

# SOLUȚIE PENTRU STUDIUL PRECIZIEI DE POZIȚIONARE A UNUI MOTOR PAS CU PAS

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

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

**REZUMAT.** În domeniul automatizărilor industriale motorul pas cu pas este utilizat frecvent în aplicațiile de poziționare fără traductor de poziție. Totuși, sunt situații când motorul pas cu pas nu realizează toți pașii, din acest motiv fiind necesar studiul preciziei de poziționare a motorului pas cu pas și a cauzelor pentru care această precizie scade.

**Cuvinte cheie:** motor pas cu pas, traductor incremental, automat programabil, automatizări.

**ABSTRACT.** In industrial automation, the stepper motor is commonly used in positioning applications without position transducer. However, there are situations when the stepper motor does not realize all the steps, it is therefore necessary to study the positioning accuracy of the stepper motor and the causes for this precision decreases.

**Keywords:** stepper motor, encoder, PLC, automation.

## 1. INTRODUCERE

Motorul pas cu pas este un dispozitiv electro-mecanic care realizează o conversie a impulsurilor electrice aplicate fazelor motorului într-o mișcare de rotație. Aceasta mișcare este formată din deplasări unghiulare discrete de mărime egală, care reprezintă pașii motorului. La o funcționare normală a motorului avem:

- numărul pașilor realizați de rotorul motorului este egal cu numărul de impulsuri de comandă aplicate fazelor motorului;
- sensul de rotație al motorului este stabilit de secvența în care sunt aplicate impulsurile de comandă;
- viteza de rotație a motorului este direct proporțională cu frecvența impulsurilor de comandă.

În ultima vreme, motoarele pas cu pas sunt utilizate din ce în ce mai mult în industrie pentru reglarea poziției în sistemele de acționare electrică, deoarece nu mai este necesară utilizarea unui traductor de poziție.

Motorul pas cu pas, comparativ cu alte tipuri de motoare electrice (de curent continuu sau de curent alternativ: asincrone și sincrone), are o serie de avantaje cum ar fi:

- eorare mică la poziționare (aproximativ 3-5% la un pas) care nu se cumulează de la un pas la altul;
- deplasarea unghiulară a motorului pas cu pas este proporțională cu pulsul de comandă;
- motorul dezvoltă cuplu maxim în poziția de STOP dacă bobinele sunt alimentate;
- răspunsuri excelente la regimuri pornit, oprit, sau la schimbarea sensului de rotație;

- întrucât nu are perii, acest motor are fiabilitate ridicată. Durata de funcționare este practic influențată de calitatea lagărelor;

- motorul poate dezvolta un cuplu ridicat la arbore la viteze unghiulare foarte mici, deci sarcina poate fi cuplată direct la arborele motorului fără a mai fi nevoie de reductor mecanic de viteză;

- plaja mare de reglare a vitezei de rotație [1]-[3].

Apar însă situații când motorul realizează un număr de deplasări unghiulare diferit de numărul pulsurilor de comandă, cum ar fi:

- șoc mare la arborele motorului pas cu pas, care poate să apară în regimurile foarte rapide de pornire și oprire cu sarcină mare la arbore;
- depășirea vitezei maxime suportată de motor.

## 2. SOLUȚIA PROPUȘĂ

Soluția propusă în această lucrare (cu schema bloc prezentată în figura 1.a) este destinată cu precădere studenților de la inginerie electrică sau ingineria sistemelor și a fost realizată cu două destinații:

- de a oferi studenților un stand care să simuleze cât mai mult un echipament industrial real și la care aceștia să facă o automatizare printr-o aplicație software cu care să programeze un automat programabil;

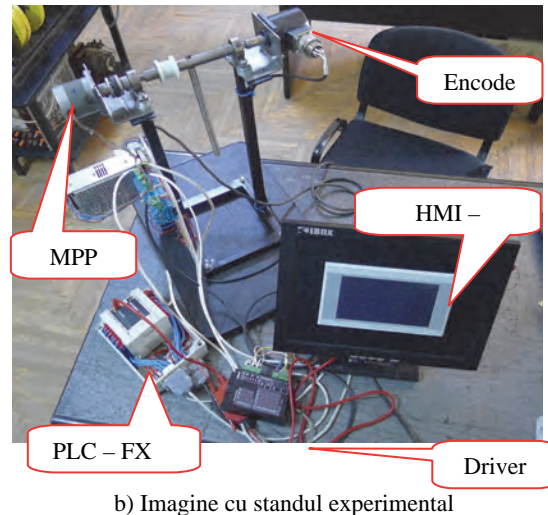
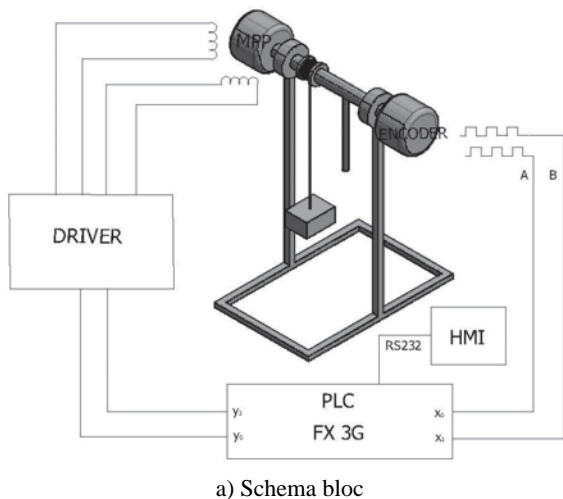
- de a oferi studenților un stand care să le permită studiul preciziei cu care un motor pas cu pas realizează o poziționare la diverse valori ale cuplului rezistent la arbore, vitezei de rotație, timpului de accelerare și decelerare, numărului de pași pe care motorul trebuie să-i facă, etc. În plus, automatul programabil calculează atât eroarea relativă cu care

face poziționarea cât și diferența dintre numărul de impulsuri generate și numărul real de pași pe care motorul pas cu pas îi face (prin numărarea impulsurilor de la encoder).

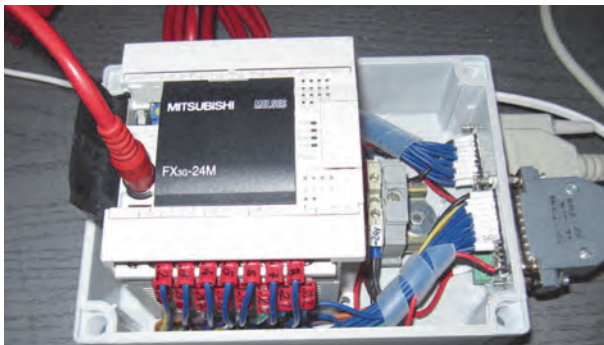
Standul experimental (fig.1.b) conține următoarele elemente principale:

- automat programabil (PLC) de la Mitsubishi Electric de tip FX-3G;

- interfață om-mașină (PLC-HMI) de la Eaton de tip XV102;
- driver pentru motor pas cu pas de tip 2M542;
- traductor de poziție unghiulară de tip incremental (encoder) cu rezoluție mare (2000 imp/rot);
- motor pas cu pas (1,8 Deg/Step – 200 pași/rotație)
- cadru metalic.



**Fig. 1.** Soluția propusă.



**Fig. 2.** Automatul programabil FX-3G

Pe cadrul metalic este fixat un ax prin intermediul unor lagăre. La unul din capetele axului este cuplat elastic motorul pas cu pas, iar la celălalt capăt este cuplat elastic traductorul. Pe ax este fixată și o fulie prin intermediul căreia se poate ridica/coboară o piesă cu ajutorul unui cablu și, suplimentar, se mai poate monta o tijă perpendiculară pe ax.

Motorul pas cu pas este comandat cu ajutorul automatului programabil FX-3G de la Mitsubishi Electric. A fost ales acest automat din următoarele considerente: are un preț de cost relativ scăzut, are ieșiri rapide dedicate pentru controlul poziției pe două axe și blocuri funcționale dedicate pentru controlul poziției, ceea ce face o programare mai simplă a acestuia. Pentru a utiliza automatul programabil la mai multe standuri experimentale, acesta a fost montat într-o cutie de plastic, iar conectarea cu standurile se poate face prin intermediul a doi conectori tip D-SUB

de 25 pini. Astfel se permite o interfațare extrem de simplă și rapidă a automatului cu orice stand din laborator. Prin urmare, studenții pierd foarte puțin timp pentru a realiza conexiunile la standul pe care-l studiază. Programarea automatului se face utilizând mediul de programare Melsoft, iar ca limbaj de programare cel mai folosit este digrama scară (Ladder diagram). Pentru aplicații de poziționare, comanda motorului pas cu pas se face prin intermediul blocurilor funcționale dedicate, iar în soluția prezentată în acest articol s-a utilizat *PositioningFX3UAx1* [4], [5]. Blocul funcțional generează direct semnale de comandă de tip „pas” (la ieșirea Y0) și „direcție” (la ieșirea Y3) care, prin intermediul driverului 2M542, sunt formate în pulsuri electrice de comandă pentru înfășurările motorului pas cu pas. Aceste ieșiri sunt dedicate pentru astfel de aplicații, prin urmare sunt ieșiri rapide (frecvența maximă acceptată este de 100 kHz). În plus, automatul programabil are un numărator intern bidirecțional în care sunt numărate impulsurile de comandă în sens crescător, sau descrescător în funcție de valoarea ieșirii „direcție”. Valoarea număratorului poate fi citită în orice moment la adresa M8340 [6].

La acest bloc funcțional se pot stabili următorii parametri:

- enable/disable bloc funcțional (ServoReady);
- viteza maximă pentru motorul pas cu pas (MaxSpeed);
- viteza cu care motorul execută poziționarea (CmdSpeed);

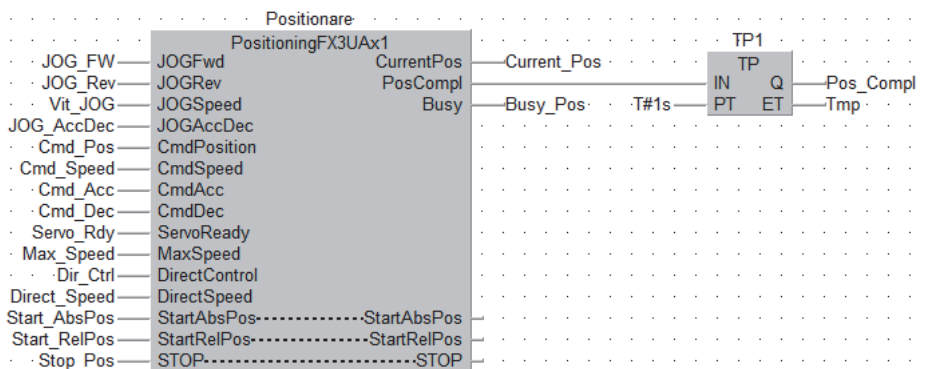


Fig. 3. Exemplu de programare



Fig. 4. HMI/PLC cu ecran tactil XV-102

- poziția prescrisă (CmdPosition). Dacă se trimite comanda StartAbsPos motorul execută o poziționare absolută la poziția prescrisă, iar împreună cu comanda StartRelPos motorul execută o poziționare relativă cu poziția prescrisă. În funcție de poziția curentă a motorului și poziția prescrisă, automatul identifică și sensul în care trebuie să se rotească motorul;

- mișcare motor în sens direct/invers cu viteza de JOG stabilită prin parametrul JOGSpeed;
- timp de accelerare și decelerare (CmdAcc, respectiv CmdDec);
- comandă de stop (STOP).

Pentru a verifica precizia cu care motorul pas cu pas realizează o poziționare, este necesară numărarea pașilor pe care acesta îi realizează fizic. Pentru aceasta se utilizează un traductor incremental cu o rezoluție ridicată (2000 imp/rotație). Numărarea acestor impulsuri este posibilă doar dacă automatul programabil are contoare hardware. Acest automat programabil are contoare rapide configurabile pentru intrările X00-X007 (ce permit numărarea impulsurilor cu o frecvență maximă de 60 kHz). În cadrul aplicației s-au utilizat intrările X000 și X001 pentru semnalele A și B de la traductor. Numărătorul intern este bidirecțional și are capacitatea de 32 biți. Sensul în care se face numărarea este detectat automat din analiza impulsurilor A și B de la traductor. Numărul impulsurilor numărate de la traductor sunt la adresa C254 [7].

Pentru o parametrizare mai simplă a aplicației se utilizează un panou operator cu ecran tactil de tip XV102 de la Eaton (fig. 4) ce are funcție dublă de HMI (interfață om-mașină) și PLC (automat programabil),

însă în aplicația prezentată în acest articol se utilizează doar funcția de HMI.

Panoul operator comunică cu automatul programabil FX-3G prin intermediul protocolului de comunicație serială RS232 [8].

În figura 5 este ilustrată o captură de ecran de pe HMI. Configurarea ecranului HMI-ului a fost realizată pentru a permite cât mai ușor parametrizarea aplicației realizate. În plus, pe ecran sunt afișate: poziția curentă (numărul de impulsuri generate de automatul programabil), poziția reală (numărul de impulsuri numărate de la traductor), diferența dintre poziția curentă și poziția reală și eroarea relativă calculată în procente.

### 3. DATE EXPERIMENTALE

Datele experimentale preluate de pe sistemul realizat se pot prelua în diferite cazuri cum ar fi:

- cuplu mecanic la arbore constant asigurat atunci când se ridică sau coboară o greutate legată cu un cablu de funie, respectiv cuplu mecanic la arbore variabil atunci când pe ax este fixată o tijă în poziție perpendiculară față de ax;
- pentru diferite valori ale vitezei motorului pas cu pas;
- diferite valori pentru timpul de accelerație și/sau decelerație.

Pentru fiecare caz în parte s-au realizat câte 10 încercări pentru fiecare parametrizare a sistemului, s-a impus ca motorul să realizeze o deplasare relativă cu câte 2000 de pași (o dată în sens direct de

## SOLUȚIE PENTRU STUDIUL PRECIZIEI DE POZIȚIONARE A UNUI MOTOR PAS CU PAS

rotație, apoi în sens invers) și s-a notat eroarea relativă de poziționare.

În figura 6 se ilustrează rezultatele experimentale obținute pentru o sarcină variabilă la diferite valori ale timpilor de accelerație și decelerație.

Figura 7 ilustrează comparativ datele experimentale obținute pentru o sarcină constantă la arborele motorului (fig.7.a), respectiv pentru o sarcină variabilă la

arborele motorului, cu aceleași valori ale timpilor de accelerație și decelerație (0 ms). Se poate remarca faptul că pentru sarcina constantă motorul are precizie de poziționare foarte bună chiar la viteze mari de rotație. Pentru o sarcină variabilă la arborele motorului, precizia de poziționare scade și atunci se impune creșterea timpilor de accelerație și decelerație pentru a se crește această precizie (fig. 6).



Fig. 5. Captură de ecran de pe HMI.

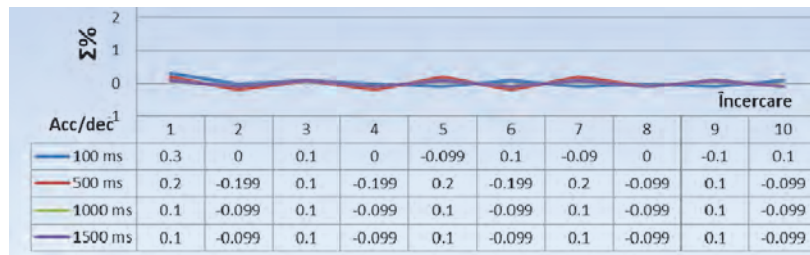
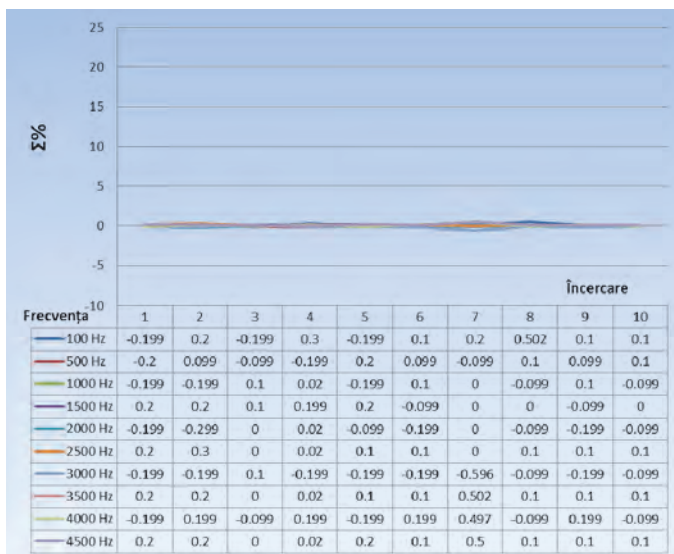


Fig. 6. Rezultate experimentale pentru sarcină variabilă



a) Sarcină constantă



b) Sarcină variabilă

Fig. 7. Rezultate experimentale pentru diferite valori ale frecvenței impulsurilor de comandă.



## 4. CONCLUZII

În cadrul acestei lucrări autorii propun o soluție pentru studiul preciziei cu care se face o poziționare cu motor pas cu pas. Aceasta este destinată aplicațiilor de laborator cu studenți de la domeniile de studii inginerie electrică sau ingineria sistemelor.

Standul are mai multe beneficii cum ar fi:

- simulează în mare măsură un echipament industrial real comandat de un automat programabil;
- furnizează studenților posibilitatea de a realiza o aplicație software cu care să programeze automatul programabil prin care acesta să realizeze o poziționare cu motor pas cu pas;
- permite studiul preciziei cu care un motor pas cu pas face poziționarea la diferite tipuri de sarcină la arborele motorului (constantă sau variabilă), la diferite valori ale vitezei motorului și la diferite valori ale timpilor de accelerare și/sau decelerare, etc.

## Mulțumiri

La această lucrare, infrastructura a fost partial 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 cofinanțat prin Fondul European de Dezvoltare Regională.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Popovici, D., *Comanda Numerică a Acționărilor Electrice*, Editura Politehnica, 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.
- [3] Baluta, G., Graur, A., Pentiuc, R., Diaconescu, C., Popa, C., *FEM Analysis of Brushless DC Servomotor with Fractional Number of Slots per Pole*, Advances in Electrical and Computer Engineering, vol.14, no.1, pp.103-108, 2014, doi:10.4316/AECE.2014.01016.
- [4] Rață, M., Graur, A., Mandici, L., Rață, G., *A Solution to Study Different Homing Methods Using a PLC*, Analele Universității Eftimie Murgu, Resita, ISSN: 14537397, nr: 2, pp. 367374, 2014.
- [5] Rață, M., Rață, G., *Application with a XY-plotter controlled by PLC used in student laboratory works*, 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2015, pp 117-120, Editor IEEE, 10.1109/ATEE.2015.7133684
- [6] \*\*\* FX3G, Positioning Control Edition - user's manual, Mitsubishi Electric, <http://www.meau.com/eprise/main/sites/public/Products/Programmable Logic Controllers/FX3G/default>
- [7] \*\*\* FX3G, Hardware - user's manual, Mitsubishi Electric, [http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc\\_fx/jy997d31301/jy997d31301k.pdf](http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc_fx/jy997d31301/jy997d31301k.pdf)
- [8] \*\*\* HMI/PLC with touch display XV-102, Eaton, <http://www.eaton.eu/Europe/Electrical/ProductsServices/AutomationControl/AutomationControlVisualization/TouchPanelHMIPLC/XV-102/index.htm>

## Despre autori

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.

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.