

$$\begin{cases} F = i_B \omega ; \quad \Phi = \Phi_0 + \Lambda(F); \\ i_H R_0 = i_B v_B + \omega \frac{d\Phi}{dt}; \\ c_e \omega \Phi = i_r v_a + L_a \frac{di_r}{dt} \\ \int \frac{d\omega}{dt} = M_B - c_M \Phi i_r \end{cases}$$

• система дифференциалов в форме Коши

$$\begin{cases} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{i_H R_0 - i_B v_B}{\omega} = \frac{i_H R_0 - \frac{F}{\omega} v_B}{\omega} \\ = \frac{i_H R_0 - \frac{\Lambda^{-1}(\Phi)}{\omega} v_B}{\omega}; \quad (F = \Lambda^{-1}(\Phi)) \\ \frac{d i_r}{dt} = \frac{c_e \omega \Phi - v_a i_r - i_H R_0}{\omega} \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_B - c_M \Phi i_r}{\omega} \end{cases}$$

• искомые переменные, не являющиеся переменными состояния

$$\begin{cases} i_H R_0 - \frac{p(\Phi)}{\omega} v_B = 0 \\ c_e \omega \Phi - i_r v_a - i_H R_0 = 0 \\ M_B - c_M \Phi i_r = 0 \end{cases}$$

• нормирование всех переменных входа и выхода

$$\bar{\Phi} = \frac{\Phi}{\Phi_H} \Rightarrow \Phi = \bar{\Phi} \cdot \Phi_H$$

$$\bar{i}_r = \frac{i_r}{i_{rH}} \Rightarrow i_r = \bar{i}_r \cdot i_{rH}$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_H} \Rightarrow \omega = \bar{\omega} \cdot \omega_H$$

$$\bar{M}_B = \frac{M_B}{M_{BH}} \Rightarrow M_B = \bar{M}_B \cdot M_{BH}$$

$$\bar{R}_0 = \frac{R_0}{R_{0H}} \Rightarrow R_0 = \bar{R}_0 \cdot R_{0H}$$

$$\begin{cases} i_H \bar{R}_0 \cdot R_{0H} - \frac{p(\bar{\Phi})}{\omega} V_B = 0 \\ c_e \bar{\omega} \omega_H \bar{\Phi} \Phi_H - \bar{i}_r \cdot i_{rH} V_a - i_H \bar{R}_0 \cdot R_{0H} = 0 \\ \bar{M}_B \cdot M_{BH} - c_M \bar{\Phi} \Phi_H \bar{i}_r \cdot i_{rH} = 0 \end{cases}$$

перем. состояние: $x = [x_1, x_2, x_3]^T, [\bar{\Phi} \bar{i}_r \bar{\omega}]^T$

вход. перемещение: $u = [u_1, u_2]^T, [\bar{M}_B \bar{R}_0]^T$

$$\begin{cases} i_H u_2 \cdot R_{0H} - \frac{p(\bar{\Phi})}{\omega} V_B = 0 \\ c_e \omega_H \Phi_H x_3 x_1 - i_{rH} V_a x_2 - i_H R_{0H} u_2 = 0 \\ M_{BH} \cdot u_1 - c_M \Phi_H i_{rH} x_1 x_2 = 0 \end{cases}$$

$$F = \begin{cases} i_H R_{0H} u_2 - \frac{p(\bar{\Phi})}{\omega} \cdot V_B \\ c_e \omega_H \Phi_H x_3 x_1 - i_{rH} V_a x_2 - i_H R_{0H} u_2 \\ M_{BH} u_1 - c_M \Phi_H i_{rH} x_1 x_2 = 0 \end{cases}$$

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} \end{bmatrix}$$

$$\left[\begin{array}{ccc|c} -\left(\frac{p(x)}{w}\right)' & 0 & 0 & \\ \hline c_n \omega_n \Phi_n x_3 & i_{gn} v_a & c_n \omega_n \Phi_n x_1 & \\ \hline -c_n \Phi_n i_{gn} x_2 & -c_n \Phi_n i_{gn} x_1 & 0 & \end{array} \right]$$