

ACORDAREA BUCLEI DE VITEZĂ AL SISTEMULUI DE TRACȚIUNE CU MOTOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE MIXTĂ

ION IZMANA, ILIE NUCA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În spațiul CSI motoarele de curent continuu până în prezent rămân cele mai utilizate motoare de tracțiune ale vehiculelor electrice urbane de pasageri. Implementarea realizărilor de ultimă oră ale electronicii de putere și microelectronicii în controlul MCC permite soluționarea mai multor probleme ale transportului electric urban, cum ar fi reducerea consumului de energie și a solicitărilor mecanice etc. Acesta lucrare abordează unele probleme de control ale MCC, particular, prin controlul separat al înfășurării de excitație serie și acordarea buclei de viteză. Simularea modelului motorului de cc cu metode de control ai curenului și feedback-ul de control ai sistemului au fost elaborate utilizând mediul de programare MATLAB/Simulink.

Cuvinte cheie: tracțiune electrică, MCC, reglare automata, PID controler, model matematic, MATLAB/Simulink.

1. Introducere

Motoarele de curent continuu sunt mașini electrice cu principiul de funcționare și posibilitatea reglării turațiilor relativ simplă, principalul fapt ce a cauzat utilizarea acestora în sistemele de tracțiune ale vehiculelor electrice de pasageri (tramvai, troleibuz, metrou, locomotiva diesel-electric). Însă utilizarea metodei reostatice de reglare a vitezei se soldează cu pierderi mari de energie, cheltuieli considerabile de mentenanță, confort redus de călătorie. O metoda de soluționarea a acestor probleme este înlocuirea sistemului de reglare reostatic cu sisteme moderne de control.

Scopul lucrării constă în acordarea PID reguletoarelor sistemului de comandă al MCC cu excitație mixtă și controlul separat cu choppere al fiecărei înfășurării. Determinarea parametrilor reguletoarelor se realizează prin modelarea matematică a MCC cu particularitățile specifice de control în mediul de simularea MatLab-Simulink.

2. Modelul matematic al MCC cu excitație mixtă și control separat al înfășurărilor

Tradițional pentru tracțiunea unităților de transport urban cele mai utilizate sunt MCC cu excitație serie sau mixtă cu înfășurarea principala inseriata [1]. Înserierea înfășurării determină egalitatea curentului de excitație serie și a celui rotoric. Aceasta egalitate duce la reducerea flexibilitatii sistemului, îndeosebi in cazul frinării recuperative. Pentru a obtine o flexibilitate dorita al sistemului de reglare automată al troleibuzului conform [2] se propune alimentarea separată cu tensiuni varibile a circuitului indusului și a inductorului (fig.1). În acest caz valoarea fluxului de excitație depinde simultan de curentii i_p, i_e care sînt determinati de tensiuni diferite (2,3). Curentul rotoric este determinat de tensiune de alimentare $U_r = \text{var}$. În urma incercarilor motorului au fost obtinute caracteristicile din formula 5.

$$U_r = i_r R_r + L_r \frac{di_r}{dt} + K \omega \Phi \quad (1)$$

$$U_p = R_p i_p + 2p \sigma W_p \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

$$U_e = R_e i_e + L_e \frac{di_e}{dt} + 2p \sigma W_e \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt} = K \Phi i_r - m_s \quad (4)$$

$$K \Phi = f(i_p, i_e) \quad (5)$$

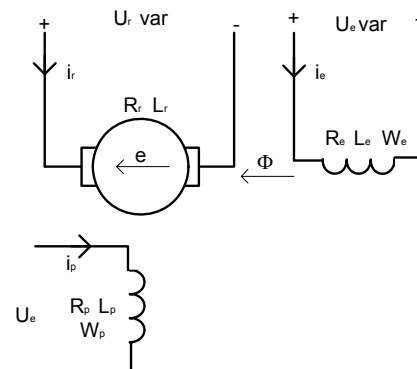


Fig.1 Schema electrică a MCC cu excitație mixtă și control separat

unde w_e, w_p – numărul de spire a înfășurării de excitație paralelă și serie; Φ – fluxul magnetic; ω – viteza unghiulară a rotorului; $M = k\Phi i_r$ – cuplul electromagnetic; M_s – cuplul de rezistență al sarcinii; J – momentul de inerție; $2p$ – numărul perechilor de poli; k – constanta constructivă a motorului.

În urma transformărilor de rutină a expresiilor (1-5) pentru MCC cu controlul separat al înfășurărilor a fost obținut sistemul de ecuații diferențiale în forma Cauchy

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Phi}{dt} &= \frac{1}{2p\sigma W_p}(U_p - R_p i_p) \\ \frac{di_e}{dt} &= \frac{1}{L_c}(R_e i_e + U_e - (U_p - R_p i_p) \frac{W_e}{W_p}) \\ \frac{di_r}{dt} &= (U_r - R_r i_r - K\omega\Phi) \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{p}{J}(K\Phi i_r - m_s) \\ K\Phi &= f(i_p, i_e), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

care a servit ca bază pentru elaborarea modelului Simulink (fig.2)

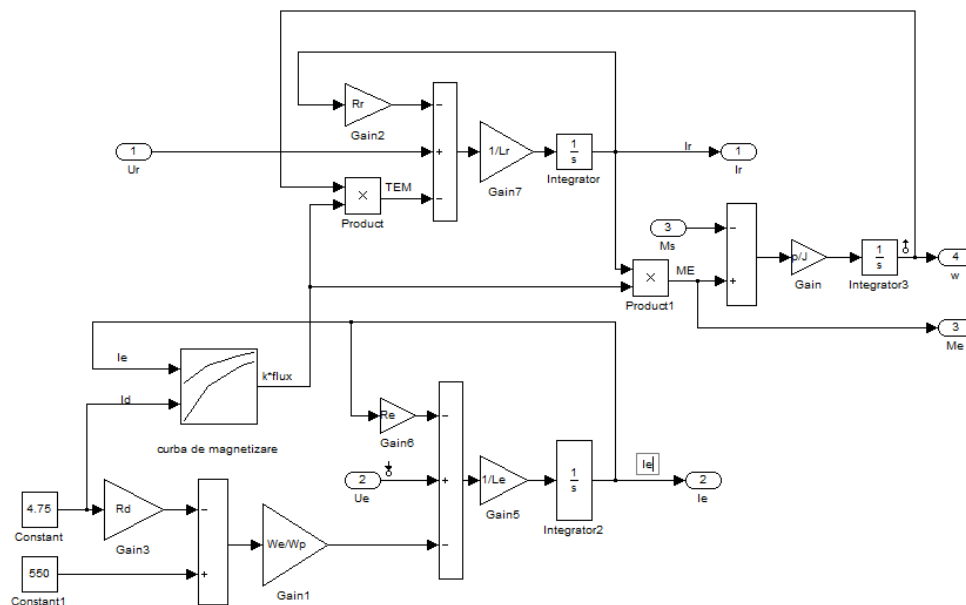


Fig.2. Modelul Simulink al al MCC cu excitație mixtă

3. Modelul Simulink al sistemului de comandă al MCC cu control separat al excitației

Structura sistemului de comandă al MCC de tracțiune cu controlul separat al excitației este prezentată în fig.3 și este prevăzută cu chopper separate. Necesitatea limitării rapide a accelerației/decelerației a mijloacelor de transport în impune utilizarea curentului indusului ca parametru de reglare. În sistemul de control propus ca parametru principal de reglare se utilizează viteza motorului în cadrul buclei de reglare cu regulatorul PID1 și Chopper1.

Chopperul 2 reglează curentul de excitație în două zone prin variația tensiunii de excitație. În prima zonă cu ajutorul regulatorului PID2 curentul de excitație urmărește întocmai curentul rotorului, adică $i_e = i_r$. În zona a doua cu slăbirea fluxului cu ajutorul regulatorului PID 3 care compară viteza prescrisă cu cea reală și conform datelor din blocul Table1 micșorează tensiunea de excitație. Funcția acestui bloc este obținută din încercări: pentru tensiunea nominală a rotorului și diferite valori ale tensiunii de excitație s-au înregistrat

valorile vitezei. Blocul Table1 are o funcție inversă: pentru valorile de intrare ale vitezei returnează valorile tensiunii de excitație.

Comutatorul are funcția de a selecta zona de reglaj în funcție de tensiunea rotorului. Pentru tensiuni mai mici de cele nominale chopperul este comandat de regulatorul 2, pentru tensiuni mai mari – de regulatorul 3.

Schema structurală simplificată a sistemului de control a troleibuzului conține 2 traductoare analogice de curent, un dispozitiv de limitare a curentului maximal (DLC), un element de prescriere vitezei troleibuzului, la intrarea căruia este aplicat semnalul reostatului de prescriere R_p al controlerului de comandă, legat cu pedalele de mers ale șoferului. Obiectul de reglare servește troleibuzul care este reprezentat ca o funcție neliniară ce depinde de viteza de mișcare și masa vehicolului. Modelul motorului este introdus în subsistemul MCC.

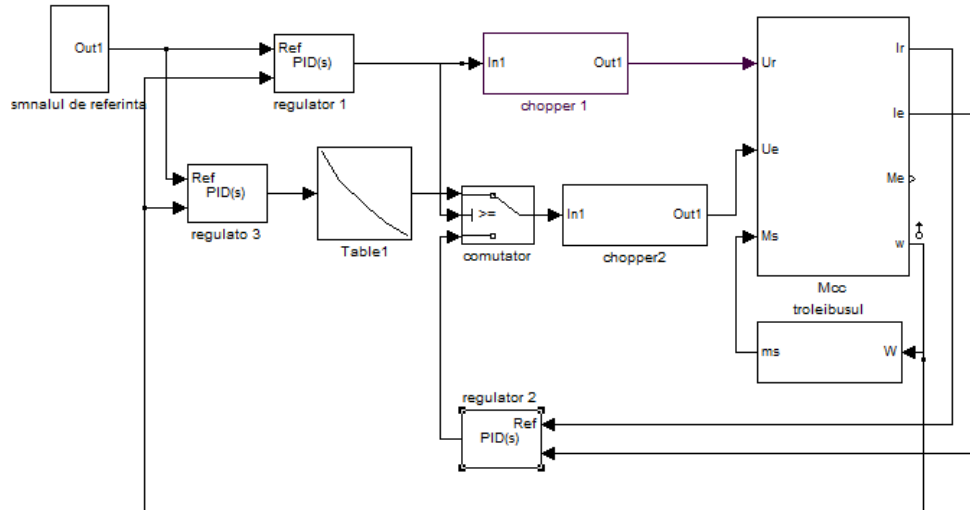


Fig.3 Structura sistemului de tracțiune cu controlul separat al înfășurărilor MCC cu excitație mixtă

Regulatele PID1,2,3 reprezintă subsisteme (fig.4) realizate cu instrumentele MatLAB/Simulink. Parametrii reguletoarelor pot fi setați manual la deschiderea ferestrei respective de parametrizare (fig.5, fereastra stângă). În acest caz parametrii trebuie determinați folosind o metoda oarecare (alocării polilor sau zerourilor, Ziegler-Nichols, Kessler etc). Din altă, se poate utiliza instrumentele Simulink-ului, de exemplu, NCD Blockset. In versiunile Matlab din 2010 și mai recente fereastra de parametrizare a regulatorului PID conține și opțiunea TUNE, care servește pentru calcularea automată a coeficienților de proporționalitate, de integrare și derivare [4]. Acest modul permite calcularea funcției de transfer a sistemului în bucla închisă și reprezintă grafic timpul de răspuns (linia gri). Acest timp poate fi ajustat cu ajutorul cursorului după ce sînt recalculați parametrii regulatorului. Fig.5 (fereastra din dreapta) demonstrează tuningul regulatorului de viteză.

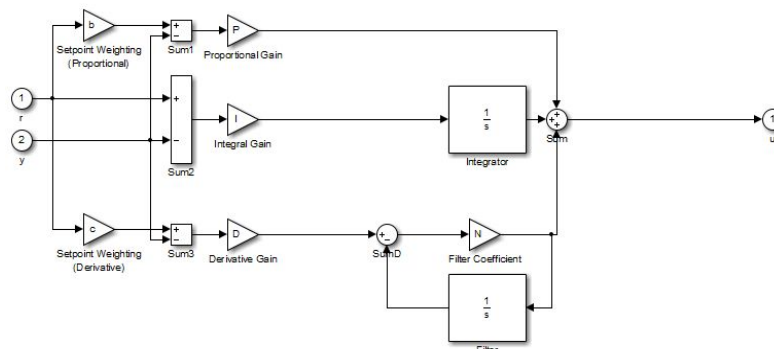


Fig.4. Structura regulatorului PID

5. Simularea sistemului de tracțiune cu controlul separat al MCC

Corectitudinea strategiei de control separat și acordarea parametrilor reguletoarelor al sistemului de tracțiune a fost verificată prin simularea pe calculator a MCC cu excitație mixtă tip DK-210 cu parametrii aduși în [1]. Au fost simulate procesele tranzitorii la pornire cu forma prescrisă a mișcării și la varierea sarcinii sistemului de tracțiune al troleibuzului. Fig.6 reprezintă curbele curentului rotoric, curentului de excitație, tensiunii rotorice și a vitezei în funcție de timp la pornirea sistemului, iar fig.6 - la varierea sarcinii

(ex: vale-deal) pentru două zone de reglare.

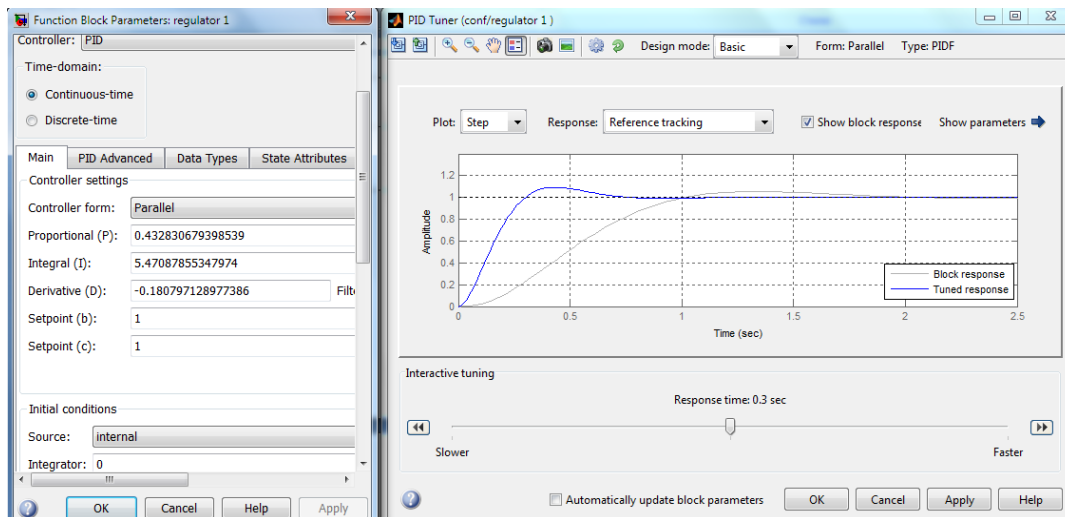


Fig.5. Acordarea manuală și automată a reguletoarelor PID

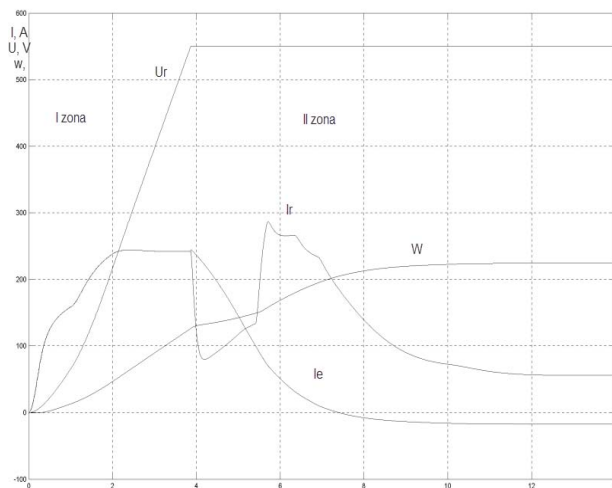


Fig.6. Curenții I_r , I_e , tensiunea U_r și viteza W la pornire

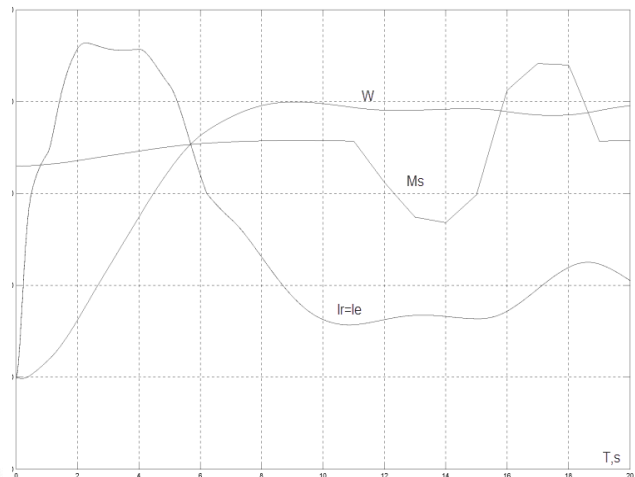


Fig.7. Curenții I_r , I_e , și viteza W la varierea sarcinii M_s

CONCLUZII

Rezultatele simulării demonstrează corectitudinea strategiei de control separat a MCC cu excitație mixtă de tracțiune. Sistemul de control asigură funcționalitatea tracțiunii în ambele zone de reglare. Bucla de viteză utilizată asigură o viteză aproximativ egală cu cea de prescriere atât pentru procesul de pornire, cât și la varierea sarcinii.

BIBLIOGRAFIE

1. 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.
2. I.Nuca, V.Eșanu, I.Râmbu. *A separate excitation control of Compound DC Motor*. Proceedings of the 6th Conference on Electrical and Power Engineering EPE-2010, October 28-30, Iasi, Romania. Vol.II, pp. 65-68.
3. A.Kelemen. *Acționări electrice*. -București, Editura didactică și Pedagogică, 1979.
4. <http://www.mathworks.com/help/simulink/slref/pidcontroller.html>