

THE WINDSHIELD WIPER MECHANISM CONTROL SIMULATION USING THE ADAMS–MATLAB CONNECTION

Adrian-Constantin BUTA*, Claudiu POZNA**

Transilvania University of Braşov, Dept. of the Product Design and Robotics

e-mail: *acbuta@unitbv.ro, **cp@unitbv.ro

Keywords: control, viteză unghiulară, moment motor, mecanism, conexiune.

Abstract: The paper presents a control simulation of the windshield wipers mechanisms based on the connection of two software: *ADAMS* and *MATLAB*. For these reasons we use a dynamical model of the windshield wiper mechanism (with *ADAMS/View* module) and we transpose this model in *MATLAB/Simulink* (with *ADAMS/Controls* module). In the end we obtain the diagram of the control torque.

1. INTRODUCERE

Odată cu apariția softurilor moderne de analiză și simulare, rezolvarea dinamicii inverse este tot mai ușoară, iar valoarea momentului motor se calculează ca o funcție variabilă (dar turație constantă), adică mai aproape de realitate. Modelul mecanic se rulează în modulul *ADAMS/View*, iar cu ajutorul modulului *ADAMS/Controls* se identifică intrările și ieșirile acestuia creându-se fișiere care vor fi folosite în softul *MATLAB/Simulink*.

2. DEFINIREA ȘI ANALIZA PROBLEMEI

Dorim să controlăm turația (sau mai exact viteza unghiulară) a unui motor de curent continuu, care antrenează mecanismul ștergătorului de parbriz, bicontur cu bare articulate, care este ilustrat în figura 1.

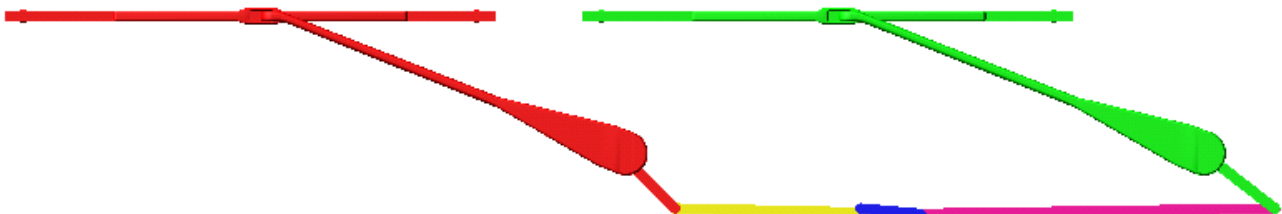


Fig. 1. Mecanismul analizat.

Inițial, motorul de curent continuu este înlocuit cu o mișcare conducătoare (de rotație), care rotește complet elementul conducător, iar lamelele ștergătoarelor curăță parbrizul autoturismului. Între lamele și parbriz apare o forță de frecare $F_f = 16$ [N] care se opune mișcării; când lamelele sunt în mișcare ascendentă forța de frecare este orientată descendent, iar când lamelele sunt în mișcare descendentă forța de frecare este orientată ascendent, conform figurii 2.



Fig. 2. Mișcarea ascendentă, respectiv descendentă a lamelelor ștergătoare.

Motorul de curent continuu este un sistem electro-mecanic (fig. 3) al cărui model a fost determinat cu ecuațiile (1, 2) [5, 8].

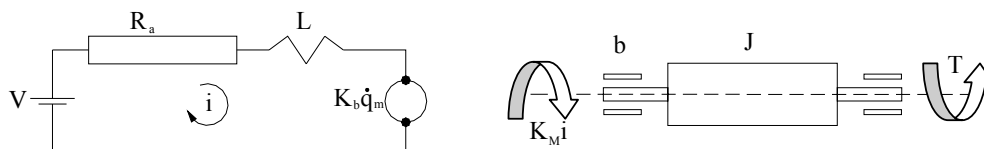


Fig. 3. Motorul de curent continuu.

$$V = R_a i + L \frac{di}{dt} + E \quad (1)$$

$$J \ddot{q}_m = K_M i - b \dot{q}_m - T \quad (2)$$

unde: V este tensiunea de alimentare a motorului;

T este momentul rezistent;

R_a este rezistența armăturii;

L este inductanța armăturii;

i este intensitatea curentului în armătură;

E este tensiunea contraelectromotoare dată de relația $E = K_b \dot{q}_m$ în care:

K_b este constanta contraelectromotoare;

q_m este poziția rotorului;

$\dot{q}_m \equiv \omega_m$ este viteza de rotație a rotorului;

J este momentul de inerție (rotor + arbore);

$K_M \cdot i$ este cuplul motor;

K_M este coeficientul momentului motor;

b este coeficientul de frecare vâscoasă.

Parametrii modelului sunt sistematizați în tabelul 1 [11].

Tabelul 1.

Sistem	Parametrul	Valoare	Unitate de măsură
Structura mecanică	m	0,7	[kg]
	J	1,8e-3	[Nms ² /rad]
	l	0,5	[m]
	c	0,25	[m]
Motorul de curent continuu	i	150	[A]
	J	233e-5	[Nms ² /rad]
	L	0,5	[H]
	R_a	0,8	[Ω]
	b	0,1	[Nms/rad]
	K_M	176e-3	[Nm/amp]
	K_b	0,105	[Vs/rad]

2.1. Analiza modelului dinamic, indicii de performanță impuși

Analiza modelului dinamic obținut începe cu analiza structurală a sistemului ștergător de parbriz. În figura 4 este prezentată schema bloc a acestui sistem, în care: ω_m este viteza unghiulară a axului motorului; ω este viteza unghiulară a mecanismului; T este momentul motor; iar τ este momentul forțelor rezistente.

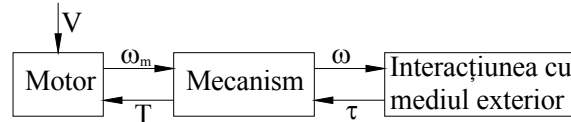


Fig. 4. Schema bloc a sistemului.

Deoarece mărimea de referință a problemei de control este viteza unghiulară (ω_m) cu care se rotește axul motorului schema din figura 4 se transformă în schema de control din figura 5.

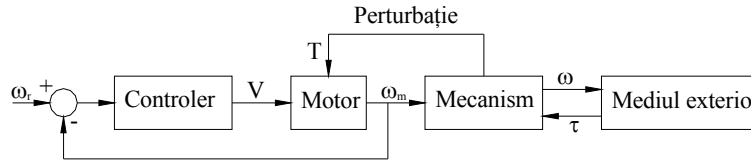


Fig. 5. Schema de control a sistemului.

Conform acestei scheme problema se reduce la controlul (în turație) motorului CC, care este perturbat cu un moment de torsiune T . Acest moment este calculat pe baza modelului mecanic al mecanismului ștergătorului de parbriz asupra căruia acționează mediul exterior.

O schemă bloc mai amănunțită a sistemului de control adoptat se realizează prin explicitarea blocului motor. Pentru aceasta se utilizează ecuațiile (1) și (2) care după transformarea prin operatorul Laplace și eliminarea variabilei $I(s)$ devin:

$$\Omega_m(s) = G_V(s) \cdot V(s) - G_T(s) \cdot T(s) \quad (3)$$

în care: $\Omega_m(s)$ este transformata Laplace a mărimii ω_m ;
 $V(s)$ este transformata Laplace a mărimii V ;
 $T(s)$ este transformata Laplace a mărimii T ;
 $G_V(s)$ este funcția de transfer a tensiunii, dată de:

$$G_V(s) = \frac{K_M}{LJs^2 + (JRa + bL)s + (bRa + K_b K_M)} \quad (4)$$

$G_T(s)$ este funcția de transfer a momentului perturbator, dat de:

$$G_T(s) = \frac{Ls + Ra}{LJs^2 + (JRa + bL)s + (bRa + K_b K_M)} \quad (5)$$

Acest rezultat permite transformarea schemei din figura 5 în schema din figura 6.

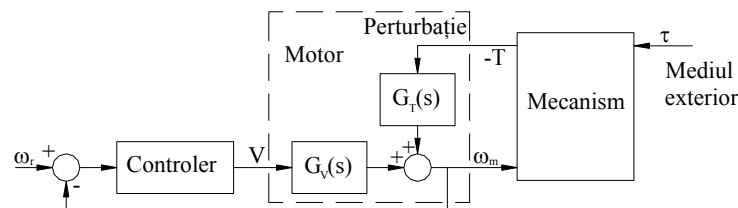


Fig. 6. Schema de control.

Analiza structurală va fi urmată de analiza funcțiilor de transfer care compun această structură. Particularizând cele două funcții de transfer G_V , respectiv G_T se obțin rezultatele:

$$G_V(s) = \frac{151,1}{s^2 + 430,8s + 84,53} \quad (4)'$$

$$G_T(s) = \frac{429,184s + 686,695}{s^2 + 430,8s + 84,53} \quad (5)'$$

Conform strategiei de control adoptată în acest caz (v. fig. 6) sistemul reglat are funcția de transfer $G_V(s)$. Relația (4)' permite următoarele observații:

- deoarece nu are un pol în origine, adică $s \neq 0$, sistemul (neperturbat) în buclă închisă nu conduce la eroarea staționară nulă (la semnalul treaptă) atunci când este utilizat un controler proporțional, fiind deci necesar utilizarea unui controler PI ,

$$G_C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} \right) \quad (6)$$

eroarea staționară este calculată cu ajutorul teoremei valorii finale (fig. 7) [7]

$$\varepsilon(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \left(1 - \frac{G_C G_V}{1 + G_V G_C} \right) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{1}{1 + G_V G_C} \right) = 0 \quad (7)$$

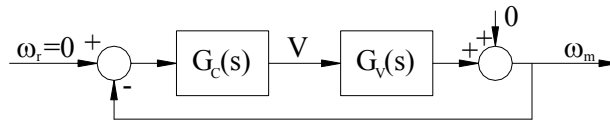


Fig. 7. Eroarea staționară.

- studiul eliminării unei perturbații constante (modelabilă prin funcția treaptă) are la bază succesiunea de diagrame echivalente din figura 8 și utilizarea teoremei valorii finale [7].

$$\omega_m(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{G_T}{1 + G_V G_C} = 0 \quad (8)$$

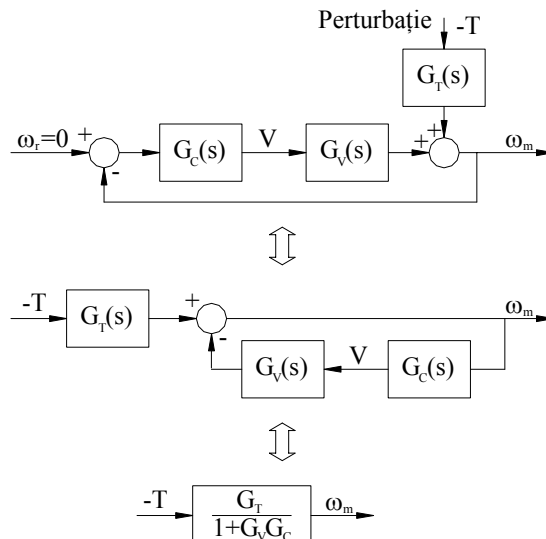


Fig. 8. Eliminarea perturbației constante.

Rezultatul obținut evidențiază următoarele aspecte:

- utilizarea unui controler proporțional integrativ permite eliminarea erorii în consecință eliminarea unei perturbații constante este posibilă cu ajutorul unui controler cu pol în origine ($s = 0$).

$$G_C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (9)$$

- răspunsul indicial al sistemului motor perturbat și neperturbat în buclă închisă este realizat cu ajutorul schemei bloc din figura 9 și este prezentat în figura 10 [6].

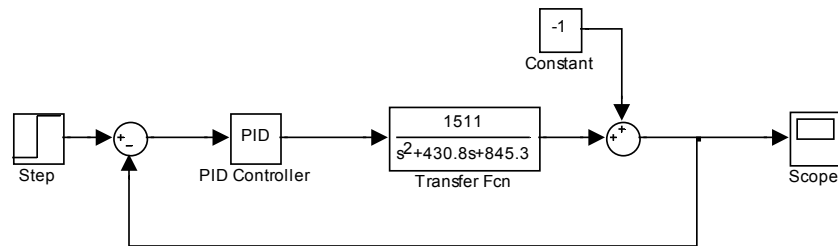


Fig. 9. Schema bloc a sistemului motor în buclă închisă.

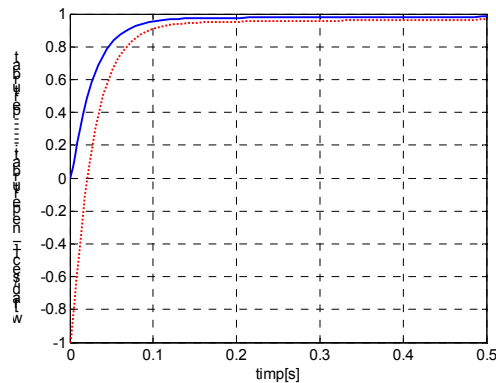


Fig. 10. Diagrama sistemului motor perturbat și neperturbat.

Momentul de torsiune perturbator (T) datorat momentelor rezistente (τ) are proprietatea de a fi mărginit. În consecință la proiectarea controlerului acest semnal poate fi modelat printr-unul treaptă, urmând ca, în etapa de simulare să fie calculat conform modelului dinamic al transmisiei (valoarea *exactă* a acestuia).

În concluzie:

- strategia de control a acestui sistem constă în asimilarea motorului de CC cu partea fixă a problemei de control, și considerarea celorlalte subsisteme sub forma unui generator de perturbații;
- conform modelului acestor sisteme, perturbațiile care pot apărea sunt semnale mărginite;
- din analiza modelului dinamic al motorului s-a tras concluzia conform căreia pentru eliminare perturbației este necesară implementarea unui controler cu pol în origine;
- răspunsul sistemului (motor de CC) în buclă închisă (dar neperturbat) a permis determinarea indicilor de performanță ai acestuia, precum și precizarea indicilor de performanță impuși.

3. PROIECTAREA CONTROLERULUI

În spațiul stărilor modelul dinamic al motorului de CC este [6]:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K_M}{J} \\ -\frac{K_b}{L} & -\frac{R_a}{L} \end{bmatrix} \cdot x + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \cdot u + \begin{bmatrix} -\frac{1}{J} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot T$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot x$$
(10)

în care vectorul de stare ales este:

$$x = \begin{bmatrix} \omega \\ i \end{bmatrix}$$
(11)

Ceea ce prin particularizare, la valoarea parametrilor modelului din tabelul 1, devine:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -42.91845 & 75.53648 \\ -0.21 & -1.6 \end{bmatrix} \cdot x + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} \cdot u + \begin{bmatrix} -429.18 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot T$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot x$$
(12)

În conformitate cu principiul suprapunerii de efecte modelul sistemului neperturbat este:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -42.91845 & 75.53648 \\ -0.21 & -1.6 \end{bmatrix} \cdot x + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} \cdot u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot x$$
(13)

iar efectul perturbației asupra motorului (modelul perturbației) este:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -42.91845 & 75.53648 \\ -0.21 & -1.6 \end{bmatrix} \cdot x + \begin{bmatrix} -429.18 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot T$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot x$$
(14)

Simularea rezultatului se realizează cu ajutorul schemei din figura 11 (*MATLAB-Simulink*) [9].

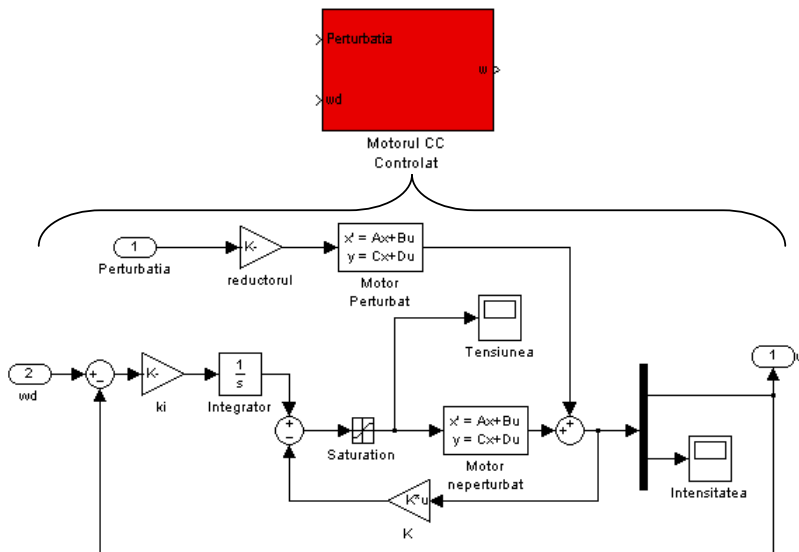
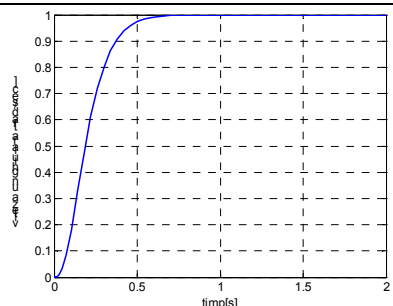
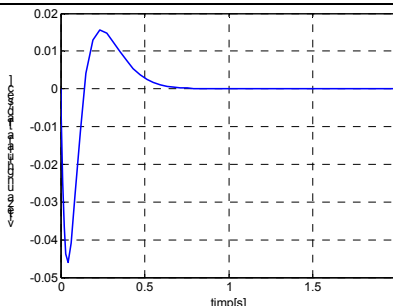


Fig. 11. Schema motorului de curent continuu controlat.

Rezultatele simulării, adică răspunsul indiceal al sistemului și eliminarea perturbației, sunt sistematizate în tabelul 2.

Tabelul 2.

Răspunsul indiceal	Eliminarea perturbației
 Viteza unghiulară (ω) este semnalul de intrare treaptă unitară; perturbația este nulă. Răspunsul obținut este unul critic amortizat, ceea ce corespunde obiectivelor controlului.	 Viteza unghiulară (ω) este nulă; perturbația este un semnal treaptă. În final perturbația este eliminată în totalitate.

4. SIMULAREA SISTEMULUI MOTOR – ȘTERGĂTOR

Modelul dinamic al mecanismului ștergătorului de parbriz se calculează cu ajutorul softului *ADAMS*, după care este exportat (blocul *adams_sub* în care sunt incluse toate elementele subsistemului), conform figurii 12 [10]. Apoi este conectat la motorul de curent continuu controlat în softul *MATLAB– Simulink*, conform figurii 13.

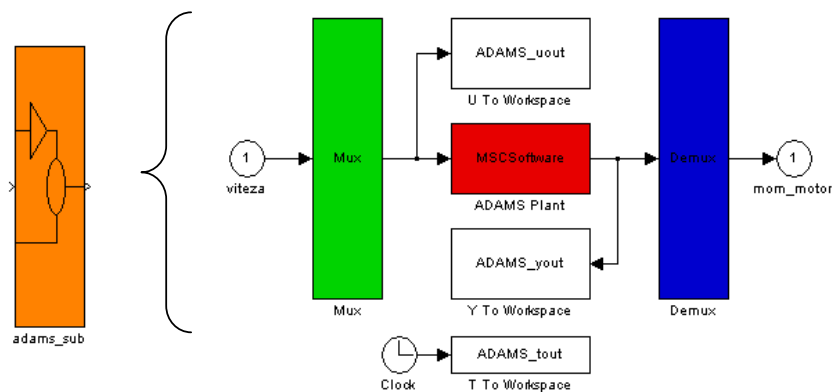


Fig. 12. Elementele din subsistemul modelului calculat în ADAMS.

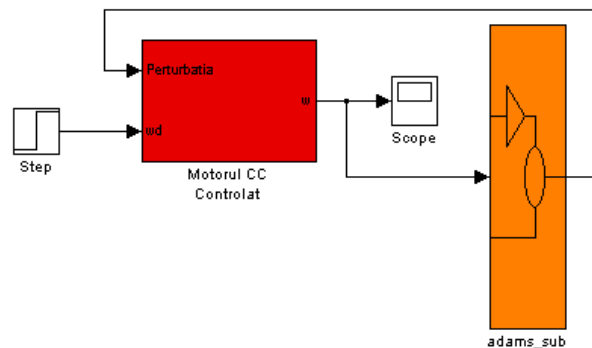


Fig. 13. Schema bloc de control.

Rezultatele sunt vizualizate cu ajutorul modulului *ADAMS/PostProcessor*, figura 14 reprezentând diagrama vitezei unghiulare, iar figura 15 reprezentând diagrama momentului motor.

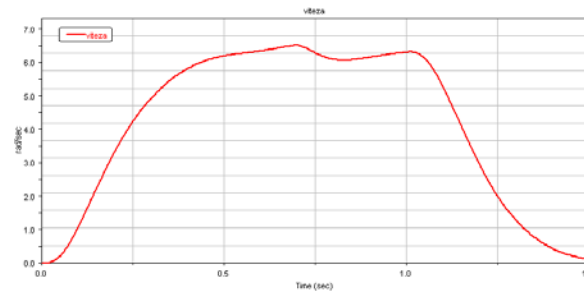


Fig. 14. Diagrama vitezei unghiulare.

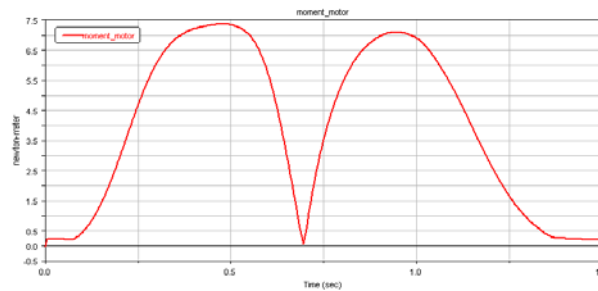


Fig. 15. Diagrama momentului motor.

5. CONCLUZII

Controlul mecanismelor ștergătoarelor de parbriz poate fi ușurat prin simularea prototipului virtual al acestora. Simularea acestui prototip permite eliminarea neconcordanțelor micșorând astfel perioada de proiectare și deci costul produsului.

Lucrarea de față consideră un mecanism de ștergător de parbriz acționat de un motor de curent continuu, căruia vrem să-i obținem o viteză unghiulară constantă la arborele motor. Acest lucru nu este neapărat necesar în practică, dar am vrut să testăm conexiunea dintre cele două softuri (*ADAMS* și *MATLAB*). În viitor intenționăm să realizăm, cu ajutorul acestei conexiuni, controlul vitezelor de rotație ale lamelelor ștergătoarelor.

6. BIBLIOGRAFIE

- [1] Buta, A.C., Alexandru, C., „Sistematizarea structurală a mecanismelor ștergătorului de parbriz”, IMT Oradea – 2005, (abstract book), vol. IV, pag. 188b, Oradea, 2005;
- [2] Buta, A.C., Alexandru, C., „ Kinematic optimization of a windshield wiper mechanism”, SYROM '05, vol. I, pag. 17–20, București, 2005;
- [3] Buta, A.C., Alexandru, P., „Asupra structurii mecanismelor ștergătoarelor de parbriz”, „Constantin Brâncuși”, Scientific Conference, vol. I, pag. 92–96, Târgu-Jiu, 2005;
- [4] Pozna, Cl., „Comanda și controlul roboților industriali”, Editura CIT, Brașov, 2000;
- [5] Pozna, Cl., „The mekatronics control systems simulation using the *MATLAB-ADAMS* connection”, SYROM '01, pag. 251–256, București, 2001;
- [6] Pozna, Cl., „Simularea controlului sistemelor electromecanice cu ajutorul softurilor *MATLAB-ADAMS*”, PRASIC '02, vol. III, pag. 339–344, Brașov, 2002;
- [7] Pozna, Cl., „Teoria sistemelor automate”, Editura Matrix Rom, București, 2004;
- [8] * * * Simulink User's Guide, The Math Works Inc. 2004;
- [9] * * * Getting started using ADAMS v.2005, MSC / MDI, 2005;
- [10] * * * www.marelli.it.