

VEŽBA II MODELOVANJE STRUJNO NAPAJANE AM

Matematički model u dq domenu – strujno napajanje

Matematički model strujno napajane *AM* se sastoji od redukovano skupa diferencijalnih i algebarskih jednačina u odnosu na model naponski napajane *AM*. Asinhrona mašina se napaja iz strujnog invertora i koristi se strujni skalarni zakon upravljanja gde se unjektuje konstanta amplituda vektora struje statora.

U formi prostora stanja, elektromagnetni podsistem strujnog modela *AM* u razvijenom obliku glasi:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/T_r & (\omega_{dq} - \omega) \\ -(\omega_{dq} - \omega) & -1/T_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_m/T_r & 0 \\ 0 & L_m/T_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix}$$

Poređenjem sa odgovarajućim podsistemom naponskog modela *AM* mogu se uočiti sledeće:

- *Redukcija modela u odnosu na naponski za 2 reda*

- ne posmatra se jednačina naponske ravnoteže statora;
- naponi se eventualno mere ili procenjuju;

$$\mathbf{u}_s = R_\sigma \mathbf{i}_s + L_\sigma \frac{d}{dt} \mathbf{i}_s + j\omega_{dq} L_\sigma \mathbf{i}_s - \frac{L_m}{T_r L_r} (1 - j\omega T_r) \boldsymbol{\psi}_r$$

- matrica stanja se redefiniše kao:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} -1/T_r & (\omega_{dq} - \omega) \\ -(\omega_{dq} - \omega) & -1/T_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/T_r & 0 \\ 0 & -1/T_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \omega_{dq} + \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \omega$$

- *Redefinicija skupa varijabli stanja, ulaza i izlaza kao i odgovarajućih matrica*

- komponente vektora struje statora nisu više stanja nego postaju ulazi u podsistem;

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} L_m/T_r & 0 \\ 0 & L_m/T_r \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_1 = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix}$$

- stanja u modelu čine komponente vektora fluksa rotora;

$$\mathbf{x}_1 = \begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ \psi_{rq} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} -1/T_r & (\omega_{dq} - \omega) \\ -(\omega_{dq} - \omega) & -1/T_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/T_r & 0 \\ 0 & -1/T_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \omega_{dq} + \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \omega$$

- definicija elektromagnetnog momenta tj. izlaza podsistema ostaje identična – formalna razlika postoji jer je sada momenat funkcija i ulaza u sistem (komponenti vektora struje statora);

$$\mathbf{y}_1 = f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{u}_1) = \frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot |\boldsymbol{\psi}_r \times \mathbf{i}_s|$$

- *Sprezanje osa u modelu*

- dinamika koja zavisi od vrednosti klizanja – $(\omega_{dq} - \omega)$;
- nivo sprezanja je manji jer je dimenzija modela manja;

- *Ostatak matematičkog modela je identičan kao i u slučaju naponskog modela *AM**

- model mehaničkog podsistema je indiferentan u odnosu na redefiniciju načina napajanja *AM* – uticaj postoji samo na odnose karakterističnih tačaka momentne karakteristike;

Predstava modela AM putem dva međusobno spregnuta dinamička sistema u matricnoj formi prostora stanja:

$$\dot{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{x}_1 + \mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{u}_1 = (\mathbf{A}_1^{const} + \mathbf{A}_1^{\omega_{dq}} + \mathbf{A}_1^{\omega}) \cdot \mathbf{x}_1 + \mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{u}_1$$

$$y_1 = f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{u}_1) = \frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot |\boldsymbol{\psi}_r \times \mathbf{i}_s|$$

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_1 &= \mathbf{A}_1^{const} + \mathbf{A}_1^{\omega_{dq}} + \mathbf{A}_1^{\omega} = f_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \begin{bmatrix} -1/T_r & (\omega_{dq} - \omega) \\ -(\omega_{dq} - \omega) & -1/T_r \end{bmatrix} \\ \mathbf{A}_1 &= \begin{bmatrix} -1/T_r & (\omega_{dq} - \omega) \\ -(\omega_{dq} - \omega) & -1/T_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/T_r & 0 \\ 0 & -1/T_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \omega_{dq} + \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \omega \\ \mathbf{B}_1 &= \begin{bmatrix} L_m/T_r & 0 \\ 0 & L_m/T_r \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_1 = [\psi_{rd} \quad \psi_{rq}]^T, \quad \mathbf{u}_1 = [i_{sd} \quad i_{sq}]^T, \quad y_1 = f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{u}_1)$$

$$\dot{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{x}_2 + \mathbf{B}_2 \cdot \mathbf{u}_2$$

$$\mathbf{y}_2 = \mathbf{C}_2 \cdot \mathbf{x}_2 + \mathbf{D}_2 \cdot \mathbf{u}_2$$

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_2 &= \begin{bmatrix} -k_{\omega} P/J & -k_{\theta} P/J \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} P/J & -P/J \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{C}_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D}_2 = \mathbf{0} \\ \mathbf{x}_2 &= \begin{bmatrix} \omega \\ \theta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_2 = \begin{bmatrix} m_e \\ m_{opt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ m_{opt} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y}_2 = \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

uz izdvojene definicije nelinearnih funkcija f_1 i f_2 :

$$\mathbf{A}_1 = f_1(\mathbf{x}_2) = f_1(\theta, \omega)$$

$$m_e = y_1 = f_2(\mathbf{x}_1, \mathbf{u}_1) = \frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot (\psi_{rd} \cdot i_{sq} - \psi_{rq} \cdot i_{sd}) \quad (3)$$

Osobine modela:

- Model *AM* je nelinearan, **četrvtog** reda,
- Sistem *ne* poseduje osobinu potpune kontrolabilnosti u *celokupnom opsegu radnih tačaka* –postoji problem eksploatacije za jako mala klizanja blizu nule pri nazivnoj vrednosti amplitude statora kada je mašina neopterećena;

Sistem jednačina (1)–(3), uz navedene osobine, predstavlja osnovu za implementaciju simulacionog modela *AM* u režimu strujnog napajanja.

RAČUNARSKE VEŽBE:

- *Simulacija I: Konstrukcija modela u Simulink okruženju MATLAB programskog paketa*
 - skalarni strujni model AM u prostoru stanja sa varijablama fluksom rotora;
 - parametrizacija modela;
- *Simulacija II: Strujno napajanje AM u otvorenoj sprezi*
 - direktan start neopterećene AM u otvorenoj sprezi sa nazivnom strujom napajanja;
 - rešen problem polaznih struja;
 - problem visokih napona pri radu na stabilnom delu momentne karakteristike
 - tranzijentne pojave i dinamička karakteristika AM ;
 - sprezanje osa pri visokim klizanjima, mali razvijene momenat usled niskog fluksa i lošeg faktora snage;
 - neopterećeno stanje i struja magnećenja;
 - odziv na poremećaj u vidu opterećenja i klizanje;
 - trofazni sinusni modulator i strujni invertor;
- *Simulacija III: I - f strategija u zatvorenoj sprezi*
 - ograničenje (donje vrednosti) klizanja AM i rešenje problema visokih napona pri nazivnoj struji statora;
 - problem kontrolabilnost pri neopterećenom ili slabo opterećenom stanju – nestabilnost radne tačke
 - tranzijente pojave i sprezanje osa;
 - kvalitet dinamičkih pojava i nelinearna zavisnost momenta od klizanja;
 - trofazni sinusni modulator i strujni invertor + regulator brzine obrtanja;
 - odabira pojačanja regulatora!