

VEŽBA III FOC STRATEGIJA U POGONU AM

Strujno napajanje AM sa orijentacijom vektora struje – FOC strategija

Unapređenje dinamičkih karakteristika strujnog napajanja se može dobiti ukoliko se pored amplitude vektora struje statora utiče i na njegov fazni stav. Time se vrši orijentacija vektora struje u odnosu na polje i postiže vektorska kontrola *AM*.

U osnovi algoritma za implementaciju vektorske kontrole *AM* jeste pozicioniranje sinhrono–rotirajućeg *dq* sistema osa na fluks rotora uz konstantnu regulaciju komponenti struja statora. Ukoliko se koordinatni sistem orijentiše na polje rotora (orijentacija polja FOC – eng. *Field Oriented Control*) dobijaju se sledeći efekti;

- *q* komponenta fluksa rotora je jednaka nuli:

$$\begin{aligned}\psi_{rd} &= |\psi_r| \\ \psi_{rq} &= 0\end{aligned}\tag{1}$$

Pozicioniranjem *dq* koordinatnog sistema na fluks rotora moduo vektora fluksa rotora $|\psi_r|$ je jednak podužnoj komponentni istig vektora ψ_{rd} ; poprečna komponenta ψ_{rq} vremenom iščezava.

- Dimenzija sistema modela *AM* se smanjuje za jednu dimenziju:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/T_r & (\omega_{dq} - \omega) \\ -(\omega_{dq} - \omega) & -1/T_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{rd} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_m/T_r & 0 \\ 0 & L_m/T_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix}\tag{2}$$

Uvrštavanjem u matricnu relaciju modela *AM* vidi se da poslednja vrsta postaje skalarna jednačina, čime se model redukuje na dimenziju $n = 1$.

- Efekat rasprezanja dinamike osa *dq* koordinatnog sistema:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \psi_{rd} &= -1/T_r \cdot \psi_{rd} + (\omega_{dq} - \omega) \cdot 0 + L_m/T_r \cdot i_{sd} \\ 0 &= -(\omega_{dq} - \omega) \cdot \psi_{rd} - 1/T_r \cdot 0 + L_m/T_r \cdot i_{sq}\end{aligned}\tag{3}$$

Raprežući efekat osa omogućuje pojednostavljenje dinamike regulacionog podsistema struje i fluksa rotora. Ovo značajno utiče na upravljačke performanse *AM*.

- Raspregnuta dinamika uspostavljanja fluksa i momenta *AM*:

$$m_e = \frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot (\psi_{rd} \cdot i_{sq} - \psi_{rq} \cdot i_{sd}) = \frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot \psi_{rd} \cdot i_{sq} = \frac{3}{2} P \cdot \frac{L_m^2}{L_r} \cdot i_{sd} \cdot i_{sq}\tag{4}$$

Kao najvažnija karakteristika, sistem *AM* postaje linearan konvertor momenta. Poprečna komponenta struje statora i_{sq} postaje srazmerna elektromagnetnom momentu mašine, čime je omogućeno upravljanje i regulacija visokih performansi.

- Linearna zavisnost fluksa rotora ψ_{rd} i podužne komponente vektora struje statora i_{sd} :

$$\frac{d}{dt} \psi_{rd} = -\frac{1}{T_r} \cdot \psi_{rd} + \frac{L_m}{T_r} \cdot i_{sd} \xrightarrow{d/dt=0} |\psi_r| = \psi_{rd} = L_m \cdot i_{sd}\tag{5}$$

Dinamika uspostavljanja fluksa u mašini zavisi samo od podužne komponente vektora struje statora koja ima ulogu da uspostavi magnetno polje u mašini.

Sličnost FOC upravljane AM sa MJS kao linearnim konvertorom momenta!!!

MJS	AM FOC
Nezavisni namotaji statora i rotora	i_{sd} i i_{sq} se utiskuju nezavisno jedna od druge
Magnetne ose namotaja pod 90° električnih	dq sistem osa je definisan na način da su ose pod 90°
Mehanička komutacija polja – komutator	Električna komutacija polja – orijentacija dq sistema
Magnetni fluks: Statorski namotaj $\phi_f = L_f \cdot i_f$	Magnetni fluks: Statorska d osa $\psi_{rd} = L_m \cdot i_{sd}$
Pojačanje momenta: $K_m = c \cdot \phi_f = \psi_f$	Pojačanje momenta: $K_m = 3/2 \cdot P \cdot (L_m/L_r) \cdot \psi_{rd}$
Elektromagnetni momenat: Rotorski namotaj $m_e = K_m \cdot i_a$	Elektromagnetni momenat: Statorska q osa $m_e = K_m \cdot i_{sq}$

Implementacija FOC strategije se zasniva na proračunu ugla dq koordinatnog sistema na fluks rotora. Dva načina za proračun su:

- Indirektna metoda – indirektna orijentacija polja IFOC (eng. Indirect Field Oriented Control)

$$\omega_k = \frac{L_m}{T_r} \cdot \frac{i_{sq}}{\psi_{rd}} = \frac{L_m}{T_r} \cdot \frac{i_{sq}}{L_m i_{sd}} = \frac{1}{T_r} \cdot \frac{i_{sq}}{i_{sd}}$$

$$\omega_{dq} = \omega + \omega_k \quad (6)$$

$$\theta_{dq} = \int \omega_{dq} \cdot dt$$

- Relacija (6) je posledica skalarne jednačine u (3);
- Indirektni proračun ugla dq koordinatnog sistema poravnatog sa fluksom rotora je izvršen korišćenjem strujnih relacija rotora podešavanjem učestanosti klizanja kao jedine preostale veličine za upravljanje;
- Klizanje je srazmerno karakterističnom strujnom odnosu i_{sq}/i_{sd} ;
- Koeficijent skaliranja predstavlja vrednost inverzne vremenske konstante rotora $1/T_r$ kao prevalne učestanosti klizanja u strujnom režimu napajanja;
- Frekvencija rotora ω_k se fizički postiže superpozicijom na brzinu obrtanja rotora ω ;
- Pozicija dq sistema pri kojoj se obezbeđuje (4) se dobija kao vremenski integral ω_{dq} .

Napomena: Potrebno je poznavati parametre u kolu rotora kao i imati merenje brzine obrtanja rotora.

- Direktna metoda – direktna orijentacija polja DFOC (eng. Direct Field Oriented Control)

$$\psi_s = \int (u_s - R_s i_s) dt$$

$$\psi_r = \frac{L_r}{L_m} (\psi_s - L_\sigma i_s) \quad (7)$$

$$\theta_{dq} = \tan^{-1} \frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{r\alpha}}$$

- Orijetacija polja *direktno* na osnovu merenja komponenti vektora fluksa rotora;
- Proračun ugla na osnovu komponenti vektora fluksa rotora u stacionarnom $\alpha\beta$ domenu;
- Estimacija fluksa rotora u slučaju da je merenje nedostupno;
 - na osnovu informacija o merenom vektoru napona i struje statora;
 - potrebne su informacije o parametrima statorskog i rotorskog kola;
- Upotreba inverzne trigonometrijske funkcije za tangens ugla vektora fluksa rotora za ostvarenje (1);

Napomena: Problem procene usled granične stabilnosti estimatora.

RAČUNARSKE VEŽBE:

- *Simulacija I: FOC strategija*
 - dodatna povratna sprega po fluksu rotora, blok za *DFOC* proračun ugla fluksa rotora;
 - dodatna povratna sprega po brzini obrtanja rotora, blok za *IFOC* proračun ugla fluksa rotora;
 - efekat raspredanja kontura fluksa i elektromagnetnog momenta AM ;
 - *DFOC* realizacija;
 - *IFOC* realizacija;