

MODELAREA SISTEMULUI DE TRACȚIUNE AL TROLEIBUZULUI CU MOTOR ASINCRON ȘI CONTROL VECTORIAL

Iurie RÎMBU, Ilie NUCA, Iurie NUCA*

Universitatea Tehnică a Moldovei, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Rezumat: *Lucrarea abordează problema elaborării modelului matematic și simularea pe calculator a sistemului de control vectorial al motorului asincron de 180 kW pentru tracțiunea troleibuzelor. Importanța elaborării modelului matematic este cauzată și de faptul, că sistemul de control vectorial impune integrarea modelului matematic al motorului asincron în algoritmul de comandă. Simulările pe calculator al motorului asincron cu control vectorial au demonstrat corectitudinea modelului elaborat și proprietățile intrinseci ale acestei metode de reglare a vitezei.*

Cuvinte cheie: *tracțiune electrică, troleibuz, motor asincron, sistem de comandă, control vectorial, model matematic, simulare, MatLab, Simulink.*

1. Introducere

La etapa actuală dezvoltarea sistemelor de propulsie a vehiculelor electrice este marcată de elaborarea și implementarea echipamentelor electronice de control și a motoarelor de tracțiune fără contact mecanic [1]. Această direcție este cauzată de necesitatea majorării fiabilității și a eficienței energetice a sistemelor de tracțiune, micșorarea cheltuielilor de exploatare, sporirea confortului etc. Din mulțimea variantelor posibile, astăzi pentru vehiculele urbane de pasageri cu preferință se implementează sistemele de tracțiune cu motoare asincrone. În acest caz, între rețea de curent continuu și motorul asincron se impune utilizarea unui invertor cu diferiți algoritmi de comandă. Realizarea sistemelor de control performante ale motoarelor asincrone de tracțiune se bazează pe algoritmi de comandă de ultima oră cum este **metoda reglării cu orientare după câmp** (Field Orientated Control-FOC) sau, cum mai este numită, **metoda controlului vectorial** (Vector Control).

Controlul vectorial se bazează pe analogia dintre modelul matematic al motorului asincron trifazat și motorul de curent continuu cu înfășurare de compensare. Pentru ultimul curentul rotoric de sarcină (curent cu caracter activ) este întotdeauna perpendicular fluxului de excitație și implicit se asigură cuplul electromagnetic maximal. Evident elaborarea sistemului de control vectorial impune necesitatea elaborării unui model matematic corespunzător al motorului asincron pentru integrarea lui în algoritmul de comandă al microprocesorului.

Se certifică elaborarea și implementarea echipamentelor electronice de tracțiune cu motoare asincrone ale vehiculelor urbane în țările din vecinătatea apropiată cum sunt Cehia [2], România [3], Rusia [4]. Diferența echipamentelor constă în arhitectură și componență, elemente electronice de putere și de comandă, algoritmi de control, tehnologii utilizate, funcții realizate, dimensiuni, masă și preț.

În conformitate cu solicitările pieței vehiculelor urbane de pasageri a fost conceput un echipament electronic tip InBus-103 [1] cu control vectorial pentru alimentarea și reglarea motoarelor asincrone de tracțiune ale troleibuzelor și tramvaielor. În consecință, a apărut necesitatea elaborării modelului matematic al motorului asincron și al sistemului de tracțiune al troleibuzului cu control vectorial. Decizia finală asupra structurii și parametrilor sistemului de control vectorial al tracțiunii poate fi luată doar după o serie vastă de simulări pe calculator și încercări în laborator.

2. Algoritmul și modelul motorului asincron cu control vectorial

Principiul controlului vectorial este bazat pe utilizarea unui sistem de referință atașat de vectorul fluxului de control care determină cuplul electromagnetic al mașinii asincrone. În final controlul vectorial se reduce la alimentarea înfășurării statorice cu un sistem de tensiuni statorice calculate (u_{sx} și u_{sy}) care vor asigura perpendicularitatea permanentă a fluxului de control și curentului statoric activ al modelului bifazat al mașinii asincrone. Alegerea fluxului rotoric ca flux de control este benefică atât pentru implementare cât și pentru asigurarea indicilor de reglare mai avansați. Fazorul fluxului rotoric $\underline{\Psi}_r = \Psi_{rx} = |\Psi_r|$ este solidar

cu axa x a sistemul de referință comun x - y , învârtitor cu viteza unghiulară $\omega_\rho = \frac{d\rho}{dt}$, unde ρ este unghiul dintre axele α și x (fig.8).

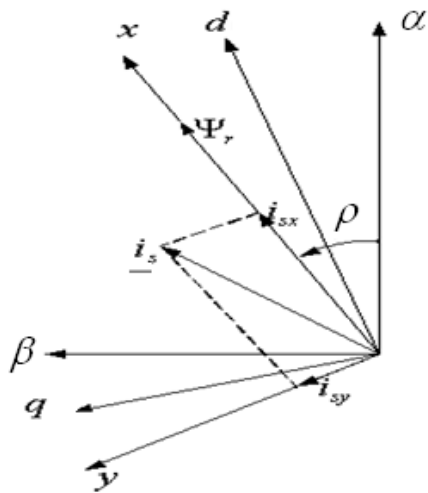


Fig.1 Vectorii de control în sistemul de referință x - y

Cu considerarea componentei $\Psi_{ry} = 0$ a fluxului de control și expresia cuplului electromagnetic

$$m_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} \Psi_{rx} i_{sy} \quad 1)$$

se obțin ecuațiile de tensiune statorice de comandă ale modelului bifazat al motorului asincron [5]

$$\left. \begin{aligned} u_{sx} &= R_s i_{sx} (1 + s \cdot T_s') - \omega_\rho \sigma L_s i_{sy} \\ u_{sy} &= R_s i_{sy} (1 + s \cdot T_s') + \omega_\rho \sigma L_s i_{sx} + \omega_\rho \frac{L_m}{L_r} \Psi_r \end{aligned} \right\} \quad 2)$$

necesare pentru realizarea algoritmului de control vectorial al motorului de tracțiune.

În conformitate cu algoritmul descris și relațiile matematice anterioare a fost elaborat modelul MatLab-Simulink al motorului asincron cu control vectorial (fig3). Modelul este alcătuit din trei subsisteme (blocuri). Blocul **MA3f** reprezintă motorul asincron trifazat de tracțiune (obiectul de reglare). Blocul **Observer** servește pentru estimarea poziției ρ și modulului Ψ_r fluxului rotoric, a cuplului electromagnetic m_e și vitezei rotorice ω_r (în caz de necesitate). Controlerul **VectorControl** calculează tensiunile statorice de comandă pentru realizarea principiului de orientare a motorului după fluxul rotoric Ψ_r . La elaborarea sistemului de control al motorului asincron este necesar de ținut cont de tipul sarcinii de antrenare, în cazul de față, de caracteristica mecanică de tracțiune a troleibuzului.

3. Simularea sistemului cu motor asincron controlat vectorial

Simulările au fost realizate pentru motorul asincron de tracțiune TAD-3 [5] controlat vectorial cu datele nominale și parametrii prezentate în tab.1.

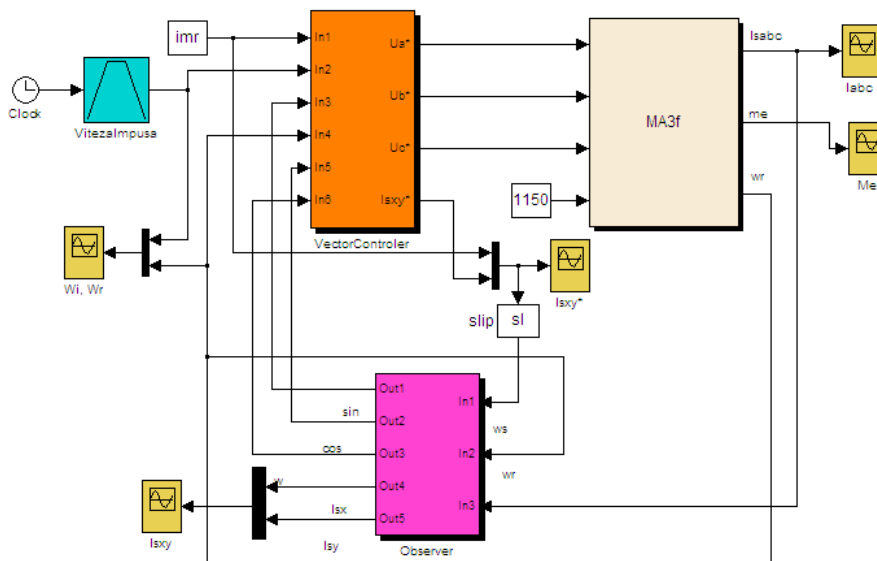


Fig.3. Modelul Simulink al motorului asincron cu control vectorial

Date nominale			Parametrii schemei echivalente		
Parametru	u.m.	Valoare	Parametru	u.m.	Valoare
Puterea nominală	kW	180	Rezistența statorică	Ω	0,0095
Tensiunea nominală	V	370	Rezistența rotorică	Ω	0,021
Viteza nominală	rpm	1485	Inductivitatea mutuală	H	0,0095
Curentul nominal	A	276	Inductivitatea statorică	H	0,0097
Momentul de inerție	kg*m2	3,2	Inductivitatea rotorică	H	0,0097

Tab.1 Datele nominale și parametrii motorului asincron de tracțiune TAD-3

În fig.4 sunt aduse curbele: a) vitezelor prescrisă și obținută (ω_p, ω_c), b) curenții statorici trifazați i_{abc} , c) curenții calculați bifazați statorici reactiv și activ (i_{sx}^*, i_{sy}^*) și d) cuplului electromagnetic m_e la pornirea în rampă al sistemului cu control vectorial. Din fig.4,a se observă, că sistemul perfect răspunde la semnalul de prescriere a mișcării. La reglarea până la viteza sincronă cu flux constant curentul statoric reactiv i_{sx}^* de asemenea este constant (fig.4,c). În acest caz, conform expresiei (1), cuplul electromagnetic este proporțional cu curentul activ statoric și, ca urmare, curba cuplului electromagnetic m_e din (fig.4,d) o repetă practic pe cea a curentului statoric activ i_{sy}^* (fig.4,c).

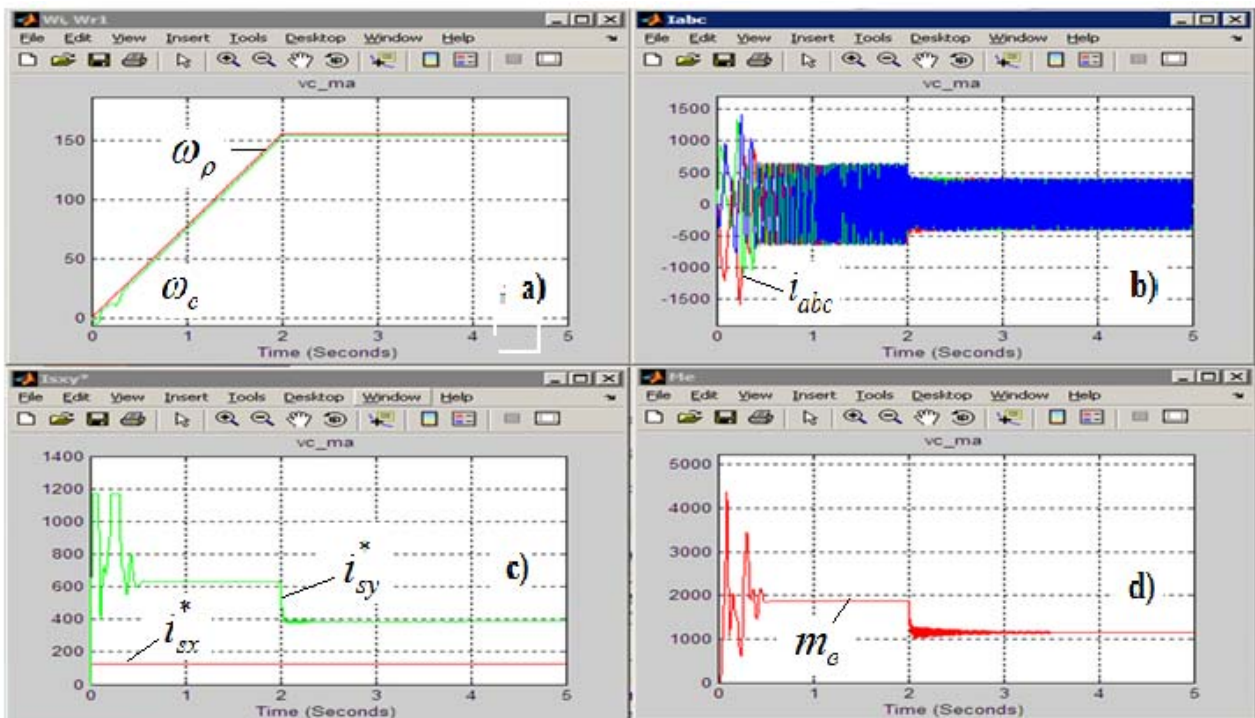


Fig.4. Pornirea în rampă a MA cu control vectorial

Fig.5 prezintă curbele curenților statorici reactiv i_{sx}^* și activ i_{sy}^* necesari pentru controlul vectorial, iar fig.6 - curba cuplului electromagnetic m_e pentru două valori ale momentului de inerție față de momentul de inerție al motorului J_m pentru un ciclu complet de funcționare cu reversul mișcării. La majorarea momentului de inerție al sistemului de 10 ori față de cel al motorului în amplitudine

curentul activ statoric și cuplul electromagnetic practic nu se modifică, pe când durata se majorează practic de două ori.

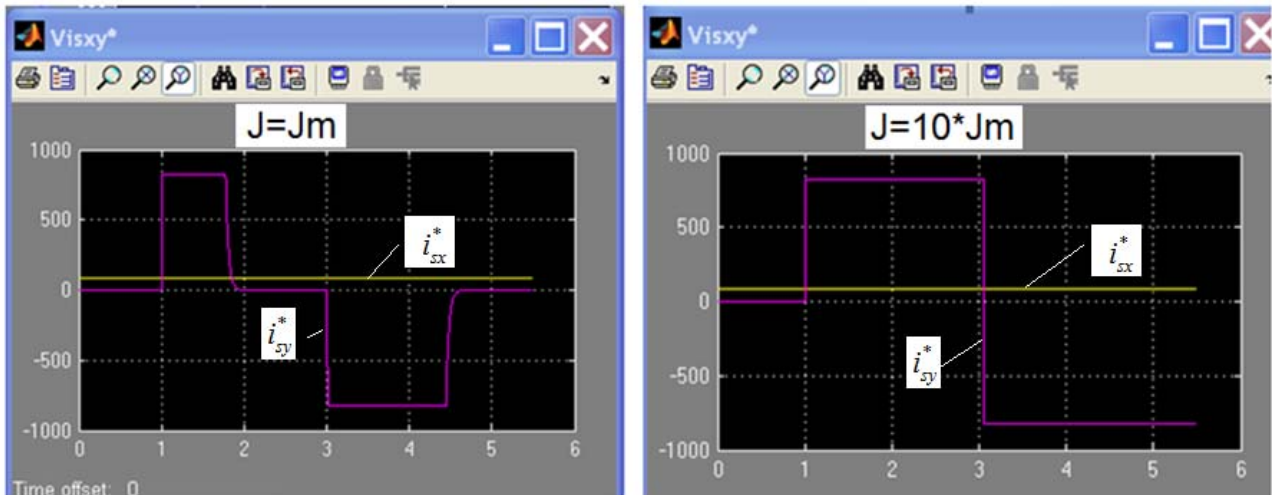


Fig.5. Curenții statorici bifazați de control: i_{sx}^* – reactiv, i_{sy}^* – activ

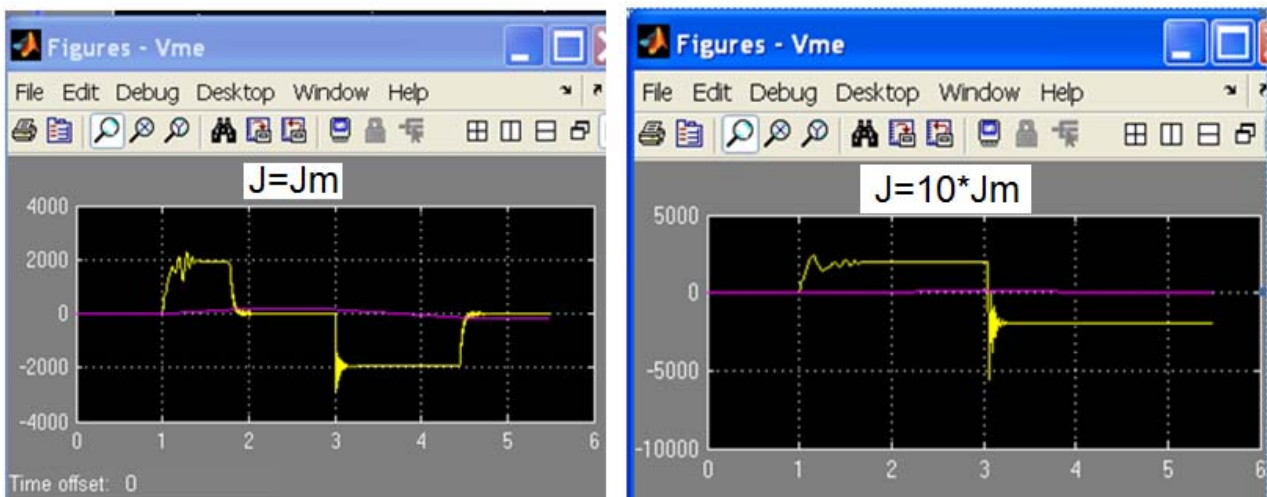


Fig.6. Cuplul electromagnetic al MA

4. Concluzii

Rezultatele simulării pe calculator au demonstrat veridicitatea modelului matematic al MA cu control vectorial. Modelul matematic al MA a fost implementat în algoritmul de control vectorial al echipamentului de tracțiune al troleibuzului InBus-103.

Bibliografie

1. I.Rîmbu, V.Mihalachi, A.Râncău, A.Motroi, V. Eșanu, I.Nuca, S.Ivanov, J.Brudny, R.Pusca. *Vector Control Systems Development for Traction Asynchronous Motors*. Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Tome LVI (LX), Fasc. 4, 2010, pp.93-102. www.ee.tuiasi.ro/.../fasc.4/2010_f4contents.pdf
2. <http://cegelec.cz/10-electrical-equipment-for-municipal-mass-transit.html>
3. *Echipamente pentru tracțiune urbană*. <http://www.saerp.ro/RO/produse.htm#EVCF>
4. *Traction frequency converter (TFC) for trolley*. <http://www.vektor.ru/products/gt/thp.php>
5. *The asynchronous traction motors type TAD-3*. http://www.pemz.ru/prod_acmotor_tad3.html (ru)