

TROLII DE SARCINĂ – OPTIMIZAREA PARAMETRIILOR DINAMICI

LOAD WINCHES - OPTIMIZATION DYNAMIC PARAMETERS

Marian NEAMȚU

Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania
e-mail: neamtugmarian@yahoo.com

Rezumat: Analiza regimurilor tranzitorii în cazul trolurilor de sarcină ale macaralelor de mare înălțime se face studiind fazele de pornire – oprire ale sarcinilor în condițiile impunerii unor mărimi de intrare (legi sau pachete de legi) în scopul obținerii unor performanțe dinamice superioare, având ca rezultat creșterea productivității și diminuarea solicitărilor dinamice din construcția metalică a macaralei.

Cuvinte cheie: supraacelerație, productivitate, fiabilitate.

Abstract: Analysis of transitory regimes when discussing about load winches of great height cranes is performed by studying the “start-stop” phases of load when there is required output (laws or packages of laws) in order to obtain superior dynamic performances, resulting in increased productivity and decreased dynamic strain in the metal construction of the crane.

Keywords: over acceleration, productivity, reliability

1. INTRODUCERE

În documentația de specialitate, în cazul automacaralelor, pentru regimul tranzitoriu de pornire - oprire, se consideră că accelerația sarcinii este constantă, ca urmare viteza sarcinii variază liniar.

Din condiții de asigurare a confortului uman (ex. în ascensor), având în vedere că omul nu simte viteza ci accelerația, se impune studiul legii de mișcare optimă aplicabilă și în cazul trolurilor de sarcină ale macaralelor.

2. DETERMINAREA PARAMETRIILOR GENERALIZAȚII

Pentru determinarea parametrilor generalizați (spațiu, viteză, accelerație), în cazul în care se iau în considerare derivatele superioare ale accelerației, este necesară optimizarea mărimilor cinematice sub acțiunea șocurilor:

În acest caz se consideră o sarcină $\rho = \rho(t)$ aplicată pe o scurtă durată de timp (impuls sau șoc rectangular):

$$\rho(t) = c (= const.). \quad (1)$$

Atunci putem admite că accelerația variază liniar, având valoarea:

$$a(t) = \int_0^t \rho(\tau) d\tau = c \cdot t \quad (2)$$

Viteza are variație parabolică:

$$v(t) = \int_0^t a(\tau) d\tau = \int_0^t c \cdot \tau d\tau = c \cdot \frac{\tau^2}{2} \Big|_0^t = \frac{c}{2} \cdot t^2 \quad (3)$$

Spațiul este definit prin:

$$s(t) = \int_0^t v(\tau) d\tau = \int_0^t c \cdot \frac{\tau^2}{2} d\tau = \frac{c}{2} \int_0^t \tau^2 d\tau = \frac{c}{2} \cdot \frac{\tau^3}{3} \Big|_0^t = c \cdot \frac{t^3}{6} \quad (4)$$

Momentul temporal $t = t_1$ al primei durate a impulsului este definit prin condiția

$$t_1 = \frac{a_m}{c}, \quad (5)$$

obținută din formula (2).

Pentru valoarea $t = t_1$ din relațiile (3) și respectiv (4), obținem valorile

$$\begin{cases} v_1 = \frac{a_m^2}{2c}; \\ s_1 = \frac{a_m^3}{6c^2}. \end{cases} \quad (6)$$

Se admite pentru impuls următoarea lege de variație:

$$\rho(t) = \begin{cases} \frac{5}{4}c, & 0 \leq t \leq t_1 \\ 0, & t_1 \leq t \leq 2t_1 \\ -\frac{5}{4}c, & 2t_1 \leq t \leq 3t_1 \\ 0, & 3t_1 \leq t \leq 6t_1 \\ -\frac{5}{4}c, & 6t_1 \leq t \leq 7t_1 \\ 0, & 7t_1 \leq t \leq 8t_1 \\ \frac{5}{4}c, & 8t_1 \leq t \leq 9t_1 \end{cases} \quad (7a)$$

Atunci deducem pentru accelerație următoarea lege de variație liniară (vezi figura 1)

$$a(t) = \begin{cases} c \cdot t, & 0 \leq t \leq t_1 \\ c \cdot t_1, & t_1 \leq t \leq 2t_1 \\ -c \cdot t + 3ct_1, & 2t_1 \leq t \leq 3t_1 \\ 0, & 3t_1 \leq t \leq 6t_1 \\ -c \cdot t + 6ct_1, & 6t_1 \leq t \leq 7t_1 \\ -ct_1, & 7t_1 \leq t \leq 8t_1 \\ c \cdot t - 9ct_1, & 8t_1 \leq t \leq 9t_1 \end{cases} \quad (7b)$$

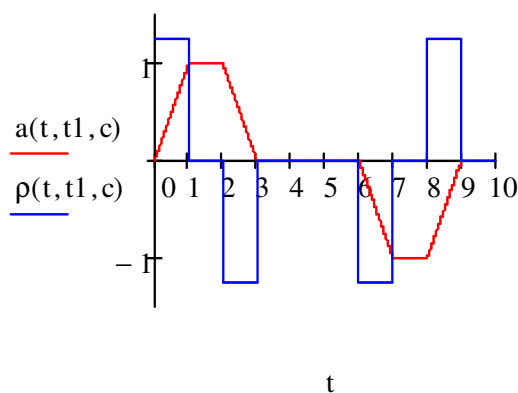


Fig. 1 - Variația impulsului și accelerației

Pentru viteză, deducem următoarea lege de variație (vezi figura 2).

$$v(t) = \begin{cases} c \cdot \frac{t^2}{2}, & 0 \leq t \leq t_1 \\ c \cdot \left(t_1 \cdot t - \frac{t_1^2}{2} \right), & t_1 \leq t \leq 2t_1 \\ c \cdot \left(-\frac{t^2}{2} + 3t_1 \cdot t - \frac{5}{2}t_1^2 \right), & 2t_1 \leq t \leq 3t_1 \\ 2t_1^2 c, & 3t_1 \leq t \leq 6t_1 \\ c \cdot \left(-\frac{t^2}{2} + 6t_1 \cdot t - 16t_1^2 \right), & 6t_1 \leq t \leq 7t_1 \\ c \cdot \left(-t_1 \cdot t + \frac{17}{2}t_1^2 \right), & 7t_1 \leq t \leq 8t_1 \\ c \cdot \left(\frac{t^2}{2} - 9t_1 \cdot t + \frac{81}{2}t_1^2 \right), & 8t_1 \leq t \leq 9t_1 \end{cases} \quad (8)$$

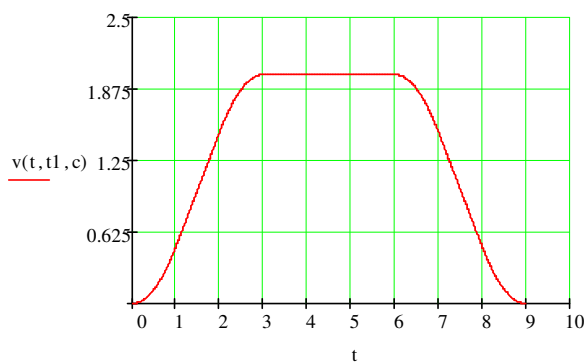


Fig. 2 - Variația vitezei

Pentru spațiu se obține următoarea lege de variație (vezi figura 3)

$$s(t) = \begin{cases} c \cdot \frac{t^3}{6}, & 0 \leq t \leq t_1 \\ c \cdot \left(t_1 \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{t_1^2}{2} \cdot t + \frac{t_1^3}{6} \right), & t_1 \leq t \leq 2t_1 \\ c \cdot \left(-\frac{t^3}{6} + \frac{3}{2}t_1 \cdot t^2 - \frac{5}{2}t_1^2 \cdot t + \frac{3}{2}t_1^3 \right), & 2t_1 \leq t \leq 3t_1 \\ c \cdot (2t_1^2 \cdot t - 3t_1^3), & 3t_1 \leq t \leq 6t_1 \\ c \cdot \left(-\frac{t^3}{6} + 3t_1 \cdot t^2 - 16t_1^2 \cdot t + 33t_1^3 \right), & 6t_1 \leq t \leq 7t_1 \\ c \cdot \left(-t_1 \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{17}{2}t_1^2 \cdot t - \frac{145}{6}t_1^3 \right), & 7t_1 \leq t \leq 8t_1 \\ c \cdot \left(\frac{t^3}{6} - \frac{9}{2}t_1 \cdot t^2 + \frac{81}{2}t_1^2 \cdot t - \frac{219}{2}t_1^3 \right), & 8t_1 \leq t \leq 9t_1 \end{cases} \quad (9)$$

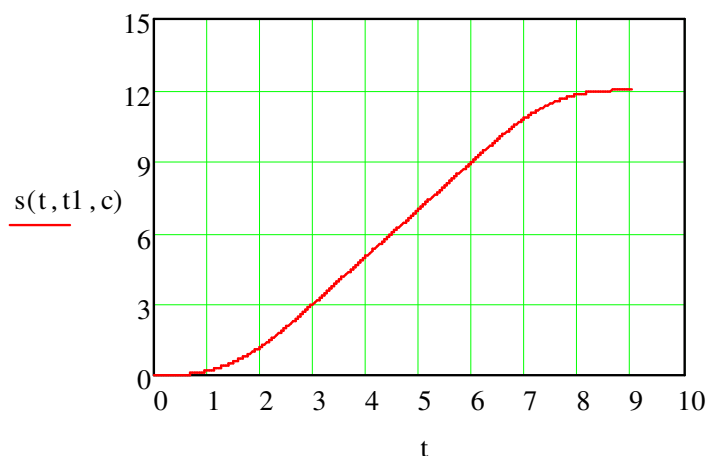


Fig. 3 - Variația spațiului.

Se observă că viteza variază după o parabolă în perioadele de pornire și oprire, deci solicitările dinamice din sistem sunt mai mici, ceea ce creează un avantaj atât pentru elementele componente ale troliului și construcție metalice a macaralei cât și pentru creșterea stabilității la răsturnare.

3. STUDIU DE CAZ

Pentru determinarea parametrilor generalizați (spațiu, viteză, accelerație), s-a ales o macara cu următoare caracteristici:

- sarcină maximă de ridicare: 274,1 t,
- înălțime maximă de ridicare: 84 m,
- raza maximă de acțiune: 48 m,
- moment maxim admis (moment capabil): 1235 tm

- viteza de ridicare a sarcinii maxime: 4,8 m/min

Parametrii elementelor componente ale mecanismului de ridicare sunt prezentați în continuare:

- Momentul de inerție al reductorului este:

$$J_r = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- Raportul de transmisie al reductorului:

$$i_r = 78,45$$

- Diametrul tamburului de cablu;

$$D_t = 600 \text{ mm}$$

- Lungimea inițială a ramurii de cablu dintre tobă și palan:

$$l_c = 50 \text{ m}$$

- Cablul are diametrul: $d_c = 25 \text{ mm}$, forța admisibilă $F_a = 12600 \text{ daN}$, constanta elastică

$$k_2 = 3,5 \cdot 10^8 \text{ N/m} \text{ și factorul de amortizare vâscoasă } \xi_2 = 3 \cdot 10^7 \text{ N/m} \cdot \text{s}$$

- Raportul de transmitere al palanului:

$$i_p = 27$$

- Diametrul rolă scripete:

$$D_r = 450 \text{ mm}$$

- Lungimea inițială a palanului:

$$L = 50 \text{ m}$$

- Momentul de inerție al scripetelui:

$$J_s = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- Factorul de amortizare vâscoasă în articulația scripetelui:

$$\xi_3 = 1 \text{ N} \cdot \text{m/rot} \cdot \text{min}$$

- Constanta elastică a cuplajului:

$$k_1 = 5 \text{ Nm/grad}$$

- Factorul de amortizare:

$$\xi_1 = 0,2 \text{ Nm/rot} \cdot \text{min}$$

3.1 ANALIZA ÎN CAZUL ACȚIONĂRII HIDRAULICE AUTOMATE

Schema hidraulică a unui sistem de reglare automată a procesului este prezentată în fig. 4, unde:

1 – masa sarcinii acționate redusă la arborele motorului (reducerea se face prin aplicarea principiului conservării energiei cinetice la lanțul cinematic); 2 – motorul de execuție al sistemului automat; 3 – distribuitorul principal de comandă al motorului 2, el nu intervine cu nimic în reglajul automat – are rolul de a deschide circuitul către motor; 4 – pompa volumică autoreglabilă – de capacitate variabilă reglată de etajul de joasă putere; 5 – regulator de debit cu două căi de curgere; 6 – frână hidraulică; 7 – drosel de cale; 8 – servomotorul pompei 4, care comandă unghiul de basculare (implicit debitul pompei); 9 – servovalvă electrohidraulică; 10 – pompă auxiliară de mică putere ce alimentează servovalva; 11 – acumulator hidraulic; 12 – filtru de înaltă presiune; 13 – supapă de deversare; TS – traductor de deplasare; TR – traductor de rotație; RP – bloc de reglarre principală; RS – bloc de reglare secundară; C1, C2 – comparatoare electronice; SC – servocontrolerul servovalvei; A.E – amplificator electronic.

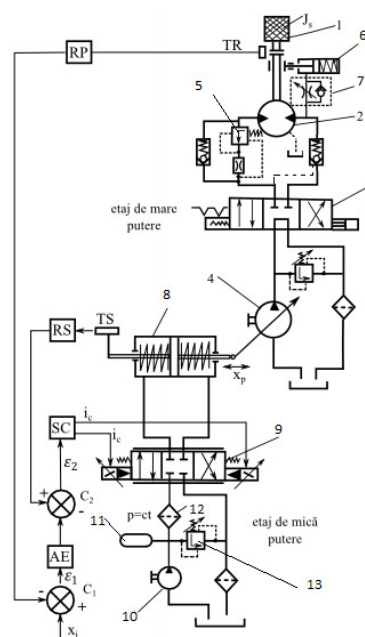


Fig. 4 - Schema hidraulică a unui sistem de reglare automată

Realizarea modelului fizic se face înlocuind componentele reale ale sistemului fizic cu componente idealizate (figura 5)

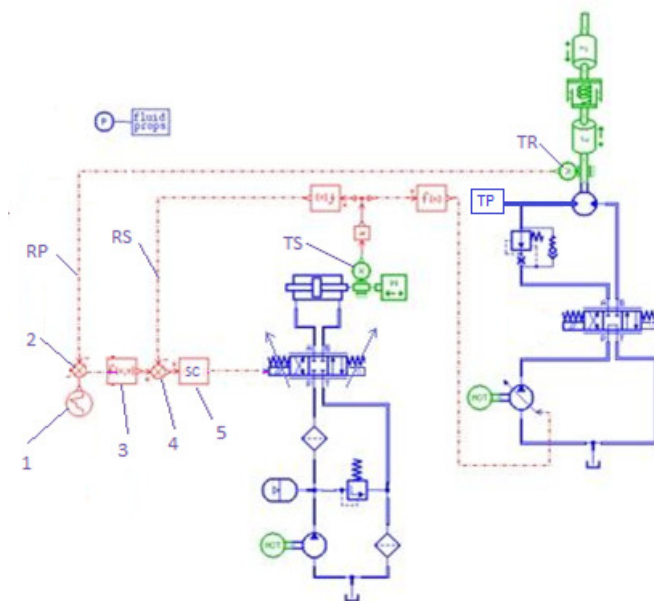


Fig. 5

unde:

1 – generator de funcție; 2 – comparator C1; 3 – amplificator; 4 – comparator C2; 5 – servocilindru; TR – traductor de rotație; TS – traductor de deplasare; TP – traductor de presiune.

Aționare cu motor hidraulic – caz supraacclerație constantă

Corespunzător timpului tranzitoriu de pornire (3 sec) diagrama supraacclerației este prezentată în figura 6:

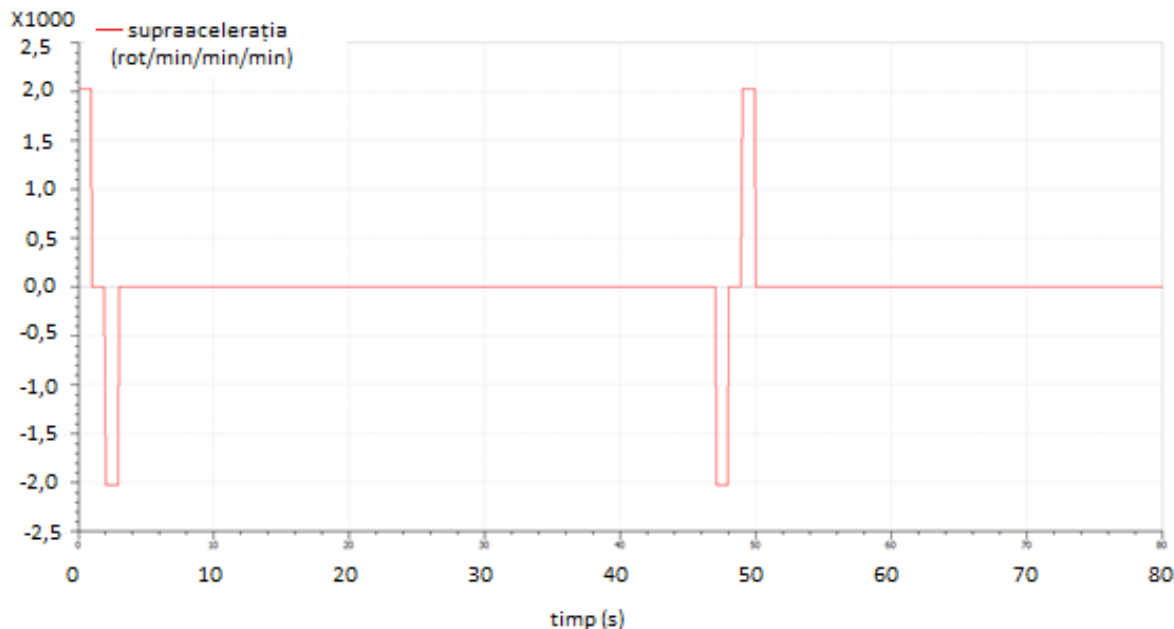


Fig. 6– Variația supraacclerației

Variația accelerației corespunzătoare în acest caz este prezentată în figura 7:

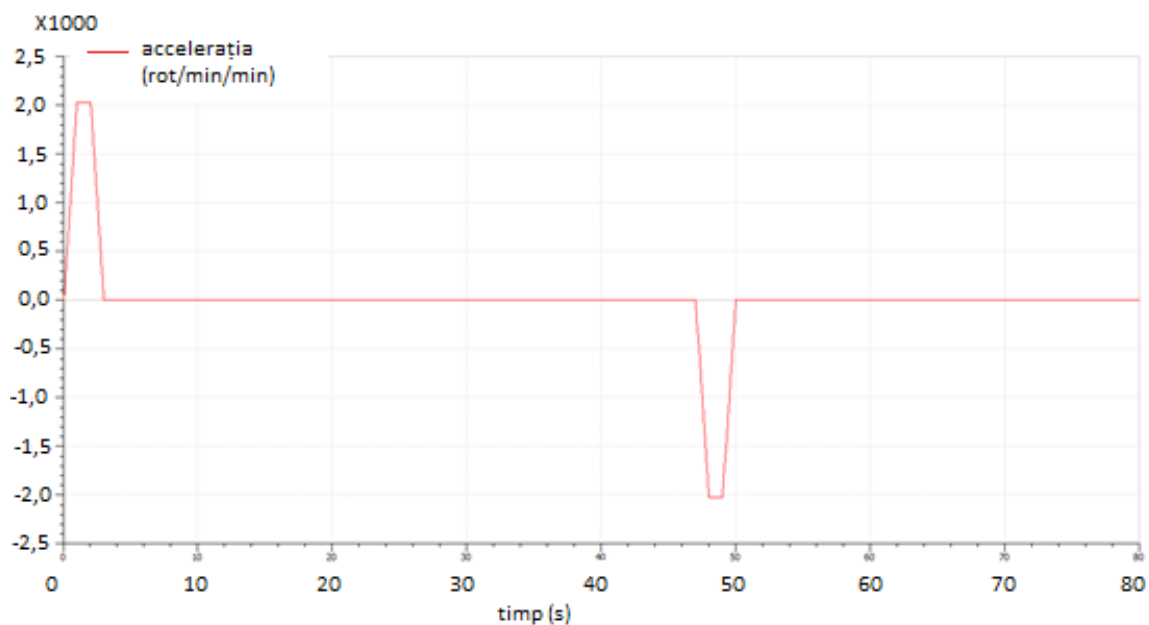


Fig. 7 – Variația accelerației

Variația turației motorului în acest caz este prezentată în figura 8:

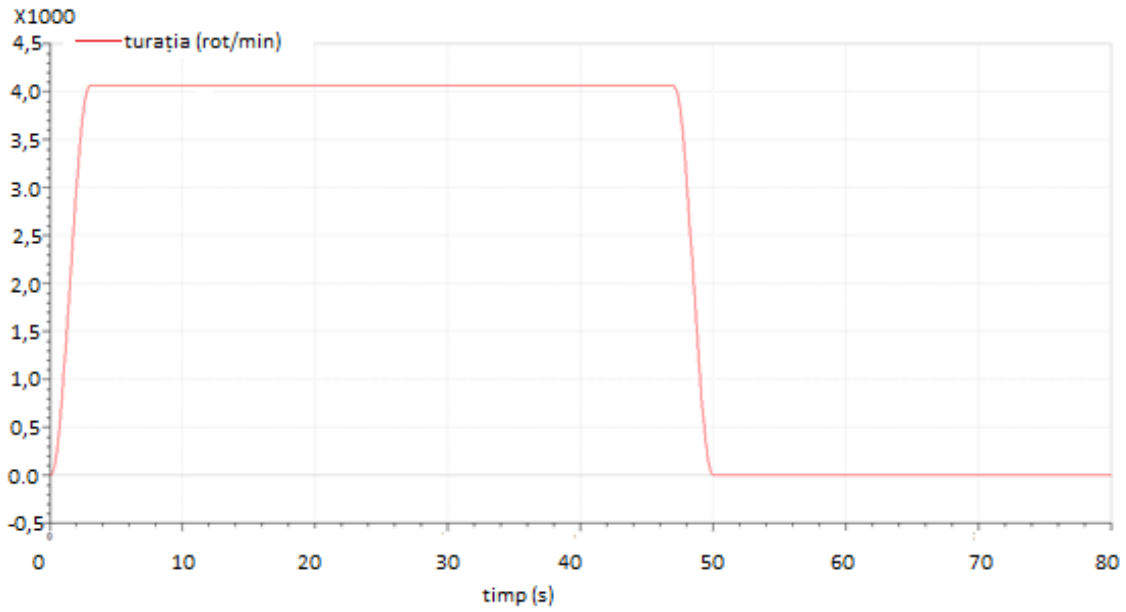


Fig. 8 – Variația turației motorului

Rezultate:

Turația motorului în cazul supraacelerației constante este prezentată în figura 8:

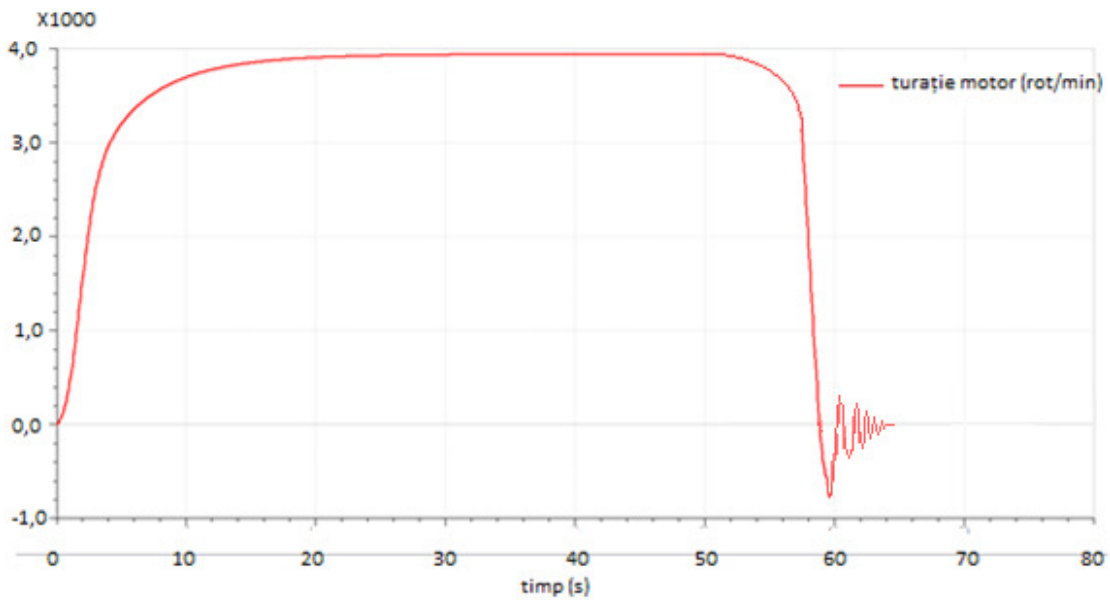


Fig. 8 – Turația motorului

Accelerația motorului în cazul supraacelerației constante este prezentată în figura 9:

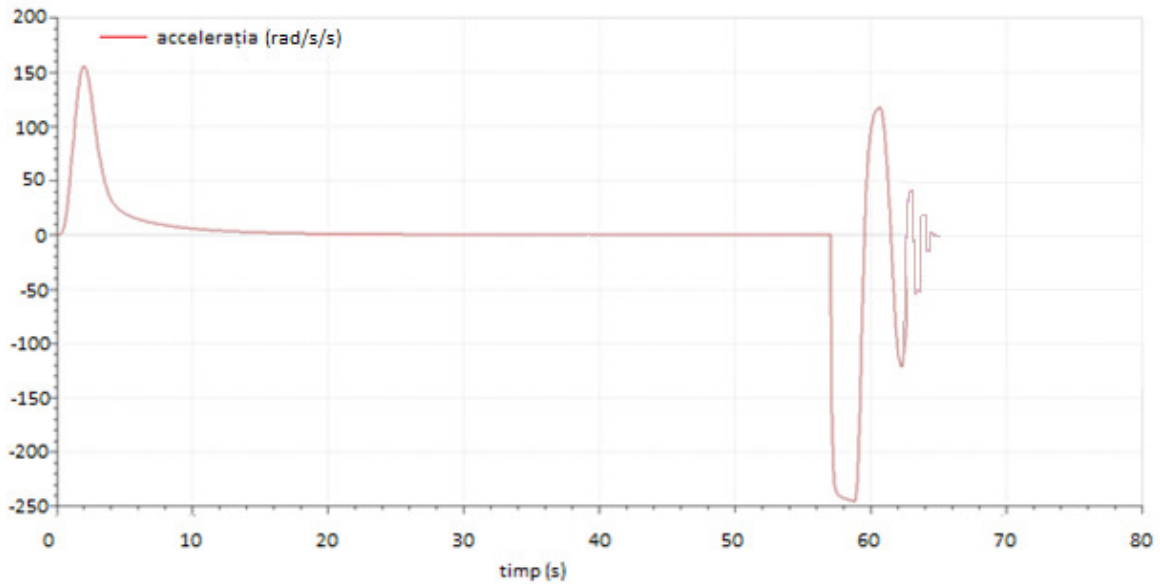


Fig. 9 – Accelerația motorului

3.2 ANALIZA ÎN CAZUL ACȚIONĂRII CU MOTOR ELECTRIC

Modelul fizic acționat cu motor electric cu mărimea de intrare supraacelerație constantă este prezentat în figura 10.

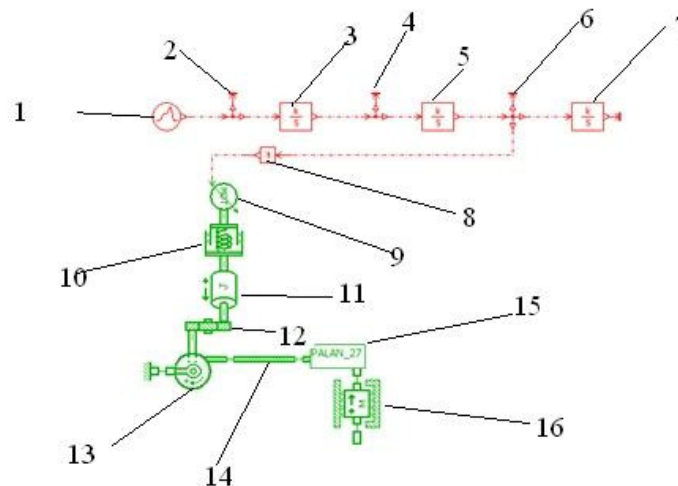


Fig. 10 – Model fizic caz supraacelerație

1 – generator de semnal (mărime de intrare); 2 – osciloscop; 3 – integrator; 4 – osciloscop; 5 – integrator; 6 – osciloscop; 7 – integrator; 8 – amplificator; 9 – motor electric; 10 – cuplaj elastic cu amortizare constant elastică; 11 – volant (moment de inerție a reductorului); 12 – reductor; 13 – tambur; 14 – cablu; 15 – palan; 16 – sarcină

Desfășurarea experimentului (vezi figura 11) se face în aceleași condiții inițiale ca în cazul anterior.

Motorul se pornește la secunda 0, timpul în care se realizează pornirea este de 3 sec. În această perioadă semnalul introdus da/dt are valoarea de 2000 rot/min^3 și este constant 1 sec apoi scade la valoarea 0 pe o perioadă de 1 sec. În perioada de încheiere a ciclului de pornire supraacelerația are valoare negativă până la -2000 rot/min^3 timp de 3 sec, după care revine la valoarea 0 timp de 44 sec. (regim permanent), urmând etapa de frânare care durează 3 sec. Intregul ciclu de desfășurare a experimentului durează 50 sec.

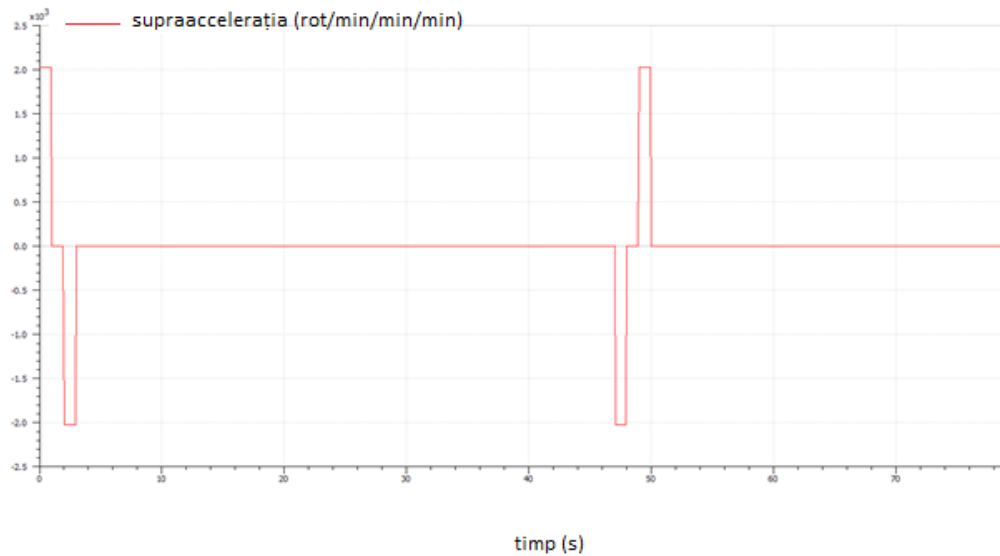


Fig.11 – Variația supraacelerației

Corespunzător semnalului de intrare supraacelerație constantă rezultă variația accelerației și turației conform diagramelor din figurile 12 și 13.

-diagrama de variație a accelerației este prezentată în figura 12

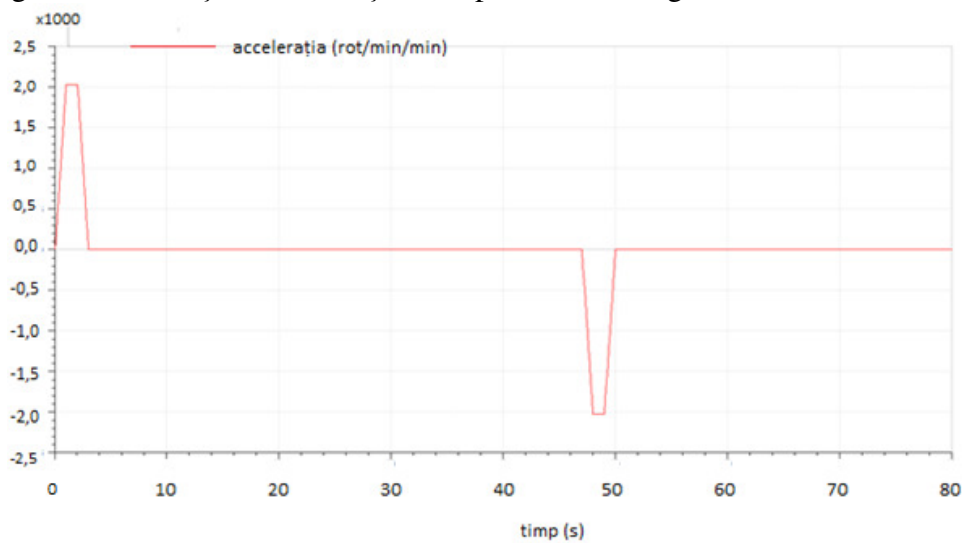


Fig. 12 – Variația accelerației

- diagrama de variație a turației este prezentată în figura 13:

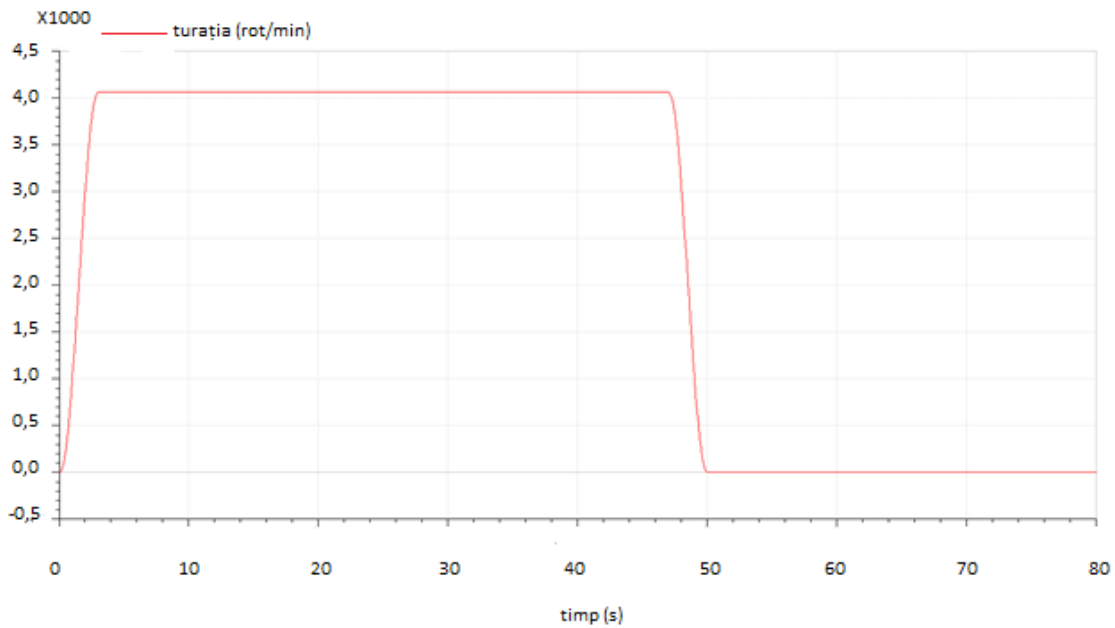


Fig. 13 – Variația turației

In urma desfășurării experimentului virtual rezultă pentru mărimile de ieșire următoarele diagrame de variației a spațiului, vitezei și accelerației sarcinii:

- diagrama de deplasare a sarcinii (spațiul) este prezentată în figura 14:

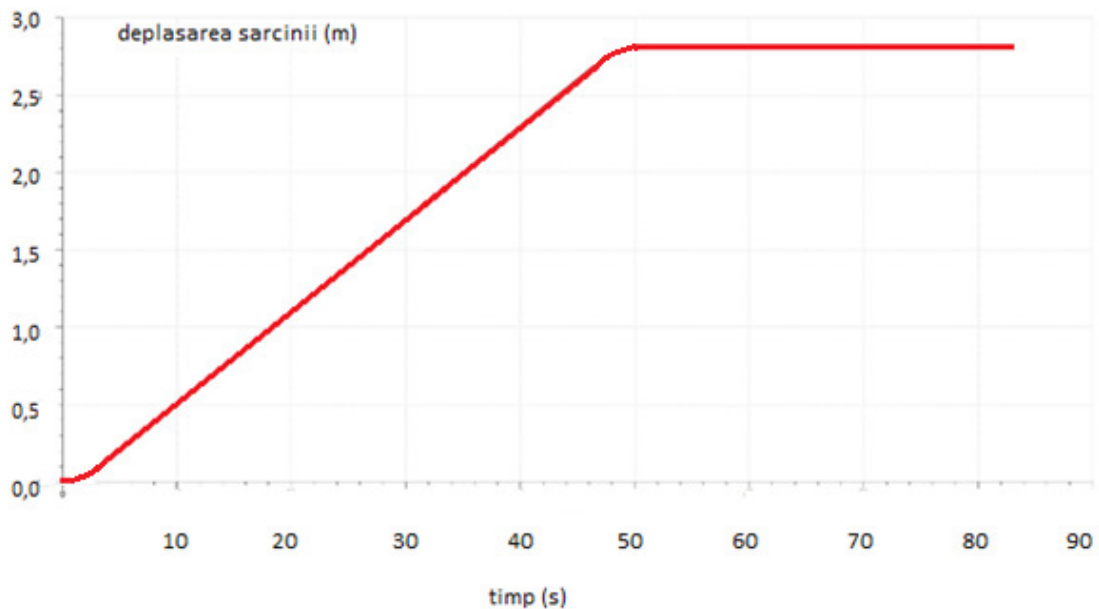


Fig. 14 – Diagrama de deplasare a sarcinii

- diagrama vitezei sarcinii este prezentată în figura 15:

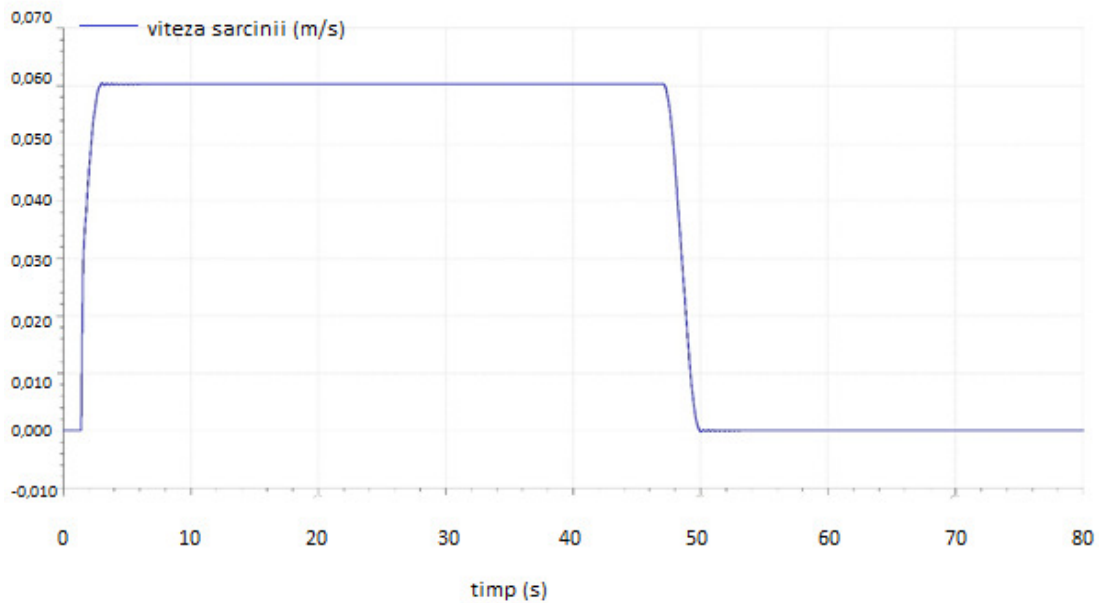


Fig.15 – Diagrama vitezei sarcinii

- diagrama variației accelerației sarcinii este prezentată în figura 16:

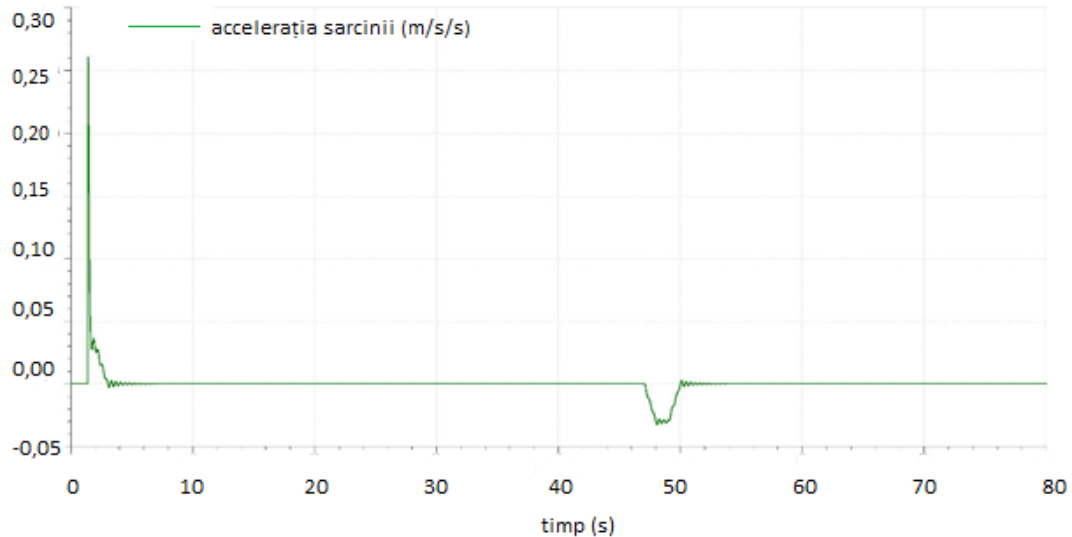


Fig. 16 – Diagrama variației accelerației

4. CONCLUZII

În cazul considerării situației când în timpul tranzitoriu, demaraj și frânare, se ia în considerare ca mărime de intrare derivata superioară a accelerației constantă (supraaccelerație), drept consecință rezultă că accelerația variază liniar iar viteza sarcinii variază după o curbă parabolică, realizându-se în acest mod o diminuare a solicitărilor dinamice din regimurile tranzitorii micșorându-se în acest fel eforturile din elementele componente ale troliilor și

construcției metalice a macaralei, de asemenea, având efect pozitiv privind stabilitatea la răsturnare macaralei, ducând la o creștere semnificativă a fiabilității.

Pentru această situație se compară cele două cazuri de variație a vitezei în perioada de demaraj (fig. 17): 1–viteza sarcinii în cazul acționării trolului cu motor electric și 2–viteza sarcinii în cazul acționării trolului cu motor hidraulic considerând supraacelerația constantă, ca mărime de intrare.

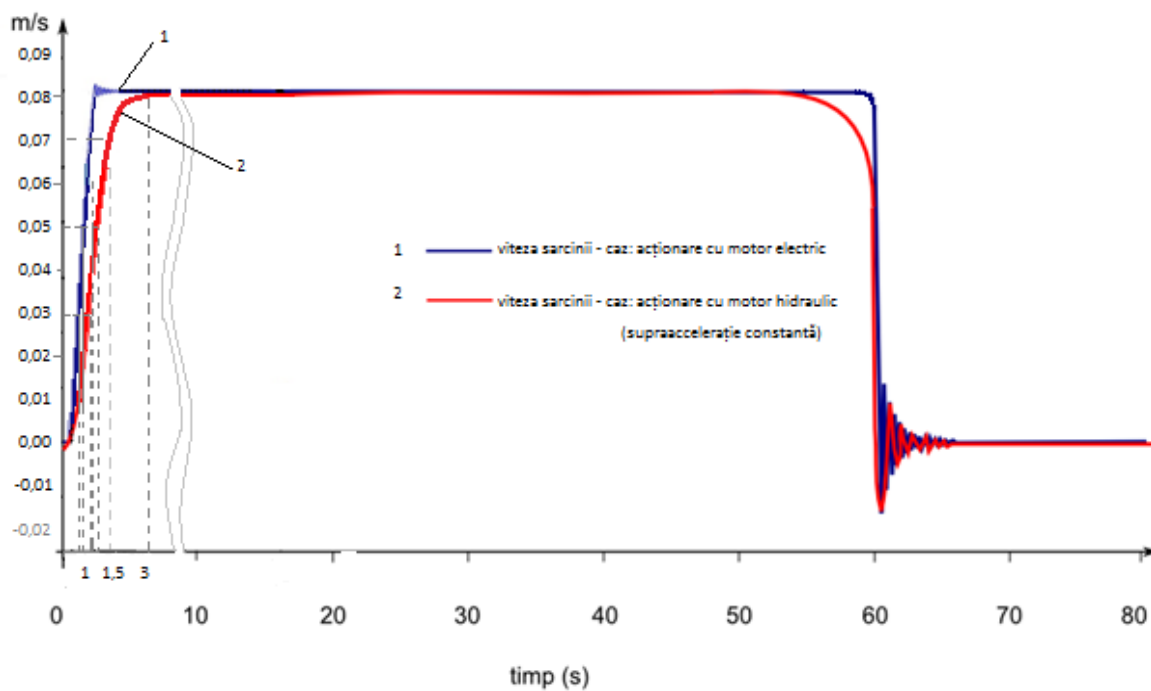


Fig. 17 – Vitezele sarcinii

Analiza demarajului ridicării sarcinii se face pe detaliul reprezentat în figura 18:

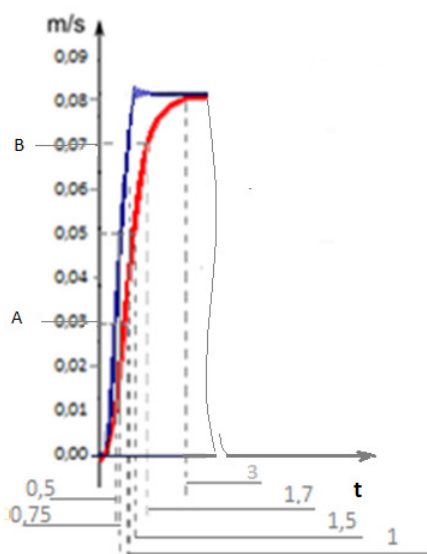


Fig. 18 – detaliu demaraj

Se observă că viteza pentru cazul 1 (motor electric) variază liniar, iar viteza în cazul 2 (motor hidraulic) variază după o parabolă. Considerăm punctele de calcul A și B:

Punctul A reprezintă sfârșitul variației parabolice a vitezei (pentru curba 2 la începutul demarajului), accelerația fiind liniară. Între punctele A și B viteza este liniară, accelerația fiind constantă. Punctul B reprezintă începutul variației parabolice la sfârșitul demarajului, decelerația fiind liniară.

Calculând diferențele de viteze în cele două cazuri, implicit accelerațiile în cele două puncte A și B, se observă că:

În punctul A, aceeași viteză este realizată în timpi diferiți, și anume: pentru curba 1 – timpul este de 0,5 sec iar pentru curba 2 timpul este 1,2 sec. Se obțin accelerațiile corespunzătoare pentru cele două cazuri, și anume $0,06 \text{ m/s}^2$ pentru curba 1 și $0,025 \text{ m/s}^2$ pentru curba 2, rezultând o diminuare a forței de inerție pentru curba 2, de 40 %.

În aceleași condiții, în punctul B, timpii sunt: pentru curba 1 – 0,75 sec iar pentru curba 2 - 1,7 sec. Se obțin accelerațiile corespunzătoare pentru cele două cazuri, și anume $0,0933 \text{ m/s}^2$ pentru curba 1 și $0,0412 \text{ m/s}^2$ pentru curba 2, rezultând o diminuare a forței de inerție pentru curba 2, de 44 %.

Rezultatele obținute în acest caz atestă faptul că impunerea acestei condiții are efecte pozitive pentru obținerea unor performanțe dinamice superioare.

5. BIBLIOGRAFIE

1. **A. Darabonț, I. Iorga, D. Voiteanu, H. Simaschevici** – *Șocuri și vibrații. Aplicații în tehnică*, Editura Tehnică, 1988;
2. **V. Vâlcovici, Șt. Bălan, R. Voinea** – *Mecanică teoretică*, Editura Tehnică, București, 1963.
3. **P. Pătruț, N. Ionel** – *Acționări hidraulice și automatizări*, Editura Nausica, 1998;
4. **A. Oprean, Al. Dorin, S. Medar, s.a.** – *Acționări și automatizări hidraulice*, Editura Tehnică, 1989.