

EFICIENȚA ENERGETICĂ A TRACȚIUNII TROLEIBUZULUI CU CONVERTOR SDMC-103 ȘI MCC CU EXCITAȚIE MIXTĂ

Ilie NUCA, Vitalie EȘANU, Iurie NUCA

Rezumat: În lucrare este abordată problema eficienței energetice și de modelare matematică ale tracțiunii troleibuzului cu motor de curent continuu excitație mixtă și diferite metode de reglare a vitezei. În baza ecuațiilor matematice ale circuitelor electrice și celei de mișcare a fost elaborat modelul matematic al motorului de curent continuu cu excitație mixtă, realizat în mediul Simulink în forma unor module. Pentru analiza eficienței energetice a sistemului de tracțiune al troleibuzului a fost elaborat un model comun pentru reglare reostatică și reglarea cu convertor CC-CC. În baza analizei rezultatelor de calcul a energiilor consumate și utile s-a constatat sporirea eficienței cu cca 35-50% a sistemului de control electronic față de cel clasic cu reostate.

Cuvinte-cheie: troleibuz, tracțiune electrică, motor de curent continuu cu excitație mixtă, reglare reostatică, convertor CC-CC, model matematic, eficiență energetică.

1. Introducere

La începutul anilor 2000 odată cu agravarea problemelor economico-energetice, Regia de Transport Electric Chișinău (RTE Chișinău) a lansat o serie de măsuri pentru reducerea consumului de energie electrică a troleibuzelor, inclusiv prin modernizarea sistemelor de reglare a vitezei bazate pe convertoare electronice de putere în locul celor reostatice. În acest mod în anul 2007 în cadrul RTE a fost asamblat "primul troleibuz moldovenesc" (fig.1) cu motor de curent continuu, iar în perioada 2005-2007 au fost procurate 67 troleibuze noi dotate cu echipamente electronice de tracțiune SDMC-103 elaborate și produse de Întreprinderea Tehnico-Stiintifică "Informbusiness" [1,2] din Chișinău. Pentru sistemele de tracțiune de curent alternativ firma "Informbusiness" a elaborat un nou modul electronic InBus-103 [3] cu care a echipat propriul troleibuz asamblat în anul 2009 și prezentat la expoziția "Fabricat în Moldova-2010" (fig.2).



Fig.1. Troleibuz RTE Chișinău



Fig.2. Troleibuz InformBusiness

În lucrare se urmărește scopul elaborării modelului matematic comun pentru comparare și analiza eficienței energetice ale sistemelor de tracțiune ale troleibuzelor cu control reostatic (gi.3) și cu control electronic realizat în baza echipamentului SDMC-103.

Echipamentul electronic de tracțiune SDMC-103 [] conține un convertor static CC-CC (chopper), realizat în baza modelelor intelectuale de putere cu tranzistoare IGBT și sistem de control microprocesoral.

2. Modelul Simulink al sistemului

Pentru motorul de curent continuu cu excitație mixtă (MCC), cu schema electrică din fig.5, principală este dependența fluxului atât de curentul înfășurării rotorice, cât și al înfășurării de excitație derivație. În

regimuri tranzitorii funcționarea MCCcu excitație mixtă [4] este descrisă de ecuațiile de tensiune ale circuitului de excitație derivație (1) și circuitului rotoric (2) cât și de ecuația de mișcare (3):

$$U_d = i_d R_d + W_d \frac{d\Phi}{dt}; \quad (1)$$

$$U_{var} = i_r R + L_i \frac{di_r}{dt} + k\Phi\omega + W_s \frac{d\Phi}{dt}; \quad (2)$$

$$\frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt} = k\Phi i_r - M(v); \quad (3)$$

unde U_d , U_{var} – tensiunea rețelei de contact și la ieșirea VTC (chopper); i_d , i_r – curentul circuitului în derivație și a circuitului rotoric; W_d , W_s – numărul de spire a înfășurărilor în derivație și serie; L_i – inductivitatea înfășurării indusului, inclusiv și a polilor auxiliari; Φ – fluxul magnetic util; ω – viteza unghiulară a rotorului; $M = k\Phi i_r$ – cuplul electromecanic al MCC; $M(v)$ – cuplul forțelor de rezistență ca funcție de viteza troleibuzului raportat la arborele motorului; p – numărul de perechi de poli; k – constanta constructivă a motorului.



Fig.3. Sistemul reostatic de reglare al troleibuzului



Fig.4. Echipamentul electronic SDMC-103

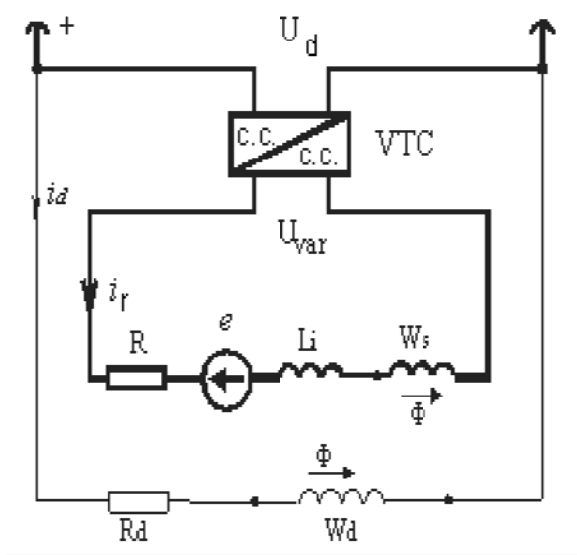


Fig.5. Schema electrică MCC cu EM

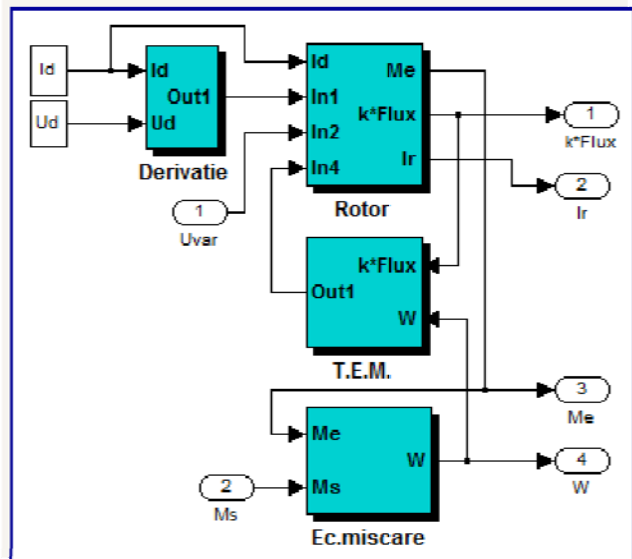


Fig.6. Modelul Simulink modular MCC cu EM

În baza relațiilor (1-3) a fost elaborat modelul Simulink al MCC cu excitație mixtă (fig.6) format din câteva subsisteme: **Derivatie** al circuitului de excitație derivație, **Rotor** al celui rotoric, **T.E.M.** – al tensiunii electromotoare, **Ec.Miscare** – al ecuației de mișcare. Pentru studierea indicilor energetici acest model este completat cu module energetice pentru calcularea puterii consumate **PutereConsumata**, puterii utile

PutereUtila, a indiciilor energetici **Energetica** (fig.7). Pentru a facilita analiza eficienței energetice a metodelor de reglare al sistemului de tracțiune al troleibuzului a fost elaborat un model Simulink comun (fig.8) care conține subsistemul **MM MCC cu $R_r=var$** cu reglare reostatică și subsistemul de reglare electronică **Chopper-MCC cu EM**.

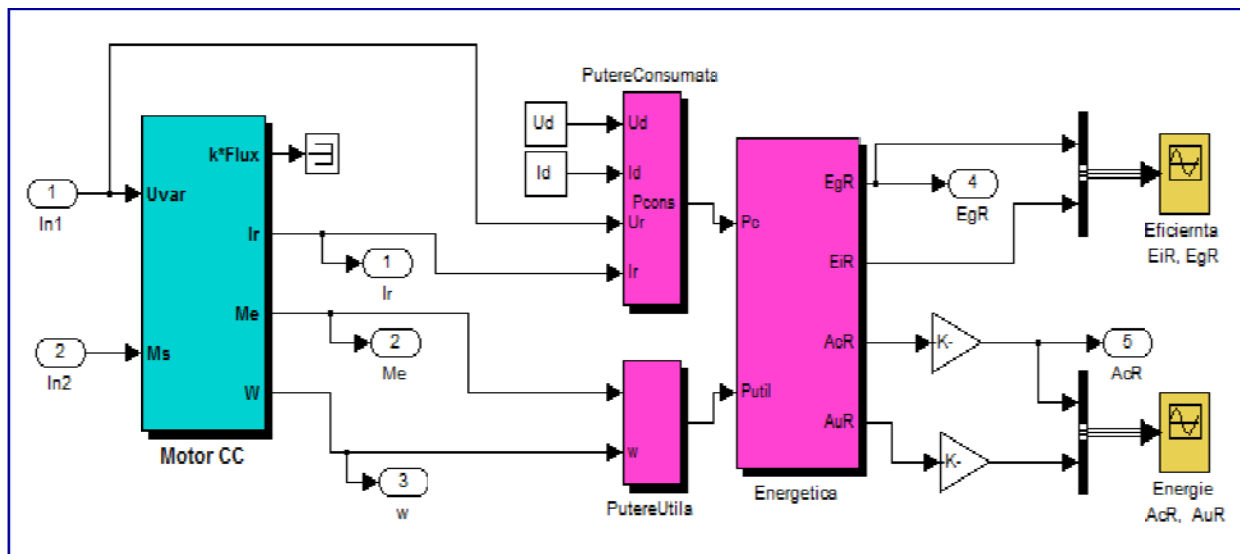


Fig.7. Modelul Simulink modular MCC cu EM

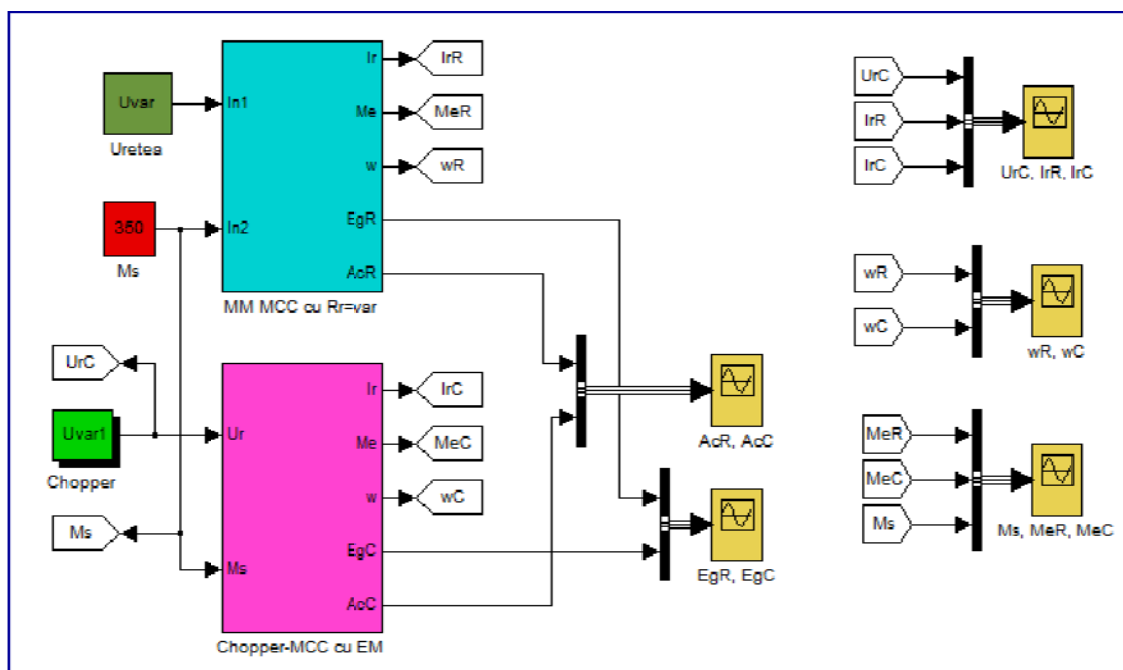


Fig.8. Modelul Simulink comun al MCC cu control reostatic și electronic

3. Simularea pe calculator

În continuare se prezintă rezultatele simulării pe calculator al sistemului de tracțiune al troleibuzului cu motor de curent continuu cu excitație mixta de tip DK-210A cu puterea nominală 110 kW, tensiunea 550V, $2p=4$ [4] cu control reostatic și control electronic. În cazul reglării reostatice circuitul rotoric este alimentat cu tensiune de cc invariabilă, iar la reglare electronică chopperul asigură varierea tensiunii conform legii de reglare impuse (fig.9).

Fig.9 ilustrează curbele curentului rotoric la pornirea MCC cu control reostatic și cu control electronic și curba de reglare electronică a tensiunii. Fig.10 reprezintă curbele vitezei la pornirea motorului

pentru ambele cazuri. Dacă la pornirea reostatică curentul variază prin salturi, atunci în al doilea caz – curentul variază lin exponențial.

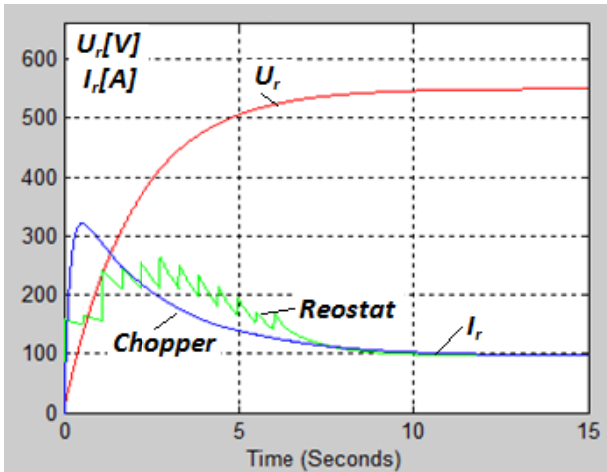


Fig.9. Curbele tensiuni și curentul rotoric la pornire

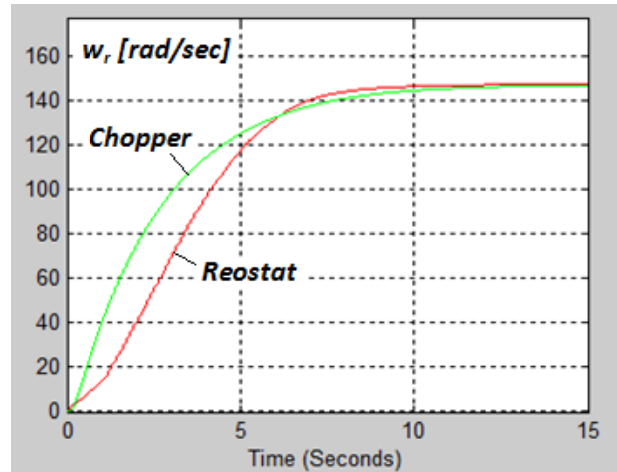


Fig.10. Curba vitezei rotorice

Conform fig.11 se observă ca la controlul electronic b) cu varierea lină a tensiunii rotorice considerabil se reduce aria dintre curbele energiilor consumate și utilă față de cea analogică la a) controlul reostatic.

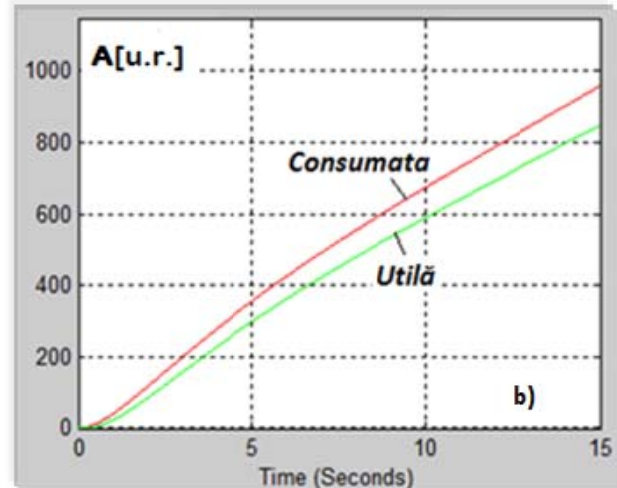
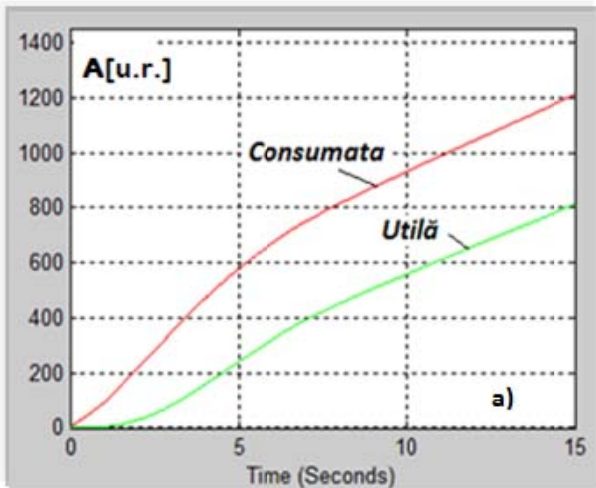


Fig.11. Energia consumată și utilă la a) control reostatic și la b) control electronic

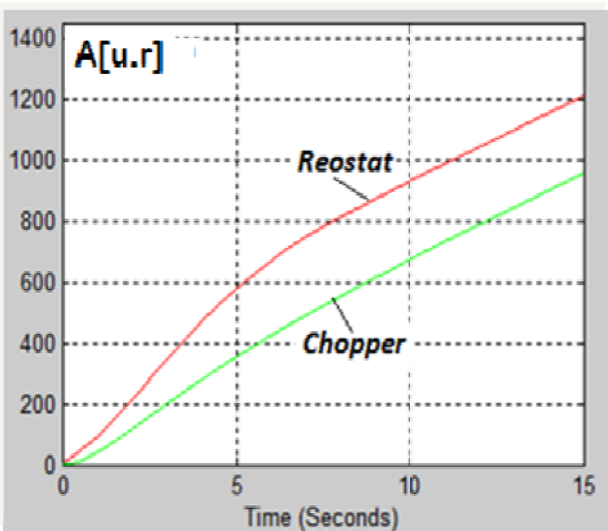


Fig.12. Energile consumate la reglare reostatică și cu chopper

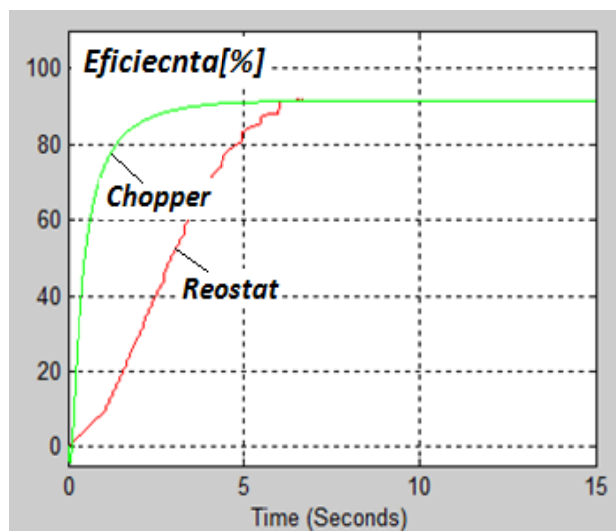


Fig.13. Eficiența energetică a sistemelor cu control electronic și reostatic

În fig.12 sunt prezentate curbele energiilor consumate pentru ambele metode de reglare. Din raportul ariilor limitate de aceste curbe pentru același interval de timp se poate constata că varierea tensiunii permite reducerea pierderii de energie cu cca 35-50% față de metoda reostatică. Conform fig.13 sistemul de control electronic asigură un randament înalt practic după 2-3 sec de la pornire.

Măsurările experimentale ale consumului energie a troleibuzelor cu control reostatic și cu control electronic cu echipamentul SDMC-103 (fig.14) au fost realizate în condiții reale în or. Orenburg, Rusia și au demonstrat aceeași eficiență energetică.

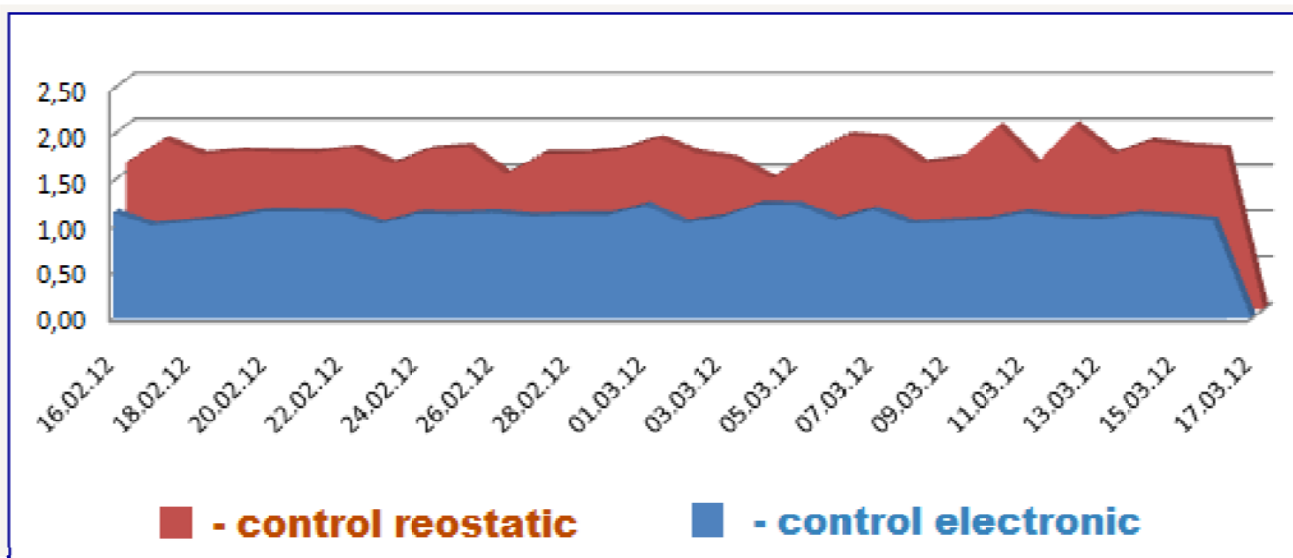


Fig.14. Curbele consumului de energie electrică a troleibuzelor cu control reostatic și cu control electronic

4. Concluzii

Pentru studiul comparativ a eficienței energetice a sistemelor de tracțiune cu motoare de curent continuu și diferite metode de reglare impune elaborarea unor modele comune de simulare.

Modelarea matematică și măsurările experimentale demonstrează că eficiența energetică a sistemelor de tracțiune ale troleibuzelor cu control electronic este mai mare cu 30-50% față de cele cu reglare reostatică

Bibliografie

1. [***http://www.trans-electro.ru/eng/index_eng.html](http://www.trans-electro.ru/eng/index_eng.html)
2. I. Rîmbu, V. Eșanu, I.Nuca. *Probleme actuale ale unităților de transport electric urban din Republica Moldova*. București: Buletinul AGIR nr4/2009, pp.136-139.
3. Iu. Rîmbu, V. Eșanu, V. Mihalachi, A. Rîncău, Il. Nuca, S. Ivanov. *Implementation of the vector control system for traction asynchronous motors*. Annals of the University of Craiova. Electrical Engineering series. No.35, 2011, pp. 172-175. <http://elth.ucv.ro/fisiere/anale/2011/27.pdf>
4. I.Nuca, I. Sobor, I. Rîmbu, V. Eșanu. *Mathematical model of trolleybus traction with Compound DC Motor*. International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters-ELS2007. Suceava, 2007, pp. 200-206.