



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

UTILIZAREA MAȘINII ASINCRONE ÎN ACȚIONAREA HIBRIDĂ ȘI PUR ELECTRICĂ A AUTOMOBILELOR

Marian-Ștefan NICOLAE, Gheorghe MANOLEA

ASYNCHRONOUS MOTOR UTILISATION IN HYBRID AND ELECTRICAL VEHICLES

The performance and fuel economy of a fuel cell powered vehicle [1] are greatly improved by the use of a hybrid drive train. The hybridization allows taking full advantage of the fuel cell system efficiency characteristics.

The fuel cell is thus operated at average power demands where it is the most efficient, while the batteries supply the traction motors at low power demands and assists the fuel cell at high power demands.

One investigates the possible fuel cell hybrid drive trains and compares on the grounds of fuel economy and feasibility. Then, based on the conclusions of this first analysis, a discussion of the most suitable electric motors will follow.

Then it is presented a solution based on the asynchronous motor, highlighting its advantages over other types of drives.

The Induction Motor (IM) is, without any doubt, the workhorse in industry due to its ruggedness, simple technology and low cost. During the last decade, the induction motor has been replaced in many variable speed drives by the Permanent Magnet (PM) motor since the PM machine has better efficiency and higher torque density [2]. That was possible also due to a significant reduction of the magnets cost that happened in the past.

The goal of the paper is to investigate the possibility to use the FVC (Flux Vector Control) for induction motors in traction applications.

Cuvinte cheie: automobil electric, lanț de transmisie, mașină asincronă

Keywords: electric car, chain transmission, asynchronous machine

1. Introducere

În ultimii ani, odată cu reducerea semnificativă a resurselor energetice clasice, care se vor epuiza nu peste mult timp – pe de o parte, și pe de altă parte considerând preocuparea deosebită pentru un mediu curat care să micșoreze impactul creșterii poluării și al emisiilor de gaze cu efect de seră, există un interes major privind utilizarea vehiculelor electrice (EV) - ca o alternativă nepoluantă din punct de vedere al mediului înconjurător. Cheia dezvoltării acestui tip de transport este reprezentată de acționarea electrică a autovehiculelor, care se dezvoltă într-un ritm accelerat în ultimii ani.

Performanțele tehnice și economia de combustibil în cazul unui vehicul alimentat de celule de combustie sunt îmbunătățite semnificativ de multe ori prin folosirea unui lanț de acționare hibridă.

Hibridizarea permite să se profite la maxim de eficiența celulelor de combustie. Celula de combustie răspunde cererilor de putere medie, fiind cea mai eficientă pentru acest tip de autovehicul, în timp ce alimentarea motoarelor de tracțiune cu ajutorul bateriilor electrice este mai eficientă la puteri mici. La puteri mari se folosesc combinat ambele tipuri de tracțiune.

2. Cerințe ale lanțului de acționare hibridă

Conceptul de lanț de acționare hibridă este bazat pe cerințele de alimentare separată la încărcarea de bază și la nivel maxim.

Încărcarea de bază reprezintă puterea necesară pentru a preîntâmpina rezistența aerodinamică, rezistența de rulare și frecarea mecanică în transmisie. Încărcarea de bază trebuie să fie eficientă, deoarece distanța parcursă de un autovehicul hibrid depinde în mod direct de aceasta. Energiile cinetică și potențială (de prag) sunt furnizate de o sursă de energie bidirecțională și apoi recuperate de aceasta în timpul frânării sau a scăderii pragului.

Nivelul maxim se atinge prin furnizarea energiei cinetice către masa vehiculului sau la recuperarea prin frânare recuperativă. Această caracteristică este responsabilă de reducerea unei mari părți din consumul de combustibil în orașe, pe când cea mai mare parte din puterea de tracțiune este necesară pentru accelerare și frânare.

Deoarece energia cinetică este fie stocată în masa vehiculului, fie în sursa de putere până la nivelul maxim, ea nu părăsește niciodată vehiculul și nu induce niciun fel de consum de combustibil [3].

2.1. Lanțul de acționare serie, hibrid, cu celule de combustie

Lanțul de acționare hibrid cu celule de combustie rezultă direct din lanțurile de acționare generator-motor. Celulele de combustie înlocuiesc în mod avantajos grupurile motor – generator - redresor voluminoase și grele, datorită ieșirii electrice directe în curent continuu.

Poate fi necesar un convertor de acționare pentru a adapta ieșirea celulelor de combustie la tensiunea de alimentare de curent continuu [5]. Acest convertor este mult mai simplu decât redresorul, deoarece este un chopper într-un singur cadran. Arhitectura unui lanț de acționare hibrid tipic, serie, este prezentată în figura 1.

Într-un lanț de acționare hibrid cu celule de combustie, puterile celulelor de combustie și sursa de putere maximă sunt însumate electric în circuitul intermediar de curent continuu

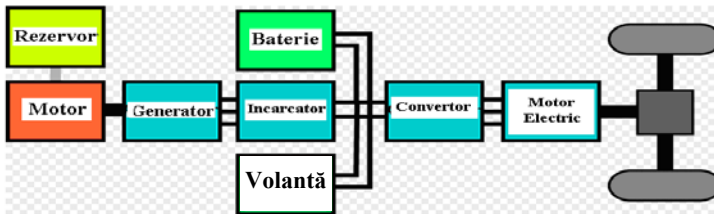


Fig. 1 Lanțul de acționare hibridă cu celule de combustie

Acționarea motorului de tracțiune este responsabilă cu îndeplinirea tuturor cerințelor lanțului de acționare: eficiența încărcării de bază și eficiența încărcării maxime.

2.2. Lanțul de acționare paralel, hibrid, cu celule de combustie

Un lanț de acționare paralel trimite puterea spre motor și spre sursa de putere în mod mecanic. Această arhitectură are avantajul că furnizează o legătură directă între motor și roți. Este mult mai eficientă decât procesarea puterii prin intermediul a două sau trei convertoare înainte de a ajunge la roți, ca în cazul lanțurilor de acționare hibride serie. În cazul unei celule de combustie, această legătură se poate face prin folosirea a două motoare electrice: unul pentru celulele de combustie, pentru a converti energia electrică a celulelor de combustie în mișcare mecanică și unul pentru sursa de putere.

Optimizarea proiectării poate fi împinsă chiar și mai departe de arhitectura unui singur motor. Sunt posibile două arhitecturi. Cele două lanțuri de acționare pot fi integrate într-unul singur și puterile lor reunite prin intermediul unei combinații de dispozitive, de obicei un set de roți (figura 1). Cele două lanțuri de acționare își pot alimenta propriile osii, pentru ca apoi puterile generate de ele să fie combinate din mers (figura 2).

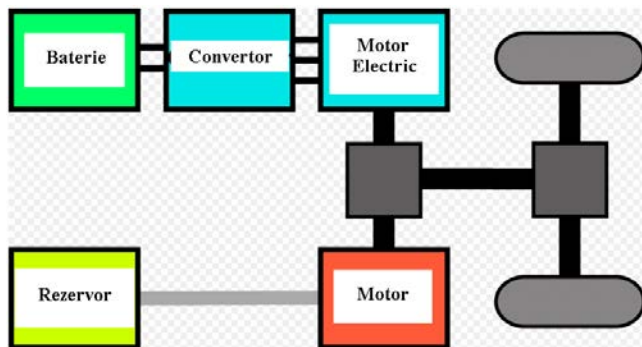


Fig. 2 Lanț de acționare cu excitație separată pentru un vehicul hibrid

Hibridul paralel cu celule de combustie este mai complex decât hibridul serie. Chiar și așa, complexitatea electrică este echivalentă. Lanțul de acționare integrat ar trebui să fie mai compact și mai ușor decât lanțul de acționare cu osii separate, deoarece folosește numai o diferență în loc de două.

2.3. Lanțul de acționare hibridă serie-paralel cu celule de combustie

Acest lanț de acționare este un hibrid între lanțurile de acționare hibridă serie și paralel. Puterea de la celulele de combustie și sursa de putere electrică pot fi însumate electric sau mecanic. O asemenea arhitectură permite reîncărcarea sursei de putere electrică cu ajutorul celulelor de combustie când vehiculul nu accelerează. Există de asemenea și o legătură directă între sursa de energie electrică și celulele de combustie, când ultimele trebuie să compenseze pierderile generate de vârful de încărcare. Se menține decuplarea între cele două motoare de tracțiune.

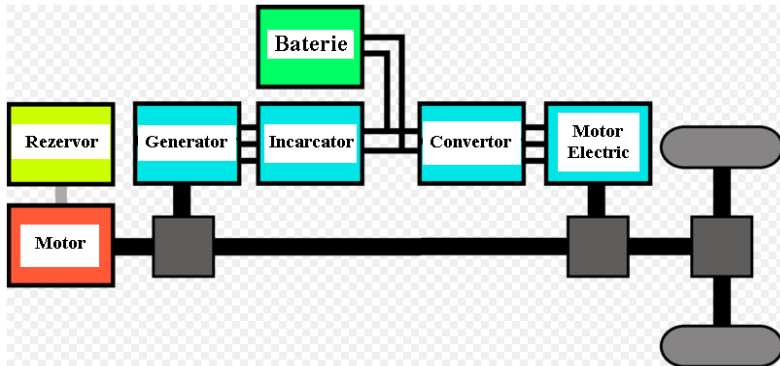


Fig. 3 Lanțul de acționare hibridă serie-paralel cu celule de combustie

3. Tipuri de comandă vectorială bazată pe mașina asincronă

În literatura de specialitate este cunoscut faptul că motorul asincron, deși superior motorului de curent continuu din punct de vedere al costului sau robusteții, nu l-a putut concura multă vreme în aplicații de mare performanță, în care se cere o variație a turației în limite foarte largi, iar parametrii impuși regimului dinamic sunt foarte duri.

Soluția cea mai frecvent folosită pentru a depăși acest inconvenient este sistemul de reglare cu orientare după câmp, numit și reglare vectorială.

Putem controla viteza motorului asincron, dacă putem controla, după dorință, și în mod independent, cele două componente ale curentului statoric.

În acest fel se obține o decuplare a producerii fluxului și respectiv cuplului, similară motorului de curent continuu [6].

3.1. RFOC Directă (DRFOC)

DRFOC înseamnă determinarea vectorului spațial al fluxului rotoric în termenii componentelor staționare ale axelor (a , b): măsurarea fluxului întrefierului (de magnetizare); calculul fluxului rotoric; estimarea componentelor axelor (a , b) ale fluxului rotoric folosind măsurarea mărimilor electrice (curenți de fază, tensiuni) și mecanice (viteza).

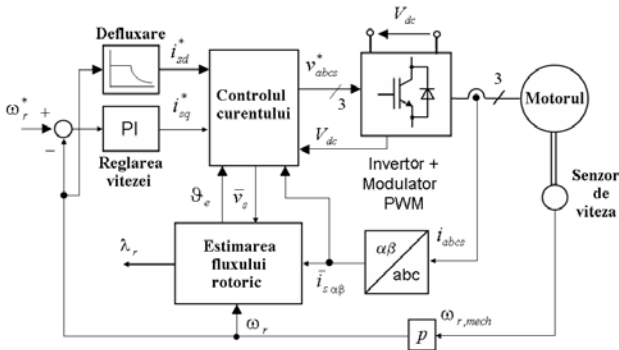


Fig. 4 Schema de bază în cazul unei implementări DRFOC

Curentul de cuplu al axei q este generat de către un inel de reglare a vitezei (cuplului). Curentul de flux în axa d este generat de către un bloc de defluxare sau de un inel de reglare a fluxului [4]. Controlul curentului poate fi implementat ușor în axele (d, q) folosind regulatoare PI în mod asemănător controlului în curent al motoarelor fără perii sinusoidale.

Vectorul spațial al fluxului rotoric este estimat de către un estimator/observer de flux ce utilizează mărimile electrice (curenți de fază, tensiuni) și mecanice (viteza).

Estimatorul de flux va estima componentele vectorului fluxului în axele staționare (a, b).

$$\lambda_r = |\bar{\lambda}_r| = \sqrt{\lambda_{r\alpha}^2 + \lambda_{r\beta}^2}$$

$$\cos(\mathcal{G}_e) = \frac{\lambda_{r\alpha}}{\lambda_r} \quad (1)$$

$$\sin(\mathcal{G}_e) = \frac{\lambda_{r\beta}}{\lambda_r}$$

3.2. RFOC Indirectă (IRFOC)

IRFOC reprezintă determinarea poziției vectorului spațial al fluxului rotoric fără a folosi componentele acelor staționare (a, b). Poziția vectorului spațial al fluxului rotoric se calculează prin intermediul vitezei de alunecare. Se cere o măsurare precisă a poziției unghiulare a rotorului.

Calculul vitezei de alunecare:

$$\begin{cases} \omega_{slip} \approx \frac{L_m \cdot i_{sq}^*}{\tau_r \cdot \lambda_r} \\ \lambda_r = L_m \cdot i_{sd} \end{cases} \quad (2)$$

Dacă avem un control bun al curentului:

$$\begin{cases} i_{sd}^* \approx i_{sd} \\ i_{sq}^* \approx i_{sq} \end{cases}, \quad \omega_s \approx \frac{i_{sq}^*}{\tau_r \cdot p} = \omega_e \approx \omega_m + \int \omega_{slip} dt \quad (3)$$

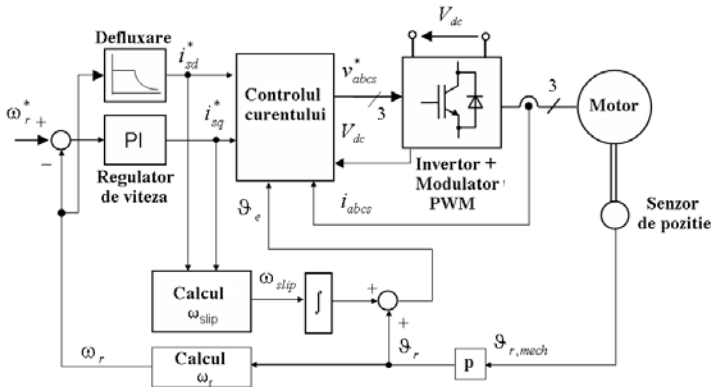


Fig. 5 Schema de bază a unei implementări IRFOC

IRFOC este mai simplă decât RFOC. Generarea referințelor de curent în axele (d, q) se face în mod analog cu RFOC. Controlul în curent este implementat numai în axele (d, q), ca și la RFOC.

IRFOC necesită un senzor de poziție foarte performant.

4. Concluzii

- Au fost prezentate câteva arhitecturi ale unor lanțuri de acționare pentru autovehiculele hibride cu celule de combustie.
- Conceptul de arhitectură paralelă a fost adaptat vehiculelor hibride cu celule de combustie cu intenția de a optimiza proiectarea și selectarea motoarelor de acționare electrică. Optimizarea este o

consecință a separării între cerințele încărcărilor de bază și a celor maxime.

■ Dacă parametrii nu sunt cei reali ai motorului, există o eroare de orientare. Astfel se pierde cuplajul între axele (d, q) și controlul poate deveni oscilant.

■ Sistemele numerice cu procesoare digitale de semnal în virgulă mobilă, dedicate acțiunilor electrice răspund cel mai bine cerințelor de mai sus.

ACKNOWLEDGEMENTS Special thanks to the academic staff from Politecnico di Torino, Italy, who made possible the research work.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ivanov, S., *Reglarea vectorială a sistemelor de acționare electrică*” Reprografia universității din Craiova, 2000.
- [2] * * * *Systematic Design of Fuel Cell Powered Hybrid Vehicle Drive Train*, 2001 Future Transportation Technology Conference, 2001.
- [3] Moore, S.W., Rahman, K.M., Eshani, M., *Effect on Vehicle Performance of Extending the Constant Power Region of Electric Drive Motors*, Society of Automotive Engineers, 1988.
- [4] Jensen P.L., Lorenz, R.D., *A Physically Insightful Approach to the Design and Accuracy Assessment of Flux Observers for Field Oriented Induction Machine Drives*, IEEE Trans. on Ind. Applicat., Vol. 30, Issue 1, 1994, pag. 101-110.
- [5] Pellegrino, G., Bojoi, R., Guglielmi, P., Cupertino, F., *Accurate Inverter Error Compensation and Related Self-Commissioning Scheme in Sensorless Induction Motor Drives*, IEEE Trans. On Ind. Applicat., Vol.46, Issue 5, 2010, pag.1970-1978.
- [6] Zhu, Z.Q., Howe, D., *Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles*, Proc. IEEE, vol.95, no.4, pag.746-765, 2007.

Drd.Ing. Marian-Ștefan NICOLAE
Prof.Dr.Ing. Gheorghe MANOLEA
e-mail: ghmanolea@gmail.com
Universitatea din Craiova