

Sterowanie bezczujnikowe

Sensorless Control

1. Metody algorytmiczne
2. Metody fizykalne (pomiar wybranych cech fizycznych silnika)

Odtwarzanie wektora strumienia magnetycznego SI

Symulator oparty na równaniach stojana we współrzędnych α, β

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

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

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

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

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

Odtwarzanie wektora strumienia magnetycznego SI

Symulator oparty na równaniach stojana we współrzędnych α, β

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

$$\mathbf{\Psi}_s = L_{s\sigma} \mathbf{I}_s + \frac{L_m}{L_r} \mathbf{\Psi}_r$$

$$\frac{d\mathbf{\Psi}_r}{dt} = \frac{L_r}{L_m} \left(\mathbf{U}_s - R_s \mathbf{I}_s - L_{s\sigma} \frac{d\mathbf{I}_s}{dt} \right)$$

$$\Psi_{r\alpha} = \frac{L_r}{L_m} \int \left(U_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha} - L_{s\sigma} \frac{dI_{s\alpha}}{dt} \right) dt$$

$$\Psi_{r\beta} = \frac{L_r}{L_m} \int \left(U_{s\beta} - R_s I_{s\beta} - L_{s\sigma} \frac{dI_{s\beta}}{dt} \right) dt$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_r}{L_m} \left(U_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha} - L_{s\sigma} \frac{dI_{s\alpha}}{dt} \right)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_r}{L_m} \left(U_{s\beta} - R_s I_{s\beta} - L_{s\sigma} \frac{dI_{s\beta}}{dt} \right) \frac{d\Psi_r}{dt} = \frac{L_r}{L_m} \left(U_s - R_s I_s - L_{s\sigma} \frac{dI_s}{dt} \right)$$

Odtwarzanie wektora strumienia wirnika SI za pomocą obserwatora Luenbergera

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}(\omega)\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C}\mathbf{X}$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} & i_{s\beta} & \psi_{r\alpha} & \psi_{r\beta} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{s\alpha} & u_{s\beta} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} & i_{s\beta} \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & a_{14}(\omega) \\ 0 & a_{22} & a_{23}(\omega) & a_{24} \\ a_{31} & 0 & a_{33} & a_{34}(\omega) \\ 0 & a_{42} & a_{43}(\omega) & a_{44} \end{bmatrix}$$

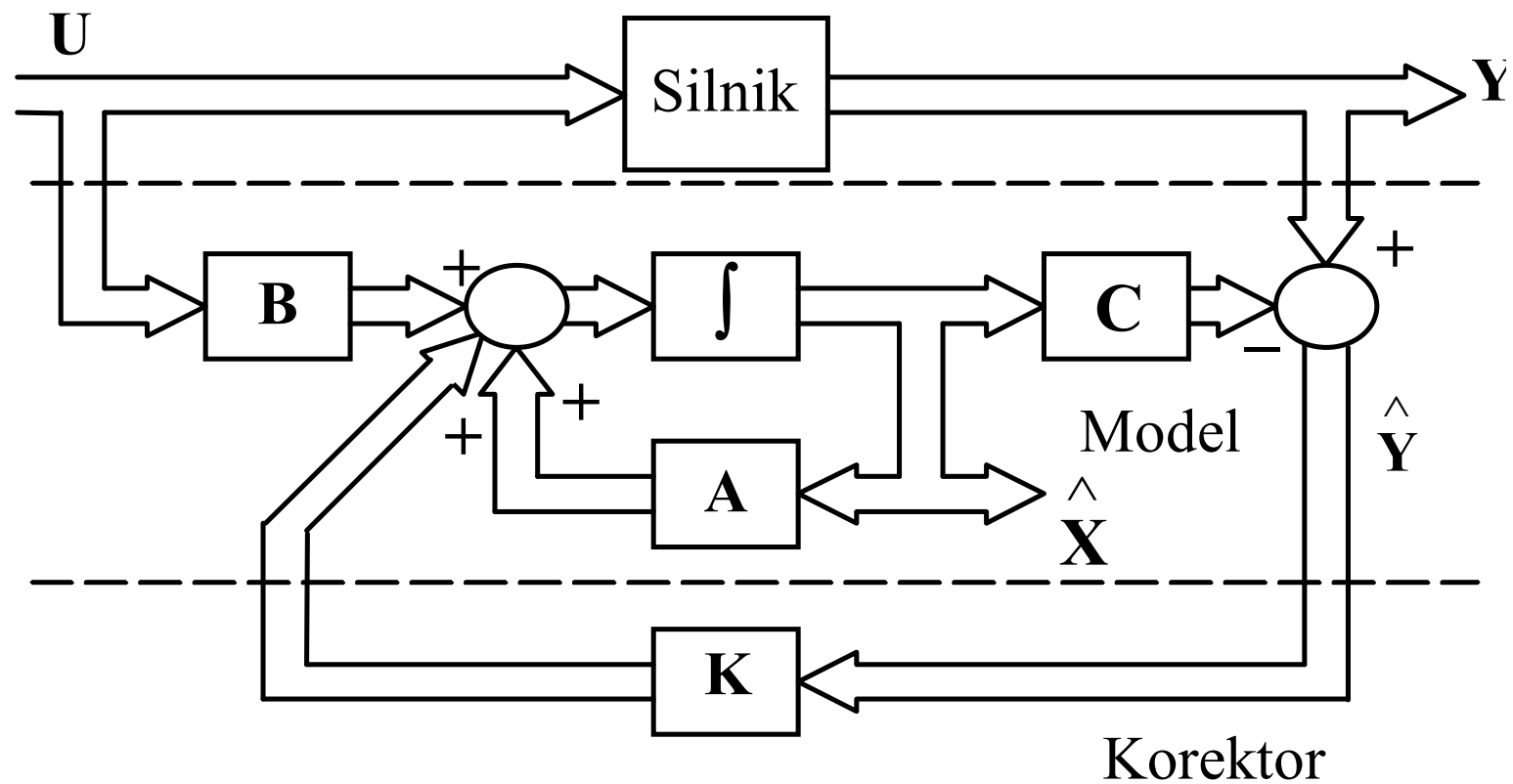
Odtwarzanie wektora strumienia wirnika SI za pomocą obserwatora Luenbergera

$$B = \begin{bmatrix} \frac{L_r}{L_s L_r - L_m^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{L_r}{L_s L_r - L_m^2} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

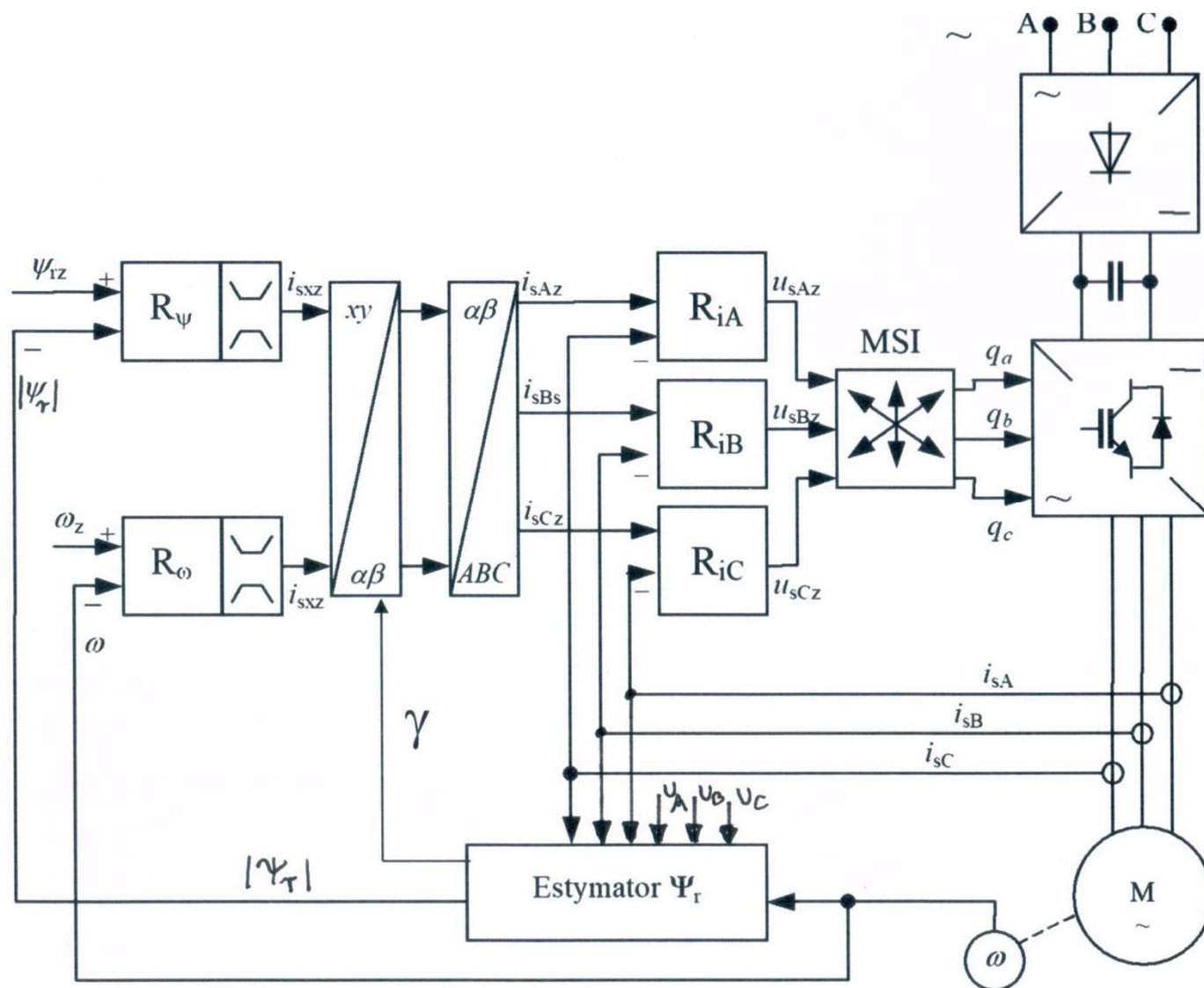
$$\hat{\dot{X}} = A \cdot \hat{X} + BU + K \left(Y - \hat{Y} \right)$$

$$K \cdot \left(Y - \hat{Y} \right) = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \\ K_{31} & K_{32} \\ K_{41} & K_{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s\alpha} - \hat{I}_{s\alpha} \\ I_{s\beta} - \hat{I}_{s\beta} \end{bmatrix}$$

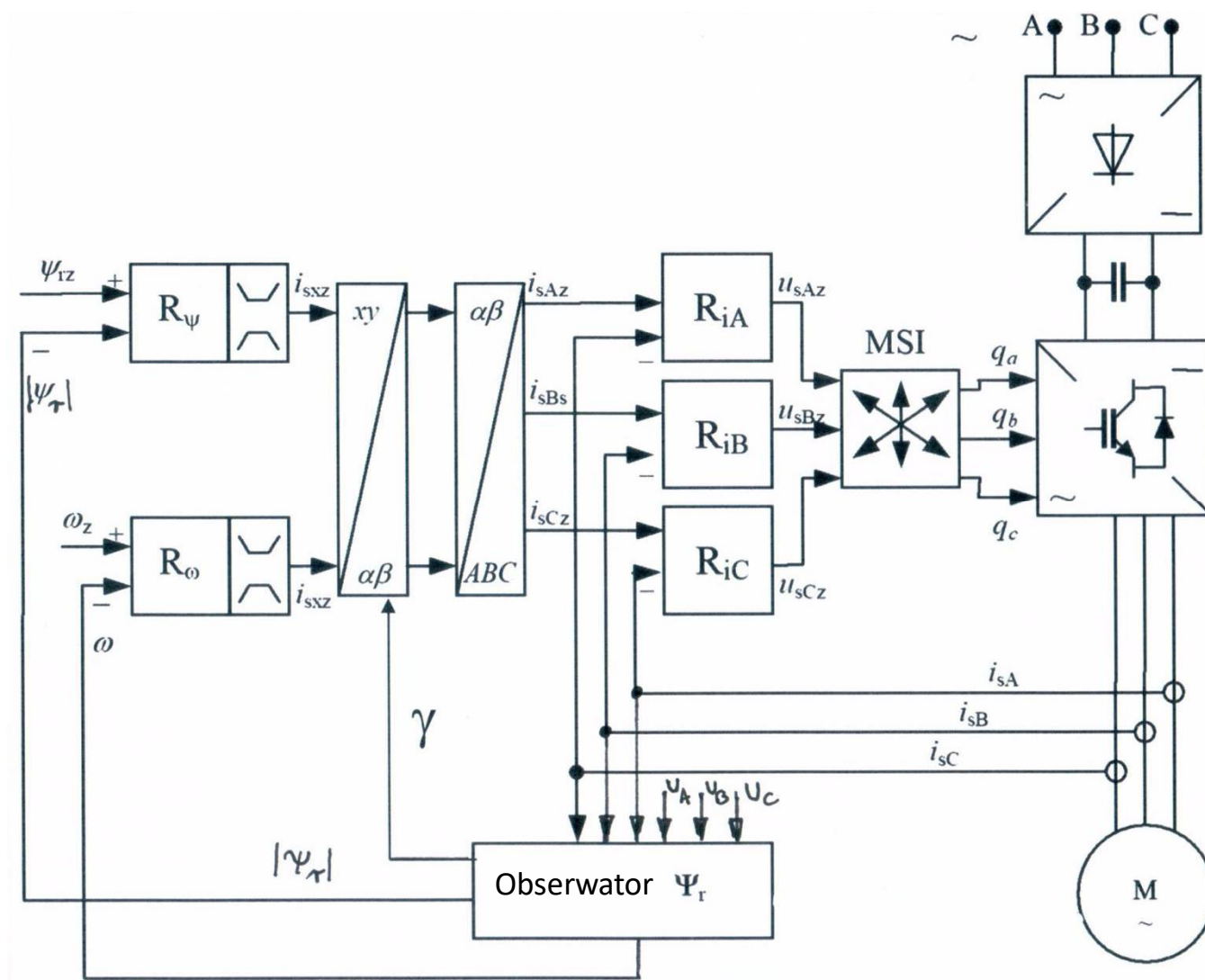
Struktura obserwatora Luenbergera dla odtwarzania wektora strumienia wirnika SI



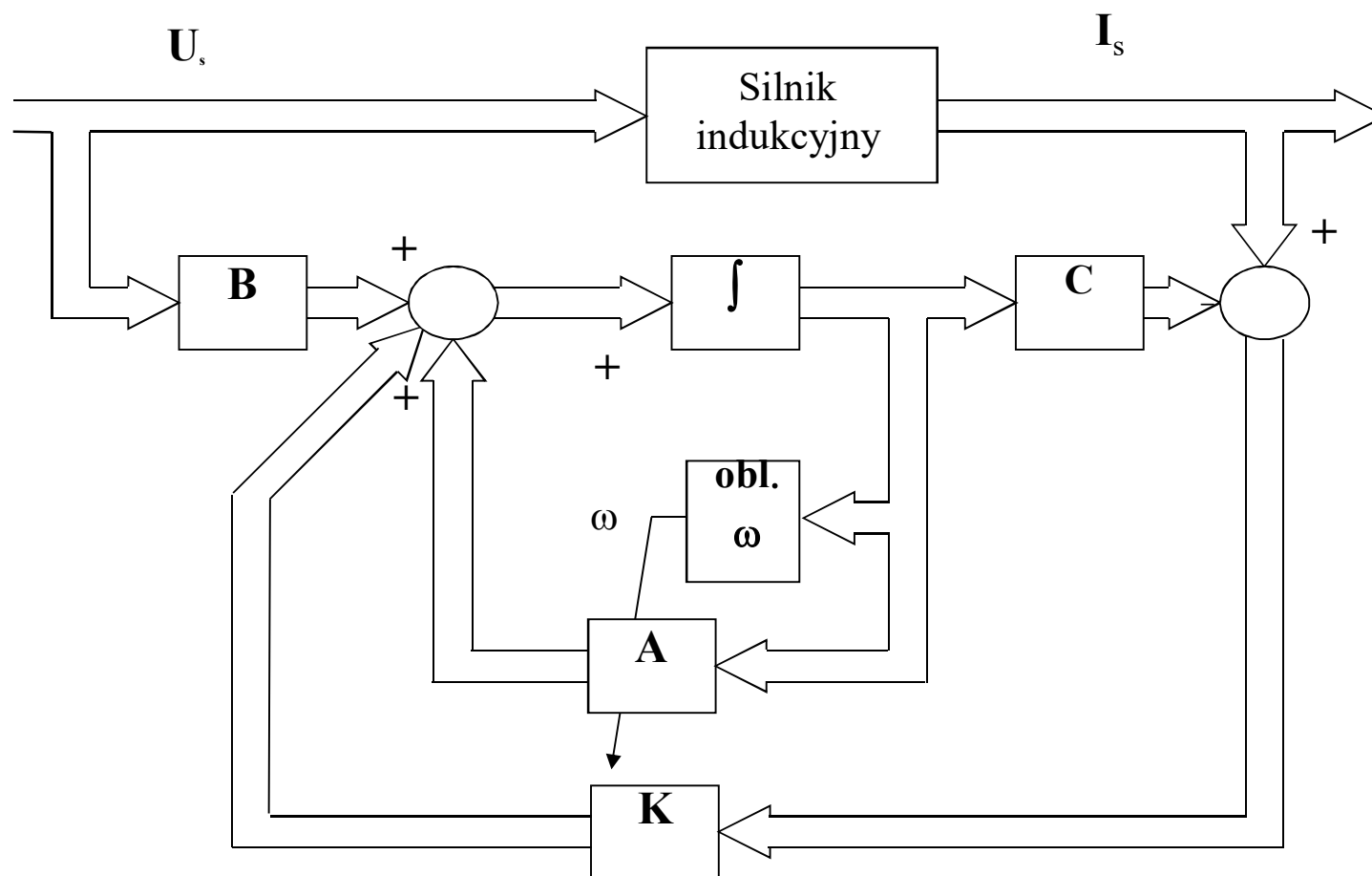
Schemat układu częstotliwościowej regulacji wektorowej prędkości silnika indukcyjnego klatkowego (DFOC) z trzema regulatorami prądów fazowych



Schemat układu częstotliwościowej regulacji wektorowej prędkości silnika indukcyjnego klatkowego (DFOC) z trzema regulatorami prądów fazowych w wersji sterowania bezczujnikowego



Struktura liniowego niestacjonarnego obserwatora Luenbergera dla SI



Obliczenia położenia kąowego wektora strumienia i prędkości kątowej silnika przy sterowaniu bezczuźnikowym SI

$$\gamma_{\psi r} = \arctg\left(\frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{r\alpha}}\right)$$

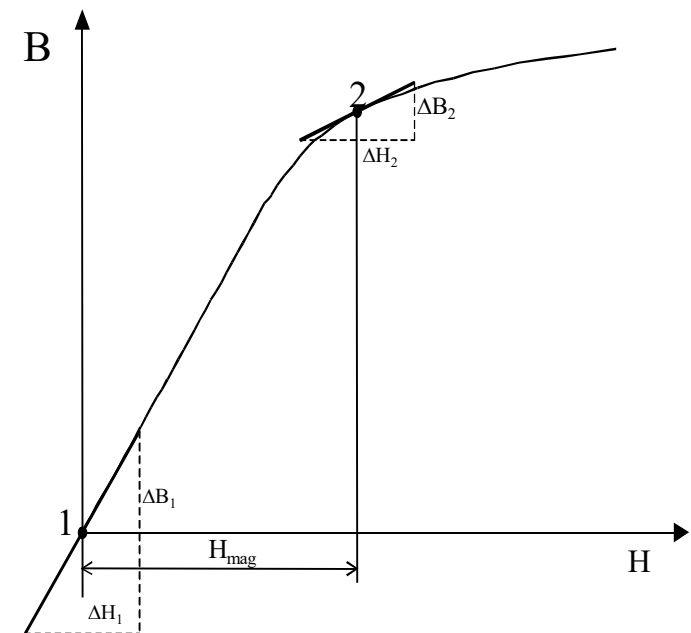
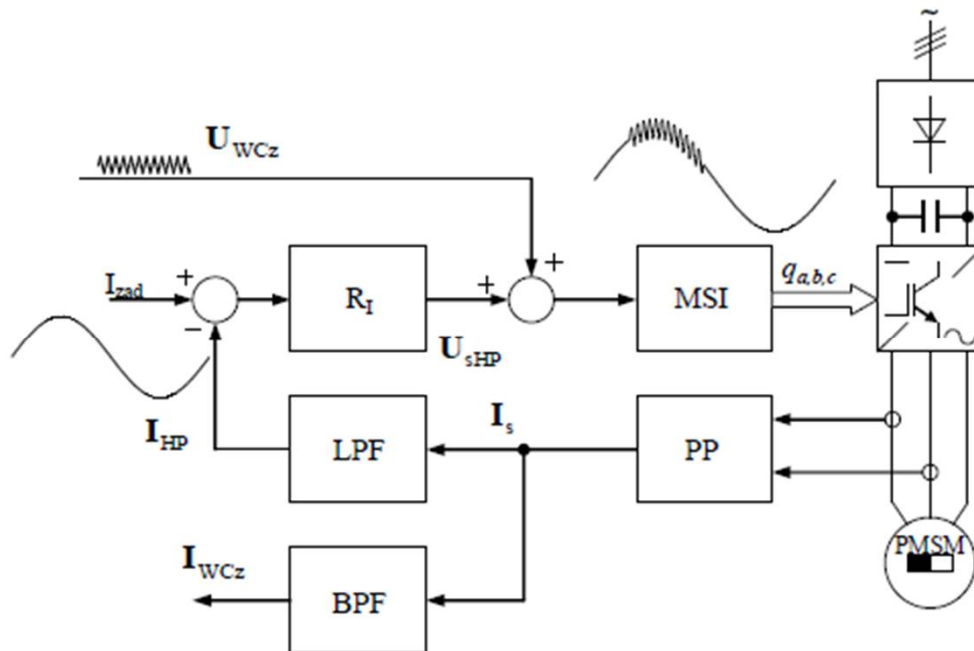
$$\omega_{\psi r} = \frac{d\gamma_{\psi r}}{dt} = \frac{\psi_{r\alpha} \frac{d}{dt}\psi_{r\beta} - \psi_{r\beta} \frac{d}{dt}\psi_{r\alpha}}{\psi_{r\alpha}^2 + \psi_{r\beta}^2}$$

$$\omega_r = \frac{L_M}{T_r \psi_{rx}} i_{sy} = \frac{i_{sy}}{T_r i_{sx}}$$

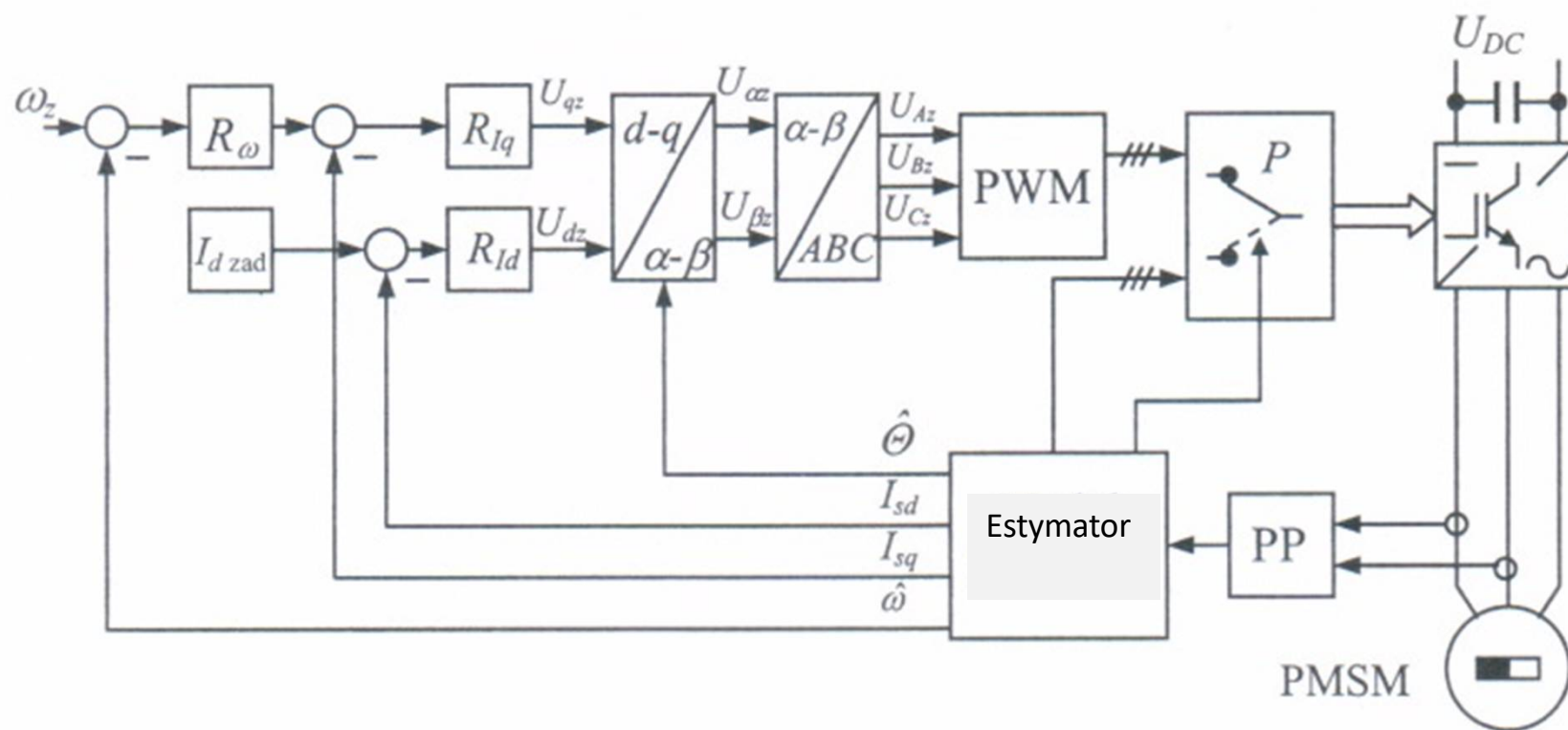
$$\omega_e = p\omega = \omega_{\psi r} - \omega_r$$

Sterowanie bezczujnikowe silnikiem PMSM

Estymacji kąta położenia wirnika PMSM wykorzystująca
podejście fizyczne (konceptcja)



Sterowanie bezczujnikowe silnikiem PMSM



Sterowanie bezczujnikowe silnikiem bezszczotkowym prądu stałego BLDCM

