

ELABORAREA MOTOARELOR ASINCRONE HEXAFAZATE DE TRACȚIUNE PENTRU VEHICULE ELECTRICE AUTONOME URBANE DE PASAGERI

Dorel CORNOVAN^{1*}, Florin TESLARI²

¹Inginerie Electrică, Școala Doctorală „Dispozitive și echipamente electrotehnice” 222.01, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Chișinău, Republica Moldova

²Inginerie electrică, ISEM-201, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova,

*Autorul corespondent: Dorel Cornovan, electrointelsistem@gmail.com

Coordonatorul științific **Ilie NUCA**, dr., conf., FEIE, UTM

Rezumat. *Articolul explorează progresul și relevanța motoarelor asincrone hexafazate (MAH) pentru tracțiunea vehiculelor electrice urbane. Analiza cuprinde designul sistemului de tracțiune, subliniind componentele cheie și proiectarea optimă. Se accentuează rolul MAH în eficientizarea și diversificarea configurării vehiculelor urbane, alături de beneficiile acestora. Studiul detaliază inovațiile în convertoarele de putere și structurile de control, evidențiind impactul controlului scalar și vectorial asupra performanței tracțiunii. Prin teste experimentale, lucrarea validează îmbunătățirile aduse de MAH, concluzionând asupra potențialului lor de a transforma mobilitatea urbană într-una mai sustenabilă și eficientă.*

Cuvinte cheie: *Eficiență Energetică, sustenabilitate, optimizare, inovație, performanță.*

Introducere

Pe măsură ce lumea se îndreaptă spre o mobilitate sustenabilă, vehiculele electrice (VE) joacă un rol crucial în strategiile de reducere a emisiilor de carbon. Eficiența și inovarea în sistemele de tracțiune sunt esențiale pentru avansarea performanței VE. În acest context, motorul asincron hexafazat (MAH) se distinge prin eficiență energetică îmbunătățită și adaptabilitate, oferind o soluție promițătoare pentru îmbunătățirea vehiculelor electrice urbane. Avantajele MAH includ versatilitatea în aplicare și capacitatea de a satisface o gamă largă de cerințe operative, făcându-l ideal pentru integrarea în VE destinate utilizării urbane. Scopul acestui capitol este de a sublinia importanța tehnologiilor avansate de tracțiune, cum ar fi MAH, în evoluția vehiculelor electrice, punând bazele pentru o discuție detaliată despre progresul, provocările și perspectivele sistemelor de tracțiune moderne pentru VE. Această introducere conturează direcția analizei ulterioare a aplicabilității și impactului MAH în contextul mobilității electrice sustenabile.

1. Fundamentul sistemului de tracțiune electrică

Structura și componentele sistemului de tracțiune

Sistemul de tracțiune electrică pentru vehicule este compus din mai multe elemente esențiale, cu roluri distincte în funcționarea optimă a vehiculului electric. Printre acestea se numără:

- **Motorul electric:** Elementul central al sistemului, responsabil pentru transformarea energiei electrice în mișcare mecanică.
- **Invertorul:** Dispozitivul care convertește energia electrică de la bateria vehiculului într-o formă compatibilă cu motorul electric.
- **Sistemul de control:** Ansamblul de algoritmi și procesoare digitale care reglează și monitorizează performanțele motorului electric în timp real.

- **Sistemul de răcire și protecție:** Componentă crucială pentru menținerea temperaturii optime de funcționare a motorului și a altor elemente esențiale.

Aceste componente lucrează într-un mod integrat, fiecare contribuind la performanța generală a sistemului de tracțiune electrică.

Factorii cheie în proiectarea sistemelor de tracțiune electrică

Proiectarea unui sistem de tracțiune electrică eficient implică evaluarea și luarea în considerare a mai multor factori, printre care:

- **Numărul și dimensiunea motoarelor:** Determinarea câtor motoare sunt necesare și a dimensiunii optime pentru a satisface cerințele de performanță.
- **Puterea și capacitatea inverterului:** Calculul puterii nominale necesare pentru inverter pentru a asigura funcționarea corespunzătoare a motorului electric.
- **Strategiile de control și modulare:** Definirea algoritmilor de control care să optimizeze comportamentul și eficiența sistemului de tracțiune electrică în diverse condiții de funcționare.

2. Caracteristicile și importanța motorului asincron hexafazat (MAH) în vehiculele electrice urbane de pasageri

Motorul Asincron Hexafazat (MAH) reprezintă un pilon important în domeniul tracțiunii pentru vehiculele electrice destinate transportului urban de pasageri. Prin caracteristicile și funcționalitățile sale inovatoare, MAH aduce o serie de avantaje semnificative în acest context.

Una dintre cele mai remarcabile caracteristici ale MAH este capacitatea sa de a oferi o eficiență energetică ridicată și performanțe remarcabile. Această combinație esențială este vitală pentru îmbunătățirea autonomiei și fiabilității vehiculelor electrice destinate transportului urban intens.

MAH este cunoscut pentru flexibilitatea sa și capacitatea de adaptare la diverse configurații și cerințe specifice ale vehiculelor urbane de transport de pasageri. Variantele de configurare permit integrarea sa într-o gamă largă de vehicule, de la autobuze și troleibuze până la alte mijloace de transport electric urban.

Pe lângă performanțele sale impresionante, MAH se remarcă și prin durabilitatea și fiabilitatea sa pe termen lung. Această caracteristică este esențială în contextul utilizării intensive în mediul urban, unde vehiculele electrice sunt supuse unui regim de funcționare intens.

3. Dezvoltarea și cercetarea în jurul MAH în domeniul tracțiunii electrice

Cercetările și experimentele ample în domeniul tracțiunii electrice au confirmat și validat aplicabilitatea MAH în contextul vehiculelor electrice urbane de pasageri. Aceste studii au subliniat avantajele semnificative ale utilizării MAH, evidențiind potențialul său de a îmbunătăți semnificativ tehnologia de transport electric urban.

Motorul Asincron Hexafazat reprezintă un punct central în evoluția tehnologiei de tracțiune electrică pentru vehiculele destinate transportului urban de pasageri, aducând cu sine o serie de beneficii și inovații esențiale pentru progresul în domeniu.

4. Diferențele în structurile de control pentru MAH și aplicabilitatea lor în vehiculele electrice urbane

Controlul adecvat al motorului asincron hexafazat este esențial pentru optimizarea performanțelor vehiculelor electrice destinate transportului urban de pasageri. Diferențele semnificative în structurile de control pentru MAH joacă un rol esențial în adaptabilitatea și eficiența acestor sisteme în medii urbane.

Structurile de control pentru MAH sunt elaborate pentru a maximiza performanțele motorului în diverse scenarii de utilizare. Aceste structuri sunt proiectate pentru a ajusta parametrii motorului în timp real, asigurându-se că acesta funcționează la parametri optimi în diverse condiții de trafic și utilizare urbană intensivă.

Controlul motorului asincron hexafazat este adaptat pentru a răspunde cerințelor unice ale mediului urban. Variabilitatea în structurile de control permite ajustări fine pentru a se adapta la solicitările specifice ale traficului urban, inclusiv accelerații și decelerări frecvente, precum și condiții variate de încărcare și descărcare a motorului.

Dezvoltarea convertoarelor și a structurilor de control reprezintă un element esențial în evoluția și performanța sistemelor hexafazate în contextul vehiculelor electrice destinate transportului urban de pasageri Fig. 1. Aceste componente și structuri sunt adaptate pentru a maximiza eficiența, fiabilitatea și performanțele motorului asincron hexafazat, contribuind la progresul în domeniu.

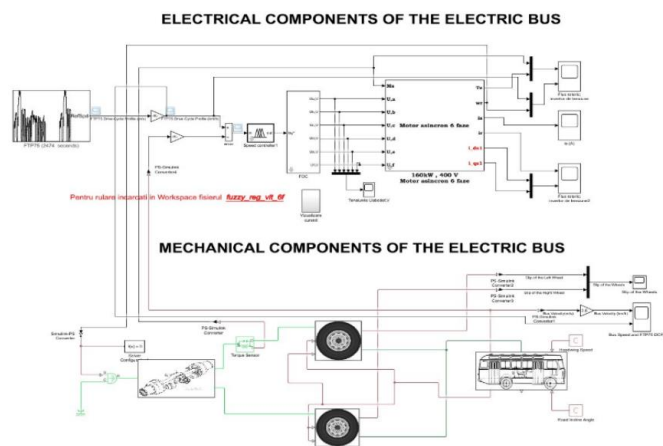


Figura 1. Modelul Simscape de tracțiune VEUP

5. Controlul scalar și optimizarea sa

Controlul scalar reprezintă o modalitate simplă, dar robustă, de a gestiona viteza și cuplul motorului. Prin variații în raportul tensiune-frecvență, acest control reglează performanțele motorului. În ciuda simplității sale, controlul scalar necesită optimizare constantă pentru a îmbunătăți precizia și reactivitatea în condiții de funcționare variate. Optimizarea acestui tip de control implică ajustări ale parametrilor de control și integrarea unor tehnici avansate pentru a compensa alunecarea inherentă și pentru a îmbunătăți răspunsul la solicitările de viteză și cuplu.

6. Controlul vectorial și avantajele sale în sistemele cu MAH

Controlul vectorial (field-oriented control - FOC) reprezintă un pas major în evoluția sistemelor de tracțiune. Acesta manipulează direct câmpurile motorului, permițând o gestionare precisă a fluxului și cuplului Fig. 2. FOC poate compensa alunecarea, permițând controlul independent al acestora, astfel încât viteza să fie gestionată fără compromisuri. Avantajele controlului vectorial sunt remarcabile, oferind performanțe superioare în ceea ce privește precizia, reactivitatea și eficiența Fig. 3.

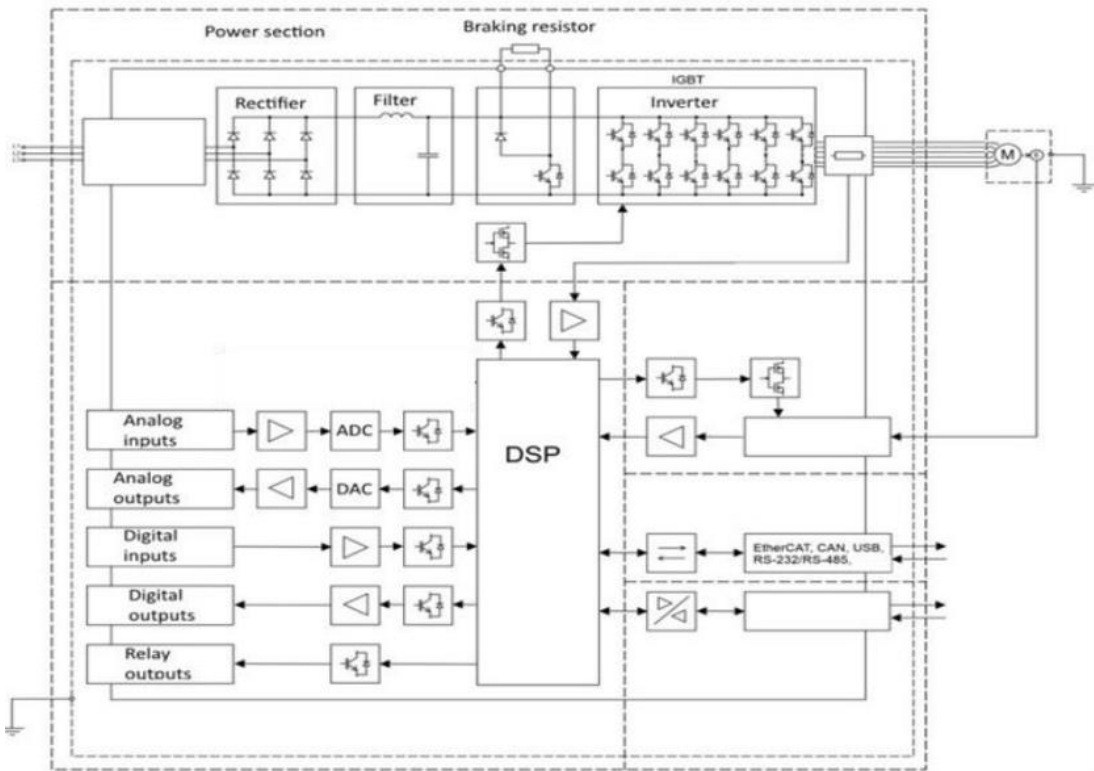


Figura 2. Schema bloc al inverterului hexafazat

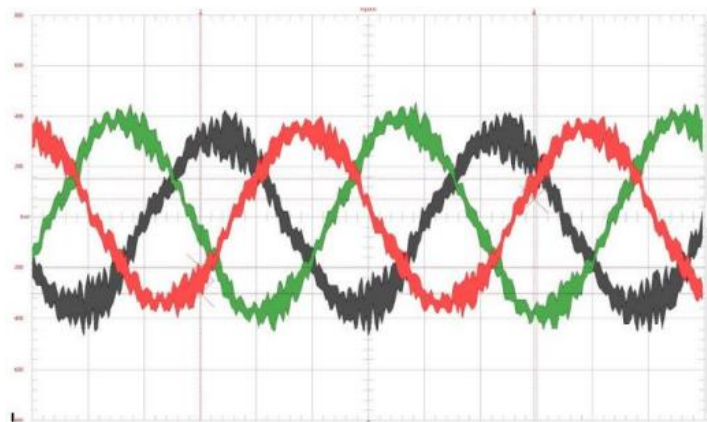


Figura 3 Forma curenților de ieșire pe 3 din 6 faze al sistemului hexafazat

7. Machetele și testele realizate pentru a valida și evalua performanțele sistemelor propuse.

- **Performanțe Energetice:** Evaluarea consumului de energie și a eficienței sistemului de tracțiune în raport cu diverse sarcini și condiții de funcționare Fig. 4.
- **Răspunsul la Sarcină:** Comportamentul sistemului de tracțiune în situații de încărcare variabilă și impactul asupra cuplului și vitezei motorului Fig. 5.
- **Rezistența la Sarcină:** Testele au evaluat durabilitatea și comportamentul sistemului în situații de funcționare la capacitate maximă, sub sarcini ridicate și cu 1-2 rupturi ale fazelor Fig.6. Curenții cresc la 1 ruptură cu 5% și cu 14% la 2 rupturi.
- **Stabilitatea Sistemului:** Testarea reacției sistemului la schimbări bruște de mediu, cum ar fi variațiile de temperatură sau de încărcare.

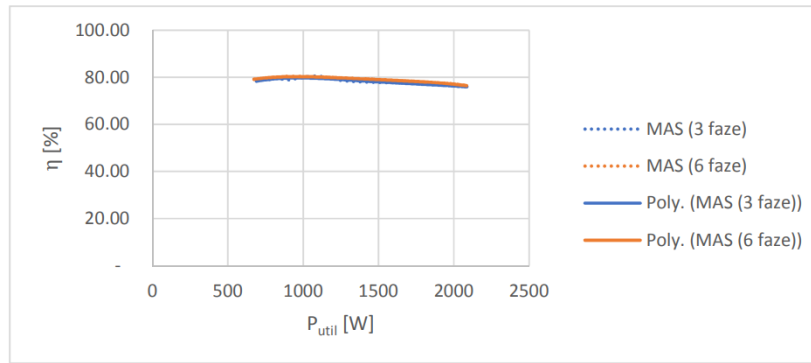


Figura 4. Caracteristica randamentului

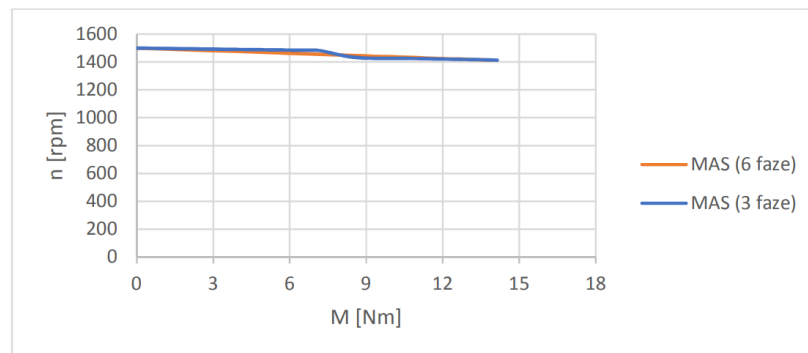


Figura 5. Caracteristica mecanică

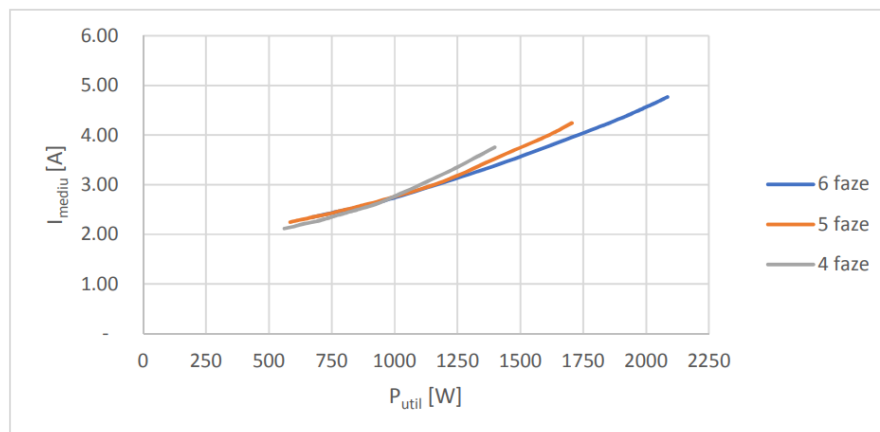


Figura 6. Caracteristica curentului la rupturi

Concluzii

În lumina evoluției semnificative a vehiculelor electrice, articolul evidențiază rolul esențial al motorului asincron hexafazat (MAH) în dezvoltarea tracțiunii electrice urbane. Demonstrându-și eficiența, adaptabilitatea și fiabilitatea în mediile urbane aglomerate, MAH devine un pilon esențial pentru mobilitatea durabilă. De la avantajele sale tehnologice la aplicabilitatea sa practică în sistemele de tracțiune, acest motor reprezintă un pas crucial către o mobilitate urbană mai ecologică și mai eficientă. Cu progresele continue în cercetare și implementare, MAH ar putea juca un rol semnificativ în transformarea pe termen lung a peisajului transportului urban, oferind soluții sustenabile și promițătoare pentru nevoile de mobilitate din orașe.

Referințe

- [1] „Design and modeling of a reversible 3 phase to 6 phase induction motor for improved survivability under faulty conditions” Anushree Anantharaman Kadaba, Milwaukee, Wisconsin, 2008.
- [2] „Proiectarea mașinilor electrice”, I. Cioc, C. Nica, Editura Didactică și Pedagogică, R.A. – București, 1994
- [3] Raport științific anual, privind implementarea Proiectului de Stat (2020-2023), „Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică, pentru vehicule electrice urbane de pasageri”, Nuca I, Nuca I, Cazac V, Todos P, Gherțescu C.
- [4] Moldovan A. Dezvoltarea Sistemului de Control al Sistemului de Tracțiune Asincronă Hexafazăată. Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor. Chișinău, 23-25 martie, 2021
- [5] Todos, P., Sobor, I., Nuca, I., & Rata, Iu. (2005). "Asynchronous submersible motors with 12 Phases." 5th International Conference on Electromechanical and Power Systems, Chisinau, R. Moldova, 787-790.
- [6] Todos P., Terteza Gh., Nuca I., Cazac V. et al. Acceptance Testing of the Six-Phase Asynchronous Machines. Proceedings of the 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN). October 6-8, 2021. Iași-Chișinău, pp.511-516. IEEE Catalog Number: CFP21L58-ART. ISBN: 978-1-6654-0078-7
- [7] Rimbu, I., Nuca, I., Nuca, I. Modelarea sistemului de tracțiune al troleibuzului cu motor asincron și control vectorial.