

OPTIMIZAREA DIAGRAMELOR DE MIȘCARE PENTRU SISTEMELE DE ACȚIONARE CU MOTOR PAS CU PAS

Șef lucrări dr. ing. **Ciprian AFANASOV**, Conf.dr.ing. **Mihai RAȚĂ**,
Conf.dr.ing. **Gabriela RAȚĂ**

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

REZUMAT. Determinarea corectă a puterii motorului electric pentru acționarea unui sistem mecanic presupune cunoașterea exactă a diagramelor de mișcare. Diagramele de mișcare au forme foarte variate, acestea depinzând de tipul mașinii de lucru: mecanisme de ridicare și de translație, mașini-unelte, mașini cu mecanisme biela-manivelă etc. Deoarece multe din aceste mecanisme au inerție mecanică mare și utilizează pentru acționare motoare pas cu pas, este necesar un studiu privind posibilitățile de optimizare a diagramelor de mișcare.

Cuvinte cheie: motor pas cu pas, diagrame de mișcare, Matlab Simulink, optimizare.

ABSTRACT. Accurate determination of electric motor power for driving a mechanical system involves knowing the exact motion diagrams. Motion diagrams have various shapes, depending on the type of mechanism they work: lifting and translational mechanisms, machine tools, machines crank etc. Because many of these mechanisms have high mechanical inertia and used for driving stepper motors, it required a study on the possibilities of optimizing motion diagrams.

Keywords: stepper motor, motion diagrams, Matlab Simulink, optimization.

1. INTRODUCERE

Determinarea corectă a puterii motorului electric pentru acționarea unei mașini presupune cunoașterea exactă a diagramelor de mișcare. Adeseori diagramele de mișcare se reprezintă sub formă simplificată, considerând că vitezele variază liniar în timp. În literatura de specialitate se cunosc mai multe tipuri de criterii de optimizare:

- optimizarea graficelor de viteză după criteriul productivității maxime,
- optimizarea graficelor de mișcare după criteriul pierderilor minime în motorul electric de acționare,
- optimizarea diagramelor de mișcare după criteriul efortului electromecanic minim.

În cazul acționării electrice a ascensoarelor sau al tracțiunii electrice, apar adesea senzații neplăcute cauzate de smucituri care se datorează variației bruște a accelerației, respectiv valorii mari a șocului. În cazul transportului de echipamente fragile pot apare de asemenea deteriorări ale acestora, determinate de existența smuciturilor la pornire sau oprire. Apare deci firească necesitatea optimizării diagramelor de mișcare, după criteriul efortului electromecanic minim, astfel încât la începutul și sfârșitul proceselor de pornire și oprire accelerația să varieze cât mai lent și deci șocul să fie cât mai redus.

În practică se utilizează în acest scop trei tipuri de grafice de mișcare la care variația acce-

lerației se face relativ lent pe durata pornirii și opririi:

- grafice cu variație trapezoidală a accelerației,
- grafice cu variație triunghiulară a accelerației,
- grafice cu variație sinusoidală a accelerației.

Considerând graficele de viteză simetrice la pornire și oprire, în cele ce urmează considerațiile ce se vor face se vor referi numai la perioada de pornire, concluziile rămânând valabile și pentru perioada de oprire.

2. GRAFICE DE MIȘCARE CU VARIAȚIE TRAPEZOIDALA A ACCELERAȚIEI LA PORNIRE SI OPRIRE

Pentru a realiza un astfel de grafic de mișcare, se împarte intervalul de pornire t_p în patru părți egale. Pe durata primului și ultimului sfert al timpului de pornire accelerația va crește și respectiv descrește liniar (viteza crescând parabolic), iar pe durata sfertului al doilea și respectiv al treilea accelerația va rămâne constantă (viteza crescând liniar). Rezultă deci un grafic de accelerație trapezoidal atât pe durata pornirii cât și pe durata opririi. Pentru ca productivitatea sistemului de acționare electric să rămână aceeași, se impune ca timpul total de pornire t_p să rămână același atât în cazul variației liniare a vitezei la pornire cât și în cazul variației de viteză după curba parabolică.

Rezultă deci că pe cele trei porțiuni considerate, variațiile vitezei, accelerației și șocului vor fi:

$$- v = K_1 t^2; a = 2K_1 t; s = 2K_1 t, \text{ pentru intervalul}$$

$$0 \leq t \leq \frac{t_p}{4};$$

$$- v = K_2 (t - t_0); a = K_2; s = 0, \text{ pentru intervalul}$$

$$\frac{t_p}{4} \leq t \leq \frac{3t_p}{4};$$

$$- v = v_M - K_1 (t_p - t)^2; a = 2K_1 (t_p - t); s = -2K_1 t,$$

$$\text{pentru intervalul } \frac{3t_p}{4} \leq t \leq t_p,$$

unde, K_1 și K_2 sunt constante ce pot fi determinate din condiții impuse graficului de viteză, iar t_0 este locul unde dreapta CD taie abscisa.

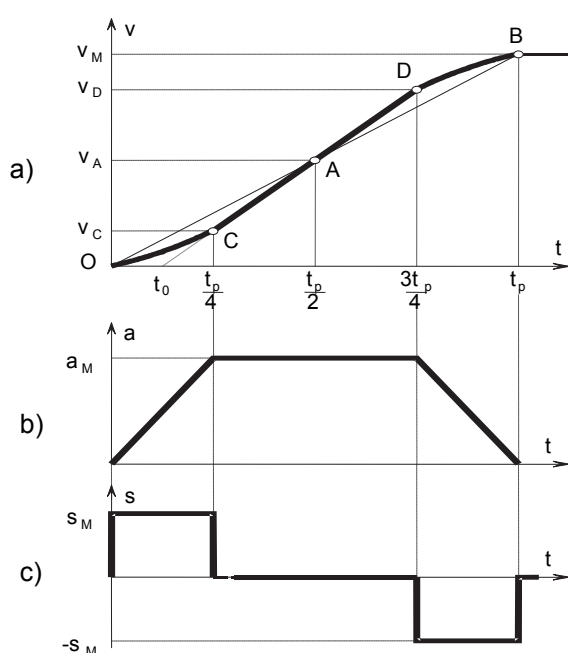


Fig. 1. Grafice de mișcare cu variație trapezoidală a accelerației.

Impunând condiția de continuitate a variației mărimilor în punctele de racord dintre arcele de parabolă și segmentul de dreaptă CD, se pot determina constantele menționate mai sus.

Se observă că la începutul și sfârșitul pornirii, șocurile sunt totuși importante (Δs_M) datorită discontinuității variației accelerației în punctele O, C, D, B.

3. GRAFICE DE MIȘCARE OPTIMIZATE, CU VARIAȚIE SINUSOIDALĂ A ACCELERAȚIEI

Diminuarea efectelor fiziologice neplăcute pe durata pornirii și opririi se pot obține prin utilizarea

unei legi de variație a accelerației variabilă sinusoidal în timp. Pentru a determina un astfel de grafic de viteză se consideră mai întâi șocul variind sinusoidal în timp, cu o perioadă egală cu durata pornirii t_p și având amplitudinea s_M :

$$s = s_M \sin(2\pi \frac{t}{t_p})$$

Se efectuează apoi integrări succesive și se obțin expresiile accelerației, vitezei și spațiului parcurs. Reprezentarea grafică a variației acestor mărimi funcție de timp (fig. 2) pune în evidență faptul că accelerația variază continuu pe toata durata pornirii, șocul este sensibil redus, iar efectele fiziologice neplăcute dispar.

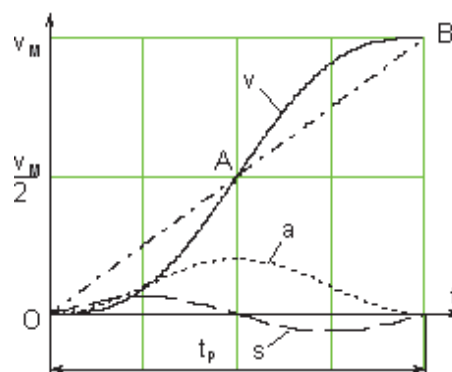


Fig. 2. Grafice de mișcare cu variație sinusoidală a accelerației.

4. STAND EXPERIMENTAL

Standul realizat permite trasarea unor grafice de mișcare după legi impuse de variație în timp a șocului, accelerației, vitezei și spațiului. Constructiv standul are în componență următoarele părți principale:

- ✓ ansamblul motor pas cu pas - mecanism cu deplasare liniară;
- ✓ sursa de tensiune;
- ✓ driver pentru motor pas cu pas;
- ✓ placă de interfațare a impulsurilor de comandă;
- ✓ sistem de măsurare indirectă a șocurilor;
- ✓ calculator.

Controlul motorului pas cu pas se face utilizând mediul de programare MATLAB Simulink. Este cunoscut faptul că MATLAB este un limbaj de performanță înalt având ca scop proiectarea asistată de calculator. MATLAB este și un limbaj de programare și un sistem de dezvoltare ce integrează calculul, vizualizarea și programarea într-un mediu ușor de utilizat.

Schema bloc realizată în Simulink necesară implementării diverselor grafice de mișcare cu șoc impus are în componență următoarele structuri de blocuri:

1. **Blocuri care transformă viteza impusă în pași.** Se utilizează blocuri de tip „constantă” în care

se impun numărul de pași de comandă necesar realizării unei rotații complete a rotorului motorului pas cu pas. Valoarea definită în acest bloc trebuie să coincidă cu starea hardware stabilită pe driver-ul motorului pas cu pas. Pentru o rotație completă a rotorului în timp de o secundă, trebuie generate 400 de pulsuri de comandă. Obținerea unui puls se face prin aplicarea funcției sinus pentru o variabilă care își modifică valoarea cu $2 \times \pi$. Pentru obținerea continuă a impulsurilor de comandă se înmulțește mărimea anterior explicată cu integrala prescrisei de viteză. Viteza prescrisă este transformată din rotații pe minut în rotații pe secundă. Aplicând funcția trigonometrică sinus pe mărimea descrisă anterior se obține în continuare un semnal sinusoidal a cărui frecvență se modifică odată cu modificarea vitezei. Dacă viteza ar fi constantă la o rotație pe secundă vom obține 400 de alternanțe sinusoidale complete în timp de o secundă. Semnalul sinusoidal este transformat în continuare în semnal dreptunghiular scalat pe domeniul 0-1 utilizând un bloc comparator. În continuare acest semnal este transformat în semnal DOUBLE, semnal acceptat de către blocul de ieșire al semnalelor digitale. Semnalul de tip DOUBLE este un semnal ce admite valori de 0 sau 1, unde 0 reprezintă semnal inactiv și 1 semnal activ.

2. Blocuri care convertesc graficul de șoc în prescrisă de viteză. Se utilizează blocuri de tip sursă de semnal variabil în secvență repetitivă “prescrisă de șoc”. În acest bloc se definește graficul de șoc

impus pentru secvența de control a motorului. Pentru a obține din prescrisă de șoc o prescrisă de viteză se utilizează mai multe blocuri de integrare înseriate.

Prima integrare a graficului de șoc conduce la obținerea graficului de accelerație, iar integrarea graficului de accelerație conduce la obținerea graficului de viteză, care în continuare va reprezenta prescrisă de viteză în [rot/min]. Modificarea vitezei se face cu blocul denumit “modificarea turației” care de fapt modifică amplitudinea prescrisei de șoc. Cu ajutorul unui osciloscop se urmăresc formele grafice ale mărimilor de intrare, inclusiv modul în care se modifică spațiul parcurs de rotor în timp descris în radiani pe secundă.

3. Blocuri care impun sensul de rotație. Sensul de rotație se stabilește prin intermediul unui bloc care analizează prescrisă de viteză și o compară cu valoarea 0. Dacă prescrisă de viteză este pozitivă semnalul de ieșire este 1, iar pentru valori negative semnalul de ieșire este 0 logic. Aceste semnale sunt în continuare convertite în semnale de tip DOUBLE și aplicate către blocul de ieșire digital, pe pinul care impune sensul de rotație. Ieșirile digitale care impun direcția, pas și activarea driver-ului sunt generate pe portul paralel al plăcii de bază din PC, pe pinii configurați.

Portul paralel permite generarea a 12 semnale de comandă digitale și acceptă 9 semnale digitale ca și semnale de intrare. Semnalele sunt generate la anumiți pini corespunzător cu legăturile fizice realizate.

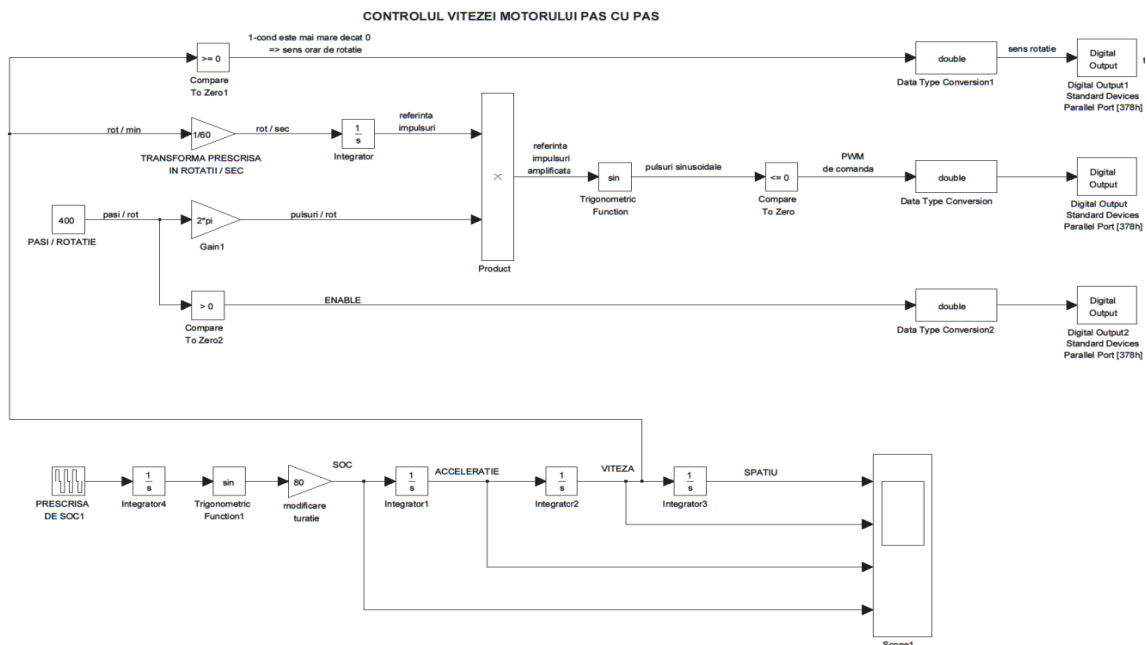


Fig. 3. Schema de control a motorului pas cu pas.

5. DATE EXPERIMENTALE

Se cunoaște faptul că organismele vii și corpurile fragile resimt variația bruscă a șocului. Din acest motiv dorim ca graficul de șoc să aibă variații cât mai mici

fără existența de salturi. Dacă ar exista un salt de tip treaptă al șocului, organismele vii vor resimți puternic șocul.

În figura 4 avem prescris un grafic de șoc de tip treaptă de la valori maxime pozitive la valori

minime negative. Amplitudinea șocului și semnalul acestuia impun graficul de accelerație. Panta ecuației de gradul 1 este impusă de amplitudinea șocului. Graficul de viteză va avea o formă de variație impusă de o ecuație de grad 2, iar cel de spațiu va avea o formă de variație impusă de ecuația de grad 3.

În figura 5 avem prescris un grafic de șoc cu salturi de tip treaptă de la valori maxime pozitive la zero după care de la zero la minime negative. În figura 6 avem prescris un grafic de șoc cu variație sinusoidală. Diminuarea efectelor fiziologice neplăcute pe durata pornirii și opririi se obțin prin utilizarea unei legi de variație a accelerației variabilă tot sinusoidal în timp.

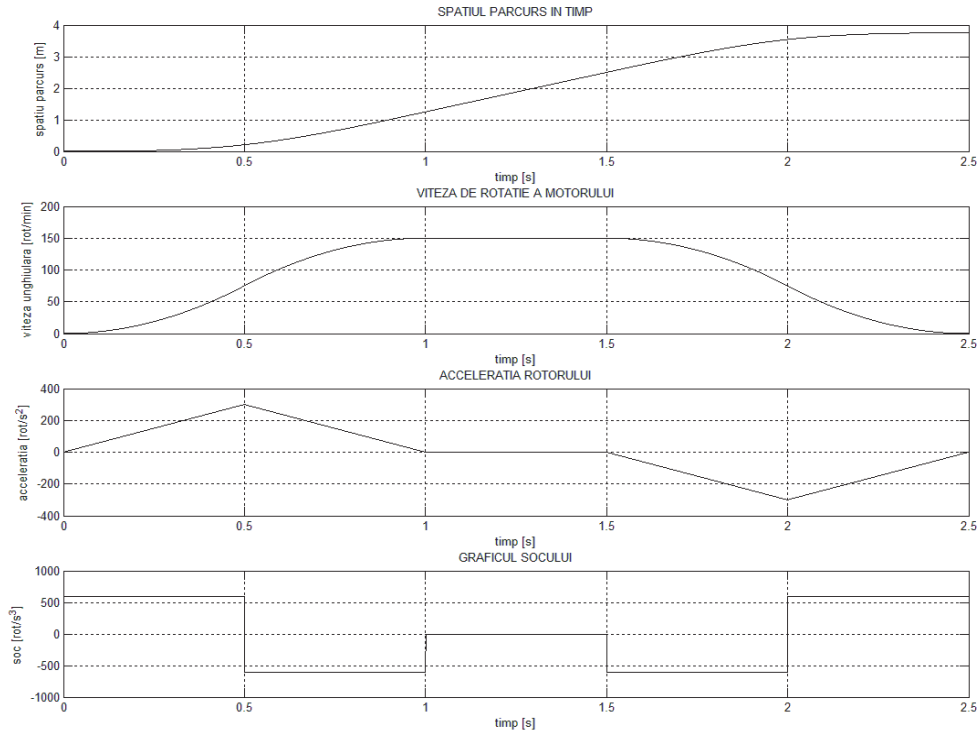


Fig. 4. Grafice de mișcare cu variație triunghiulară a accelerației la pornire și oprire.

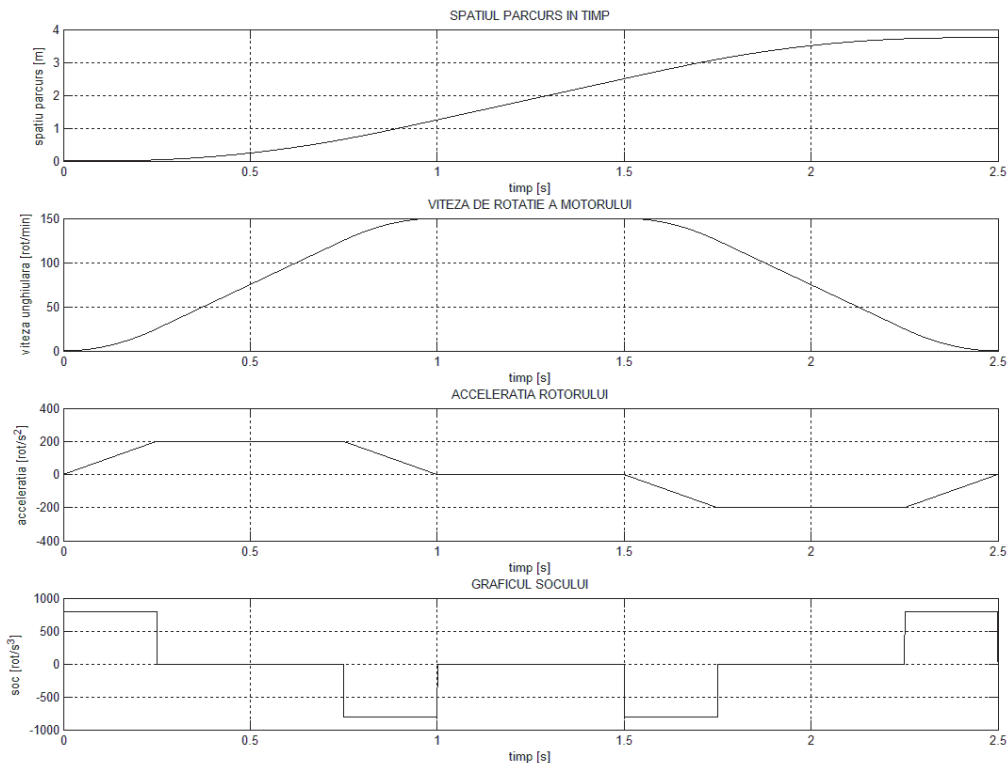


Fig. 5. Grafic de mișcare cu variație trapezoidală a accelerației la pornire și oprire.

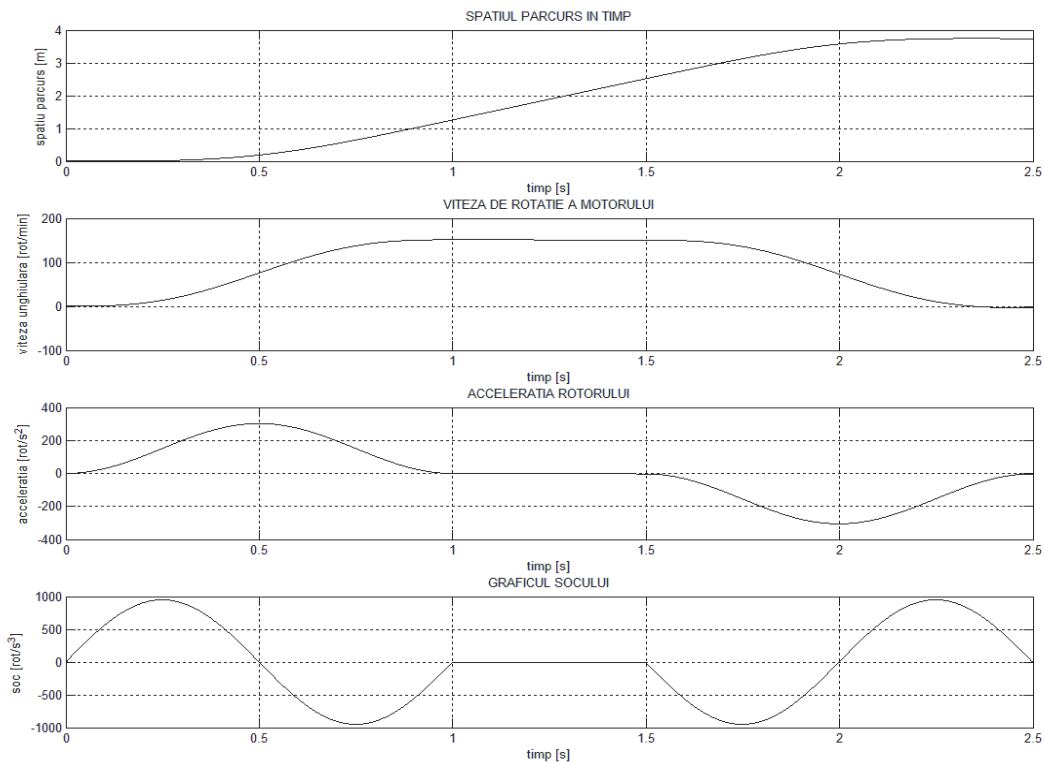


Fig 6. Grafice de mișcare optimizate, cu variație sinusoidală a accelerației

4. CONCLUZII

Ca urmare a implementarii graficelor de mișcare prezentate anterior, în controlul deplasării unui sistem acționat cu motor pas cu pas, s-au obținut prin măsurători informații legate de modul de variație al șocului la pornire și oprire. Informația de interes este amplitudinea acestuia. În figurile 7 și 8 sunt prezentate două forme de undă, una cu amplitudine mare, aferentă unui grafic de mișcare cu accelerație triunghiulară, iar alta cu amplitudine mică, aferentă unui grafic de mișcare cu accelerație sinusoidală. Din analiza comparativă a acestor două forme de undă putem trage concluzia că optimizarea graficelor de mișcare are o influență majoră în micșorarea valorii șocului care apare în sistemele mecanice puse în mișcare.

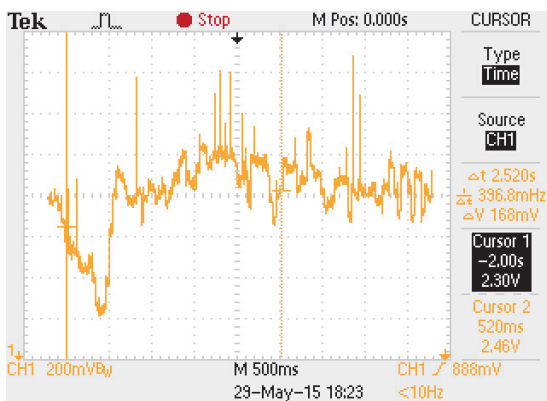


Fig. 7. Oscilații măsurate la pornirea unui sistem mecanic cu implementarea unei forme de variație triunghiulară a accelerației.



Fig. 8. Oscilații măsurate la pornirea unui sistem mecanic cu implementarea unei forme de variație sinusoidală a accelerației.

Mulțumiri

La această lucrare, infrastructura a fost parțial susținută de proiectul POSCCE „Centru integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme distribuite de fabricație și control”, Contract Nr. 671/09.04.2015, Programul Operațional Sectorial Creșterea Competitivității Economice co-finanțat prin Fondul European de Dezvoltare Regională.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Popovici, D., *Comanda Numerică a Acțiunilor Electrice*, Editura Politehnică, Timisoara, (2002).
- [2] I. E. Jianu, D. Popovici, *Control and Monitoring of a Stepper Motor through a Local Area Network*, Advances in Electrical and Computer Engineering, vol.7, no.2, pp.33-36, 2007, doi:10.4316/AECE.2007.02008.

Despre autori

Ș.l.dr.ing. **Ciprian AFANASOV**

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

email: aciprian@eed.usv.ro

Absolvent al Universității „Ștefan cel Mare” din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor – 2007; doctor inginer din anul 2010; în prezent cadru didactic la Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor. Domenii de competență: acționări electrice, automate programabile, comanda numerică a sistemelor de acționare electrică.

Conf.dr.ing. **Mihai RAȚĂ**

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

email: mihair@eed.usv.ro

Absolvent al Universității Tehnice Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Electrotehnică – 1995; doctor inginer din anul 2004; în prezent cadru didactic la Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor. Domenii de competență: convertoare statice, automate programabile, comanda numerică a sistemelor de acționare electrică.

Conf.dr.ing. **Gabriela RAȚĂ**

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

email: gabrielar@eed.usv.ro

Absolventă a Universității Tehnice Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Electrotehnică – 1995; doctor inginer din anul 2004; în prezent cadru didactic la Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor. Domenii de competență: măsurări electrice, senzori și traductoare și calitatea energiei electrice.