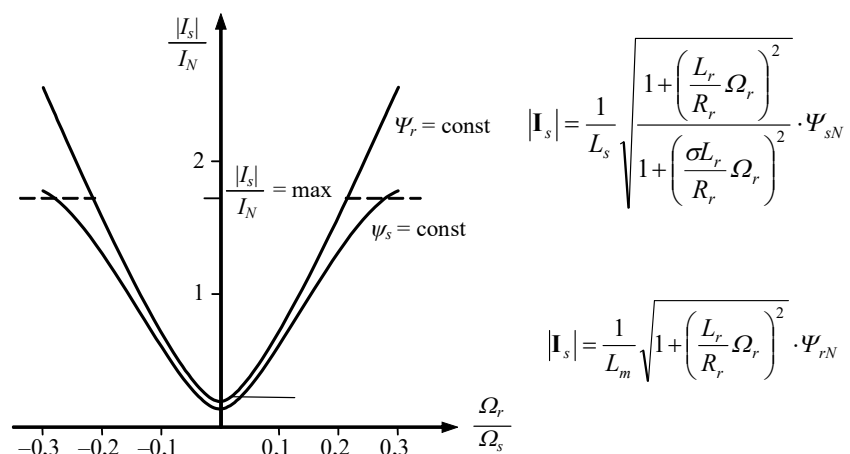
Dla małych $f \Rightarrow I \approx U/R$

$$\Psi = L/R \cdot U \Rightarrow U = \Psi \cdot R/L$$

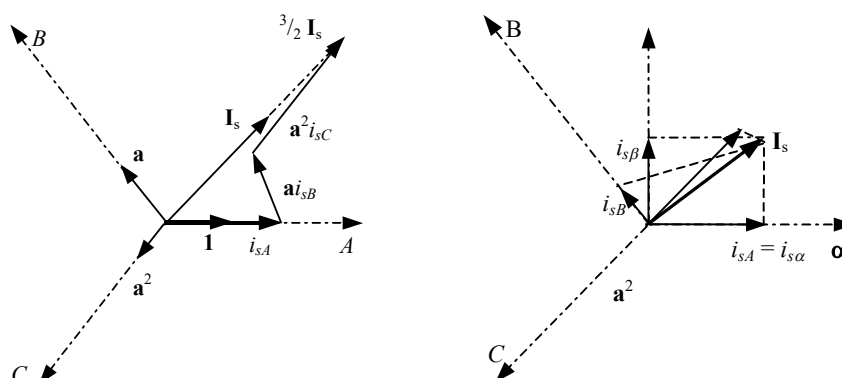
Wykres charakterystyk sterowania amplitudą napięcia stojana w funkcji częstotliwości, zapewniających stałą amplitudę strumienia skojarzonego stojana



Wykres charakterystyk sterowania amplitudą prądu stojana w funkcji częstotliwości (pulsacji) w wirniku, zapewniających stałą amplitudę strumienia skojarzonego stojana oraz wirnika



Ilustracja konstrukcji wektora przestrzennego prądu z wykorzystaniem chwilowych wartości prądów fazowych (a) i wyznaczenie chwilowych wartości prądów fazowy jako rzutu wektora przestrzennego prądu na osie A, B, C (b)



Wzory transformacyjne

$$\begin{bmatrix} i_{sx} \\ i_{sy} \end{bmatrix} = \mathbf{G} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_k & \sin \gamma_k \\ -\sin \gamma_k & \cos \gamma_k \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{sx} \\ i_{sy} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_s \begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_k & -\sin \gamma_k \\ \sin \gamma_k & \cos \gamma_k \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \gamma_k & \cos \left(\gamma_k - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\gamma_k - \frac{4\pi}{3} \right) \\ -\sin \gamma_k & -\sin \left(\gamma_k - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\gamma_k - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix}$$

Opis wektorowy SIK

$$\mathbf{U}_s^k = R_s \mathbf{I}_s^k + \frac{d\mathbf{\Psi}_s^k}{dt} + j\omega_k \mathbf{\Psi}_s^k$$

$$\mathbf{U}_r^k = R_r \mathbf{I}_r^k + \frac{d\mathbf{\Psi}_r^k}{dt} + j(\omega_k - \omega_e) \mathbf{\Psi}_r^k$$

$$\mathbf{\Psi}_s^k = L_s \mathbf{I}_s^k + L_m \mathbf{I}_r^k$$

$$\mathbf{\Psi}_r^k = L_r \mathbf{I}_r^k + L_m \mathbf{I}_s^k$$

$$m = \frac{3}{2} p \operatorname{Im}(\mathbf{\Psi}_s^* \mathbf{I}_s)$$

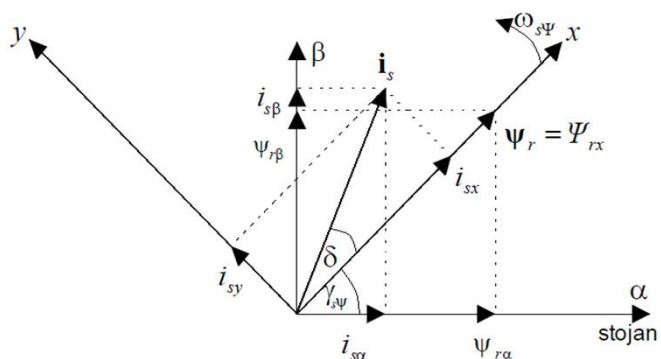
$$0 = R_r \mathbf{I}_r + \frac{d\mathbf{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_{pr} - \omega_e) \mathbf{\Psi}_r$$

$$\mathbf{\Psi}_s = L_s \mathbf{I}_s + L_m \mathbf{I}_r$$

$$\mathbf{\Psi}_r = L_r \mathbf{I}_r + L_m \mathbf{I}_s$$

$$m = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} \operatorname{Im}(\mathbf{\Psi}_r^* \cdot \mathbf{I}_s)$$

Silnik Indukcyjny klatkowy – Sterowanie wektorowe



Wykres wektorowy zmiennych stanu silnika we współrzędnych polowych

$$i_{sx} = i_{s\alpha} \cos \gamma_{s\Psi} + i_{s\beta} \sin \gamma_{s\Psi}$$

$$i_{sy} = -i_{s\alpha} \sin \gamma_{s\Psi} + i_{s\beta} \cos \gamma_{s\Psi}$$

Schemat blokowy SIK sterowanego prądowo w układzie x-y

