

Controlul vectorial al vitezei motorului sincron cu magneți permanenți

— Chiriac Gabriel-Florentin
Dragomir Alexandru-Constantin
Mihălcuț Daniel-Paul
Stoleriu Ștefan

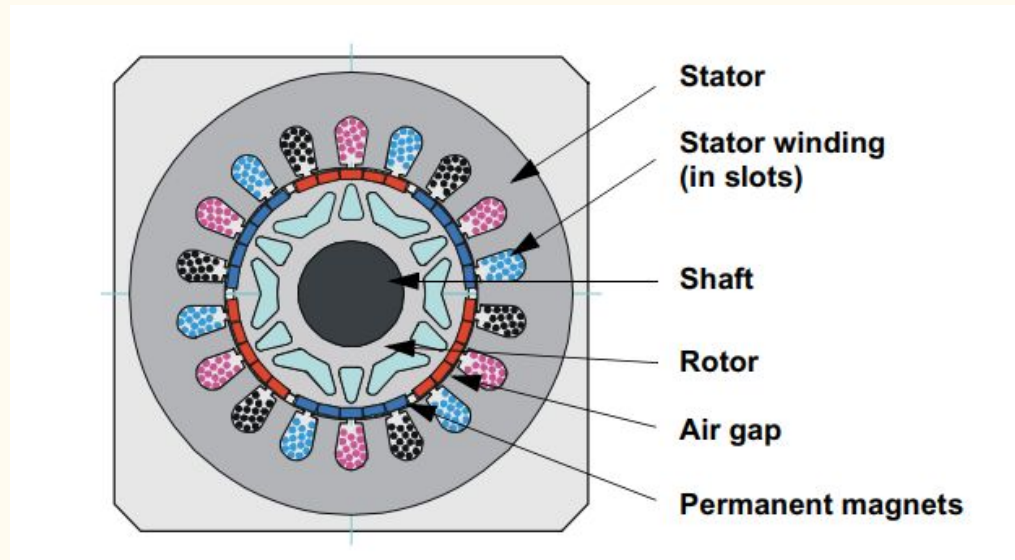
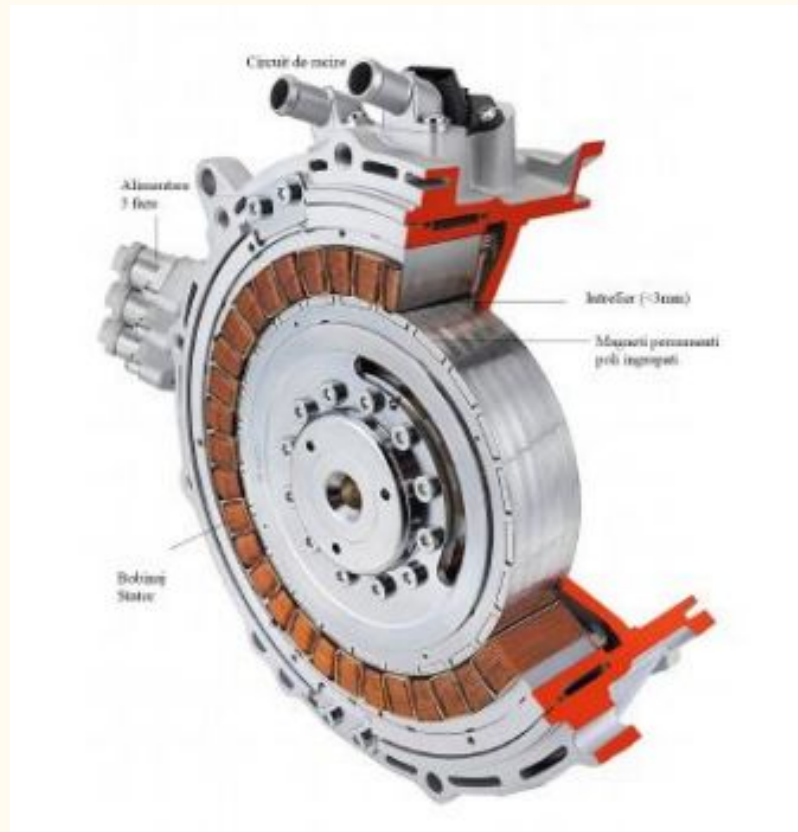


Fig.1, Fig. 2: Secțiune transversală a unui motor sincron cu magneți permanenți [1]

Motor sincron cu magneti permanenti - MSMP

Componente:

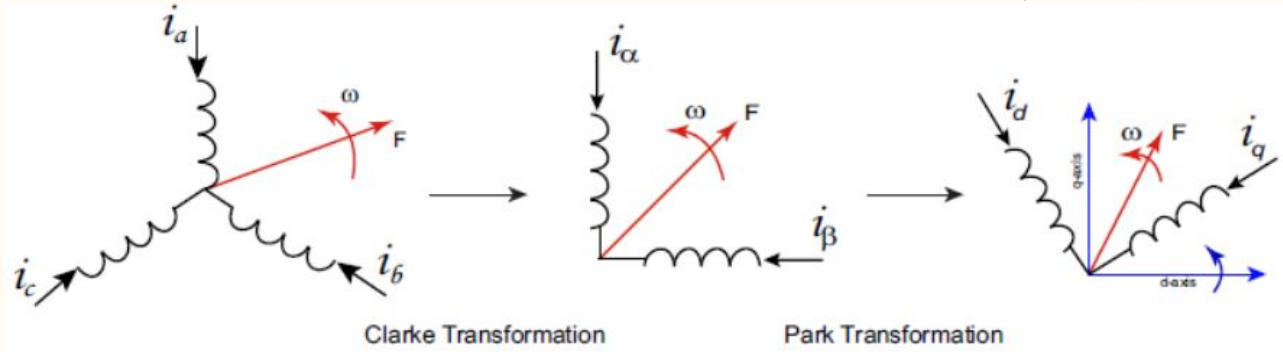
- rotor - magnet permanent;
- statorul – fire conectate la o sursă de c.a.

Functionare:

Magnetul se va învârti sincron cu câmpul magnetic generat de firele din stator. Este similar cu motorul fără perii.

Mărimile motorului sincron sunt reprezentate de tensiuni, curenți și fluxul magnetic. Acestea pot fi caracterizate printr-un spațiu vectorial cu două axe.

Controlul vectorial constă în transformarea sistemului de referință al statorului (cele trei faze ale motorului) într-un sistem de referință ortogonal (α, β) cu ajutorul transformatei Clarke, iar mai apoi obținându-se sistemul de referință al rotorului (d, q) aplicând transformata Park sistemului de referință ortogonal (α, β).



Analizand fig.3 din slide-ul anterior, putem deduce că intrările sunt reprezentate de viteza unghiulară (bucla externă), curenții rotorici (bucla internă), iar ca ieșiri avem viteza unghiulară (bucla externă), tensiunile d și q (bucla internă).

Cu ajutorul inversei transformatei Clarke, din tensiunile d, q se obțin tensiunile α, β , iar prin inversa transformatei Park obținem din tensiunile α, β , tensiunile pe cele trei faze ale motorului rezultând un semnal PWM.

Se măsoară curenții statorici, iar prin transformata Clarke obținem curenții α, β . Mai apoi, prin transformata Park rezultă curenții d, q , obținându-se eroarea pentru bucla internă.

Prin măsurarea vitezei motorului obținem eroarea pentru bucla externă și unghiul motorului folosit în cadrul transformatelor.

Curentul q - producător de cuplu, curentul d – producător de câmp magnetic

Menținând curentul $d = 0$, curentul q tinde spre maxim, astfel se poate obține maximul de cuplu pe care îl poate dezvolta motorul

Partea fixată a sistemului de control, din perspectiva buclei exterioare este alcătuită din blocurile de transformate Park și Clarke (atât inverse, cât și directe) din sistem împreună cu generatorul de semnal, invertorul și motorul.

În ceea ce privește buclele interioare, părțile fixate sunt construite din blocurile de transformare Clarke (atât inverse, cât și directe) și Park.

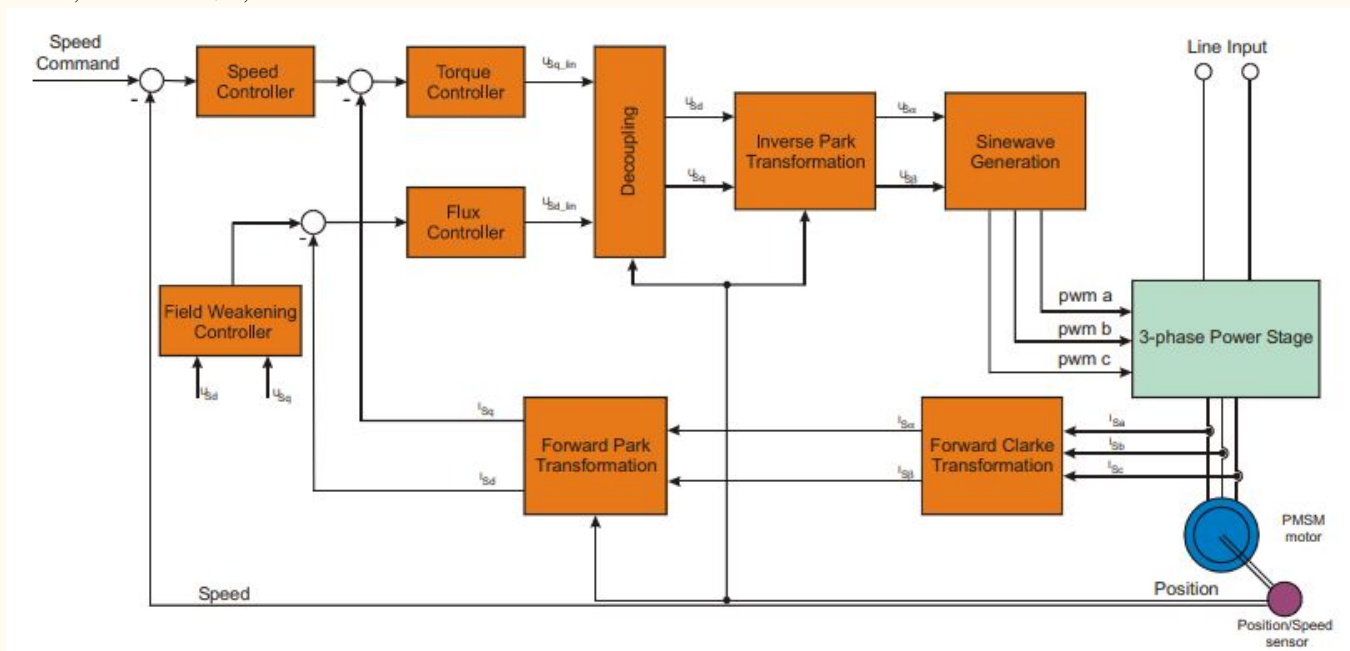


Fig. 4 Schema bloc a reglării în cascadă a motorului PMSM [1]

Modelarea părților fixate

$$\frac{di_{ds}}{dt} = \frac{1}{L_d} \left(v_{ds} - R_s i_{ds} + \omega_e L_q i_{qs} \right)$$

$$\frac{di_{qs}}{dt} = \frac{1}{L_q} \left(v_{qs} - R_s i_{qs} - \omega_e L_d i_{ds} - \omega_e \lambda_m \right)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J_m} \left(T_e - T_L - d_m \omega_m \right)$$

Unde T_e :

$$T_e = \frac{3P}{2} \left[\lambda_m i_{qs} + \left(L_d - L_q \right) i_{ds} i_{qs} \right]$$

Performanțe. Restricții

Obținerea cerințelor impuse sistemului de reglare constă în îndeplinirea unor obiective ce au ca rol minimizarea unei funcții de cost.

În ordinea descrescătoare a importanței, obiectivele vor fi:

- Limitarea tensiunii motorului în concordanță cu limitarea efectivă a alimentării invertorului;
- Limitarea curentului motorului la o valoare specifică, încercând să obținem cuplul dorit și în final să maximizăm eficiența.

Având la dispoziție parametrii interni ai unui motor sincron cu magneți permanenți, se poate realiza un studiu de caz pe baza acestora și prin urmare, se pot stabili limitările/restricțiile.

Numărul de perechi de poli $p = 3$;

Inductanța L_d de pe axa d: $L_d = 10 \text{ mH}$;

Inductanța L_q de pe axa q: $L_q = 19 \text{ mH}$;

Pierderi de flux: $\lambda = 0.7885 \text{ Vs}$

Rezistența statorului: $R_s = 0.349 \text{ } \Omega \text{ (} 24^\circ \text{C)}$

Curentul nominal al motorului: $20.2 \text{ A (} |I|_{\max} = 35 \text{ A)}$

Curentul nominal al invertorului: 24 A

Tensiunile motorului rezultă astfel:

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - \omega_e L_q i_{qs} + L_d \frac{di_{ds}}{dt}$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \omega_e L_d i_{ds} + \omega_e \lambda_m + L_q \frac{di_{qs}}{dt}$$

Limitările calculate sunt de forma:

$$|U| = \sqrt{v_{ds}^2 + v_{qs}^2} \leq |U|_{lim}$$

$$|I| = \sqrt{i_{ds}^2 + i_{qs}^2} \leq |I|_{max}$$

O limitare a curentului $|I|_{max}$ este

impusă pentru a preveni defectarea indusă termic a motorului

Folosind parametrii prezentați în slide-ul anterior, din calcule rezultă un cuplu maxim de 88,45 Nm, atunci când limita de curent este de 35 A. [4]

Solutii de control

Reglatoare PI (clasice):

- alocare de poli + reglatoare feedforward pe calea referințelor [1]

Control de tip predictiv cu dead-beat:

- se obține predicția valorii vectorului deviației curentului la momentul prezent, iar pe baza lui se determină valoarea tensiunii de ieșire

Controlul curenților de tip histerezis/ rampă/ hibrid:

- histerezis: se compară curenții de pe cele trei faze cu o bandă de histerezis și în funcție de aceasta se identifică reguli pentru a deschide tranzistorii ce generează semnalul PWM
- rampă: se compară curenții de pe cele trei faze cu un semnal triunghiular de o anumită frecvență. Se definesc astfel niște praguri de comparație de unde vor rezulta reguli pentru a deschide tranzistorii ce generează semnalul PWM
- hibrid: asocierea metodelor prezentate anterior

Bibliografie

- [1] Libor Prokop, Pavel Grasblum, 3-Phase PM Synchronous Motor Vector Control, Freescale Semiconductor, Application Note, 2005.
- [2] Robin Helsing & Tobias Sanchez, Modeling and Control of a PMSM Operating in Low Speeds
- [3] Chai, S., Wang, L., & Rogers, E. (2013). Model predictive control of a permanent magnet synchronous motor with experimental validation. *Control Engineering Practice*, 21(11), 1584-1593.
- [4] Lemmens, J., Vanassche, P., & Driesen, J. (2014). PMSM drive current and voltage limiting as a constraint optimal control problem. *IEEE Journal of emerging and selected topics in power electronics*, 3(2), 326-338.
- [5] X. Liu, Q. Zhang, Robust Current Predictive Control-Based Equivalent Input Disturbance Approach for PMSM Drive, 2019
- [6] M. Kadjoudj, M. Benbouzid, C. Ghennai, D. Diallo, A Robust Hybrid Current Control for Permanent Magnet Synchronous Motor Drive, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004