

Analizator dinamičnega obnašanja koračnih motorjev

Milan ČURKOVIČ, Aleš HACE

Izvleček: Prikazani analizator dinamike koračnih motorjev omogoča meritev nekaj tipičnih karakteristik koračnih motorjev, kot so odziv na stopnico, statična točnost položaja, točnost mikrokoraka in dinamična točnost položaja. Analizator lahko uporabljamo tako v razvoju izdelkov s koračnimi motorji kot tudi v sami proizvodnji koračnih motorjev.

Ključne besede: meritev hitrosti in položaja, koračni motor, inkrementalni dajalnik,

■ 1 Uvod

Trend vse kompleksnejših izdelkov ob hkrati vedno nižjih cenah postavlja vedno višje zahteve pri izbiri in načrtovanju električnih pogonskih elementov. Bistveno vlogo igra tudi cena proizvodnje, umerjanja in tudi vzdrževanja električnega pogona. Sodobne metode načrtovanja sistemov zahtevajo natančno poznavanje karakteristik električnih pogonov, saj se testiranja in usklajevanja začnejo že s pomočjo simulacije, torej še preden je izdelek sestavljen. Cenenost izdelkov izključuje predimenzioniranje, kar pomeni manjšo rezervo tako v fazi razvoja mehatronskih sklopov kot tudi proizvodnje in servisiranja. Posebno težo imajo karakteristike tudi pri marketingu – objava karakteristik motorja in s tem pridobivanje novih kupcev. Dinamične meritve električnih pogonov s koračnimi motorji lahko delimo na meritve samega motorja in meritve njegovega krmilnika. Dinamično opisujejo pogon naslednji parametri: odziv na korak, natančnost mikrokoraka, resonanca, dinamična točnost koraka in

Milan Čurkovič, univ. dipl. inž., doc. dr. Aleš Hace, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

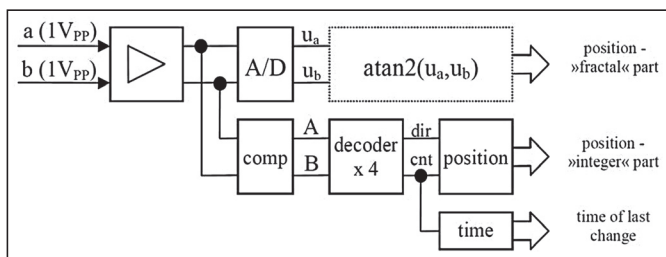
preskakovanje. Pri našem delu smo sodelovali z Iskra Mehanizmi, d. d., Lipnica, ki proizvaja predvsem motorje za avtomobilsko industrijo. Ker gre za motorje majhnih moči, so ti večinoma dvofazni. Testiranje je potekalo predvsem na njihovih majhnih koračnih motorjih s trajnimi magneti – KPM25T48 (22 mNm, 0,85 gcm², 48 korakov). Zaradi majhnih mehanskih časovnih konstant motorja (frekvenca dušenega nihanja ob izvedbi koraka je bila 2 kHz pri 800 mA na obeh fazah z inkrementalnim dajalnikom Scancon 2MCH) so postavljene visoke zahteve pri izvedbi merilne opreme – predvsem pri meritvi hitrosti motorja. V prispevku sta predstavljena način in oprema za zajemanje podatkov, analiza podatkov ter nekaj karakterističnih meritev za koračne motorje.

■ 2 Zajemanje podatkov

Za zajemanje podatkov in vodenje krmilnika koračnega motorja smo uporabili razvojni sistem DSP2 [7] in dodatno merilno kartico. Sistem je preko USB-vmesnika povezan z osebnim računalnikom, preko LIN-vodila pa s krmilnikom koračnih motorjev TMC211 [8, 9]. LIN-vodilo je standardizirano in se uporablja predvsem v avtomobilski industriji za priklop več pogonov na eno krmilno napravo.

■ 2.1 Meritev položaja in hitrosti

Inkrementalni dajalnik omogoča natančno meritev položaja gredi motorja. V osnovi proizvaja dvofazni sinusni signal, ki ga z linijskimi gonilniki pretvorimo v po dva profazna pravokotna signala. Pretvorba omogoča zanesljivejši prenos signalov v okolju z veliko motnjami in na večje razdalje ter lažjo obdelavo sprejetih signalov. Pri tem pa se izgubi možnost uporabe analognih signalov za interpolacijo položaja med dvema pulzoma – povečanje resolucije merilnika. Ključna za dobro delovanje analizatorja je meritev položaja in hitrosti s pomočjo inkrementalnega dajalnika. Uporabljena je tako imenovana MT-metoda, ki v trenutku tipanja upošteva tudi dejanski čas prihoda pulza iz inkrementalnega dajalnika. Ta metoda omogoča natančno merjenje tudi majhnih hitrosti v razredu okrog enega pulza na merilni interval. Uporabili smo jo pri preizkusu s koračnim motorjem KPM25T48 in SCANCON 2MCH. Če uporabljeni inkrementalni dajalnik omogoča dostop do sinusnih signalov, lahko uporabimo tako imenovano AB-metodo (slika 1). Tukaj z obdelavo amplitude izhodnih signalov inkrementalnega dajalnika izmerimo tudi položaj med dvema pulzoma inkrementalnega dajalnika.

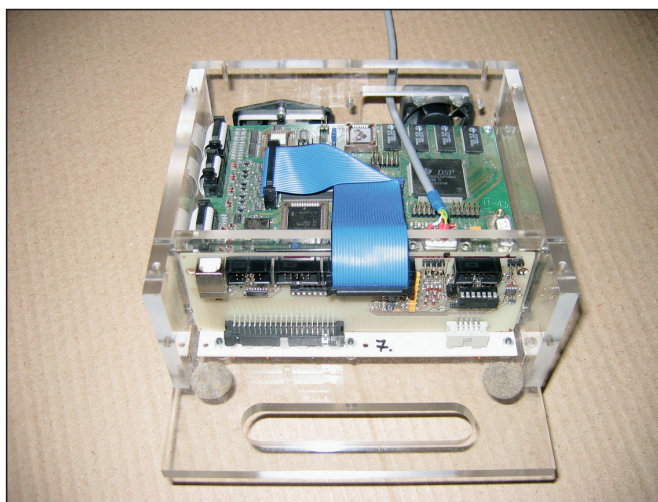


Slika 1. Shema merilnika položaja in hitrosti

2.2 Strojna oprema za zajem podatkov

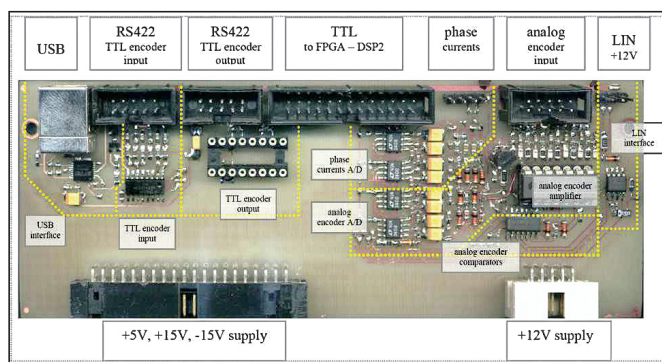
Prototip merilnika je zgrajen na razvojnem sistemu DSP2 z dodatno merilno kartico.

- Osnovne karakteristike naprave so:
- signalni procesor TMS320C32,
 - vmesnik za 105 tisoč 32-bitnih spremenljivk,
 - merilni interval 10 μ s do 250 μ s,
 - prenos zajetih podatkov v tekstovno datoteko na osebnem računalniku preko USB-vmesnika s hitrostjo 921 kBd,
 - LIN-vmesnik za povezavo s krmilnikom koračnega motorja,
 - vhod za inkrementalni dajalnik s pravokotnimi signali (RS422),
 - vhod za inkrementalni dajalnik z analognimi sinusnimi signali (dva 12-bitna AD pretvornika),
 - sočasna meritev obeh faznih tokov motorja z dvema 12-bitnima AD pretvornikoma.



Slika 2. Sistem DSP2 z dodatno merilno kartico

Nasliki 2 je sistem DSP2 z dodatno merilno kartico. Slika 3 pa predstavlja dodatno merilno-komunikacijsko kartico, razdeljeno na posamezne bloke.



Slika 3. Merilna kartica

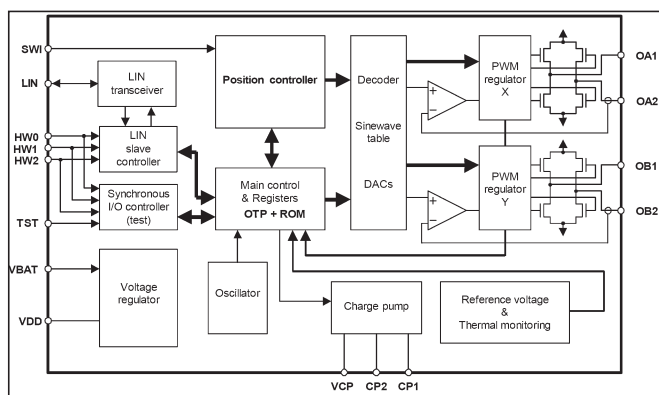
2.3 Krmilnik koračnih motorjev TMC 211

Koračni motorji zaradi enostavnosti vodenja vse bolj prodirajo tudi na področje avtomobilskih aplikacij. Uporaba sodobnih reduktorjev in vgrajeni krmilnik omogočata enostavno uporabo in predvidljivost elektromagnetnih motenj. Slabosti koračnih motorjev – glasnost in valovitost navora – pa odpravljamo z uporabo mikrokorakov.

“TMC 211 – Micro Stepping Stepper Motor Controller/Driver with LIN in-

terface” firme TRINAMIC [8] je namensko integrirano vezje za priklop koračnega motorja na LIN-vodilo. Vezje vsebuje vse potrebne enote za krmiljenje koračnega motorja. Slika 4 prikazuje poenostavljeno blokovno shemo integriranega vezja, slika 5 pa tipično aplikativno vezje. Osnovne značilnosti vezja so naslednje:

- nadzoruje en koračni motor, vključno z mikrokoraki do 1/16,
- nastavljiv tok navitja do 800 mA,
- napajalna napetost 8 do 29 V,
- stalna frekvenca tokovnega regulatorja PŠM,

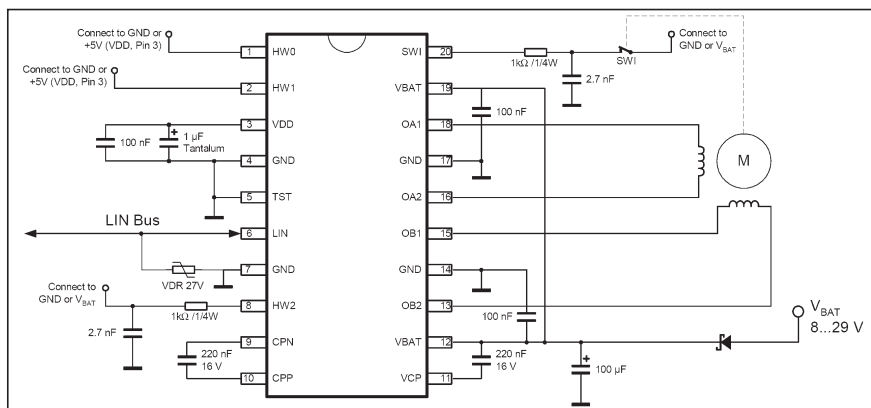


Slika 4. Blokovna shema TMC 211 – TRINAMIC [9]

- hitrosti do 1000 polnih korakov na sekundo,
- različne zaščite in diagnostika,
- vgrajeni generator rampe za nadzorovane hitrostne profile,
- LIN-vmesnik.

2.4 Merilni sistem

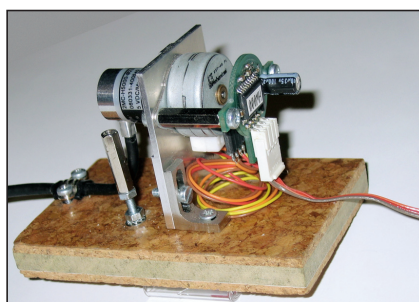
Za preizkus merilne naprave smo zgradili dva sistema. Oba vsebujeta enaka motorja KPM25T48, razlikujeta pa se pri uporabljenem inkrementalnem dajalniku. V nadaljevanju bodo prikazani rezultati za oba sistema. Sliki 6 in 7 predstavljata kombinacijo motorja in inkrementalnega dajalnika s pravokotnimi signali (SCANCON - 2MCH). Odlika tega inkrementalnega dajalnika sta majhen skupni vztrajnostni moment (sklopka je sestavni del dajalnika) in dokaj visoka ločljivost – 5000 črtic na obrat. Slika 10 kaže primerjavo vztrajnostnih momentov motorja, dajalnika, sklopke in kompletnih sistemov.



Slika 5. Aplikacija TMC 211 – TRINAMIC [9]

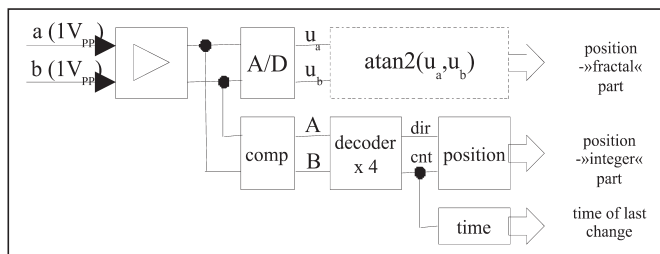
opisom prenesejo v datoteko na oseb- nem računalniku. Glede na izbiro upo- rabnika se v datoteko zapisujejo nasle- dnje kombinacije podatkov:

- čas, položaj,
 - čas, položaj, tok 1, tok 2,
 - čas, položaj, ua, ub,
 - čas, položaj, ua, ub, tok 1, tok 2.
- Pri tem se čas meri s taktom 15 MHz (67 ns), resolucija položaja je število črtic, množeno s štiri, tok 1 in tok 2 sta tokova obeh faz motorja, ua in ub pa sta trenutni vrednosti sinusnih napeto- sti inkrementalnega dajalnika.

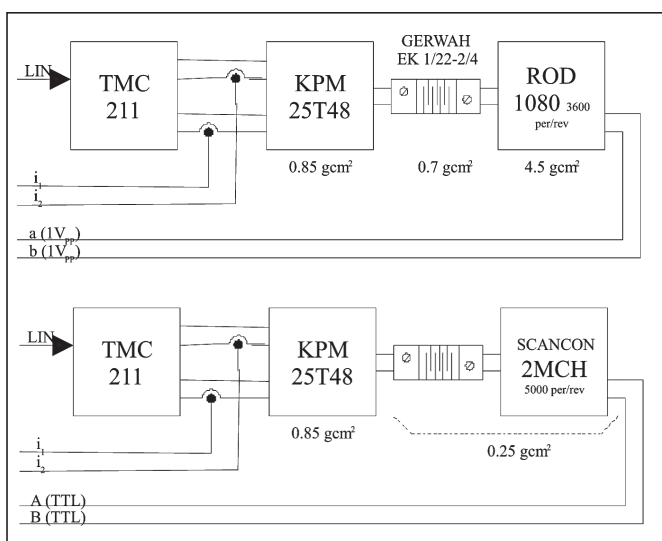


Slika 6. KPM25T48 + SCANCON 2MCH

Slika 8 in 9 prikazuje inkrementalni dajalnik s sinusnimi signali. Osnovna ločljivost – 3600 črtic – je nekoliko nižja, vendar sinusni signali omogo- čajo interpola- cijo in s tem povečanje ločljivosti.



Slika 9. Shema KPM25T48 + ROD1080



Slika 7. Shema KPM25T48 + SCANCON

2.5 Opis za- jetih podatkov

Uporabniški vmes- nik na merilniku omogoča izbiro dolžine zapisa in spremenljivk, ki se zapisujejo. Ob tem lahko izbere- mo tudi parame- tre za TMC 211 – krmilnik koračnega motorja. Po zaključnem zajemu z izbran- im intervalom zapisovanja se podatki skupaj z

■ 3 Analiza podatkov

Analiza podatkov in izdelava poročil poteka na oseb- nem računalniku s pomočjo programskega paketa Mat- lab in ustreznih komandnih datotek (m datoteke). Program obdela zapi- sane podatke in tvori poročila, opi- sana v naslednjem poglavju.

■ 4 Meritve koračnih motorjev

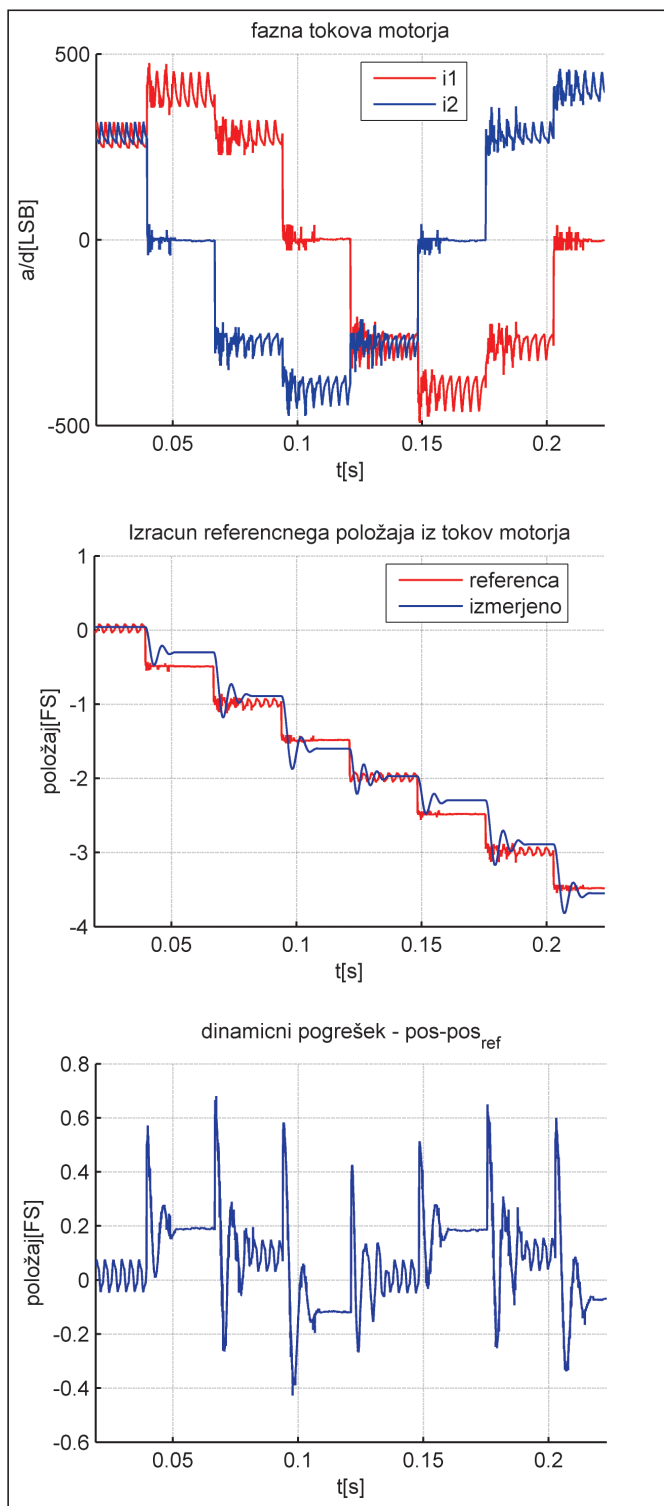
S pomočjo merilnika lahko sprožimo ustrezen gib in ob tem v izbranih in- tervalih zapisujemo izbrane veličine. Slika 11 kaže primer zajetih tokov, položaja in dinamičnega pogreška motorja.



Slika 8. KPM25T48 + ROD1080

J motor (gcm ²)	J sklopka (gcm ²)	J dajalnik (gcm ²)	J skupaj (gcm ²)	J skupaj/J mot.
KPM25T48 0,85	EK 1/22-2/4 0,7	ROD1080 4,5	6,1	7,1
KPM25T48 0,85	SCANCON-2MCH 0,25		1,1	1,3
23LM-C373 120	18EBN3 3	ROD450 26	149	1,2
KPM-3A 24	EK 4/20-4/5 2	MAXON-EC32 20	56	1,9

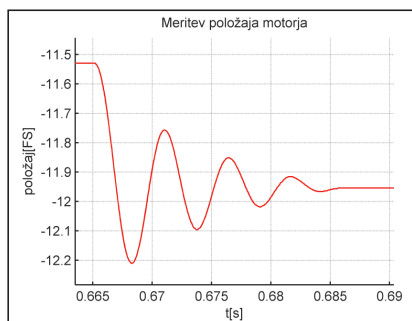
Slika 10. Vztrajnostni momenti motorjev in sistemov



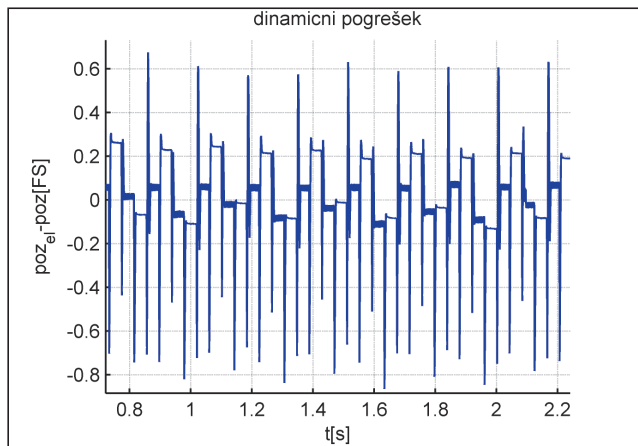
Slika 11. Prikaz tokov, položaja in dinamičnega pogreška za KPM25T48 + SCANCON 2MCH pri 1/2 korakih

4.1 Odziv na korak

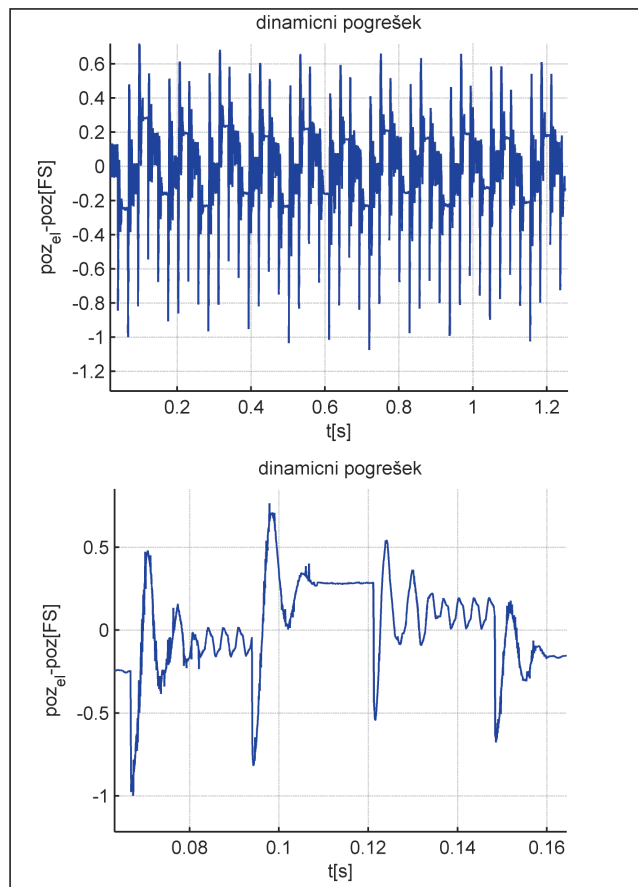
Dinamični odzivi na korak predstavljajo časovni potek položaja ob izvedbi koraka – *slika 12*. Pogrešek dobimo s primerjavo dejanskega in referenčnega položaja motorja – *slika 13*.



Slika 12. Dinamični odziv, KPM25T48-SCANCON 2MCH (400 mA, 1/2 korak)



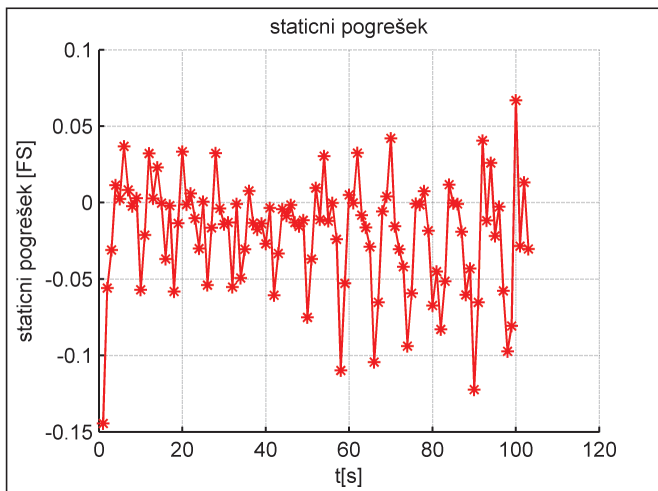
Slika 13. Dinamični pogrešek pri delovanju s polovičnimi koraki TMC211-KPM25T48-ROD1080, 800 mA



Slika 14. Dinamični pogrešek KPM25T48-SCANCON 2MCH (400 mA, FS, 18 FS/s)

4.2 Statična točnost položaja

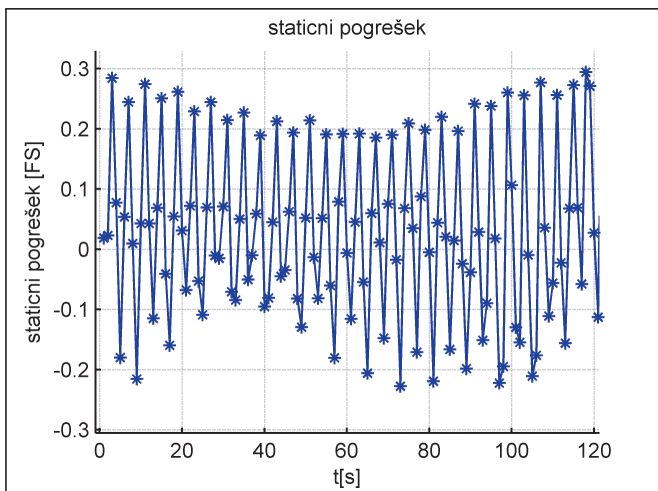
Motor se po izvedbi koraka ne ustavi vedno v ustreznem položaju. *Sliki 15 in 16* kažeta statični pogrešek – odstopanje statičnega položaja posameznega koraka za dva različna merilna sistema.



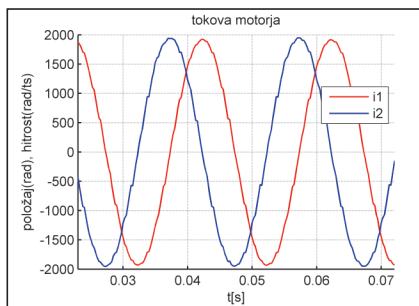
Slika 15. Statični pogrešek pri delovanju s polovičnimi koraki TMC211-23LM-C373-ROD450 (800 mA, 1/2, 1 FS/s)

4.3 Točnost mikrokorakov

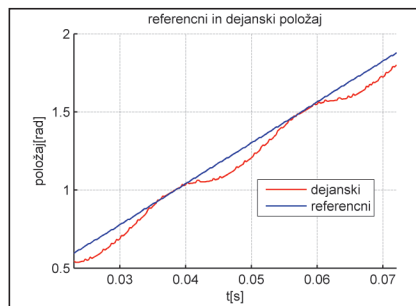
Pri sinusnem spreminjanju tokov pričakujemo enakomerno gibanje in s tem posledično gladek moment motorja. Vendar zaradi konstrukcije motorja temu običajno ni tako. *Sliki 17 in 18* kažeta odvisnost dejanskega položaja od tokov motorja.



Slika 16. Statični pogrešek pri delovanju s polovičnimi koraki TMC211-KPM25T48-ROD1080, 800 mA



Slika 17. Tokova motorja v načinu mikrokorakov



Slika 18. Odstopanje dejanskega položaja od referenčnega v načinu mikrokorakov (KPM-3A- Maxon EC32)

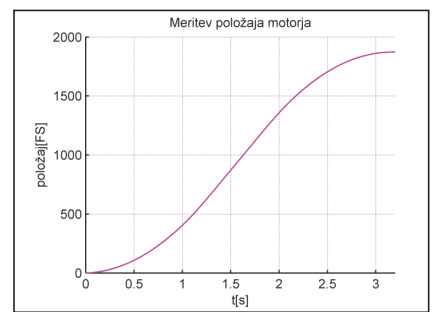
4.4 Resonance

Motor in celotni pogon imata lastne resonančne frekvence. Če se frekvenca izvajanja korakov približa kateri izmed njih, sistem poudarjeno zaniha. Te frekvence so odvisne od električnega navora oziroma od to-

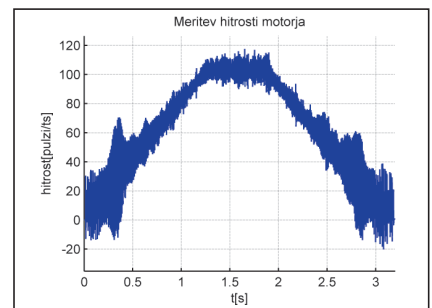
kov motorja. *Sliki 20 in 21* to kažeta za gib, ki ga prikazuje *slika 19*.

4.5 Dinamična točnost položaja

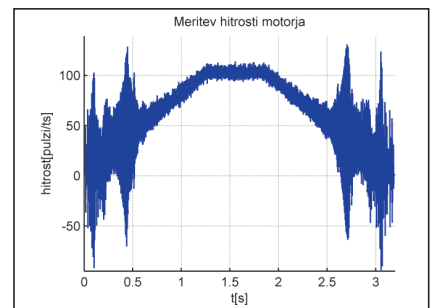
Gibanje pri različnih hitrostih povzroča različno zaostajanje dejan-



Slika 19. Položaj za KPM25T48-SCANCON 2MCH (1/2 korak, 973 FS/s, 735 FS/s²)

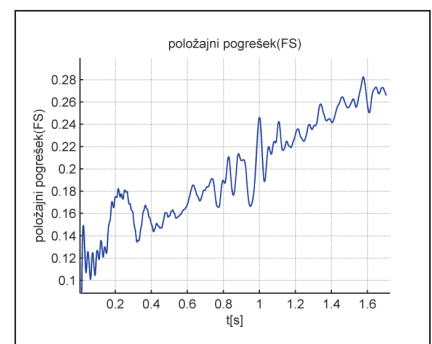


Slika 20. Resonančni odziv za KPM25T48-SCANCON 2MCH (400 mA, 1/2 korak, 973 FS/s, 735 FS/s²)



Slika 21. Resonančni odziv za KPM25T48-SCANCON 2MCH (800 mA, 1/2 korak, 973 FS/s, 735 FS/s²)

skega položaja za referenčnim. *Slika 22* kaže odvisnost zaostajanja položaja od hitrosti motorja. Edina obremenitev motorja je inkremen-



Slika 22. Dinamična točnost položaja za KPM25T48-SCANCON 2MCH (1/2 korak, 473 FS/s, 336 mA)

talni dajalnik. Na sliki so prikazani tudi resonančni pojavi.

4.6 Preskakovanje

Ko pogrešek naraste preko dveh polnih korakov, motor preide v novo mirovno lego in pri tem izgubi 4 polne korake.

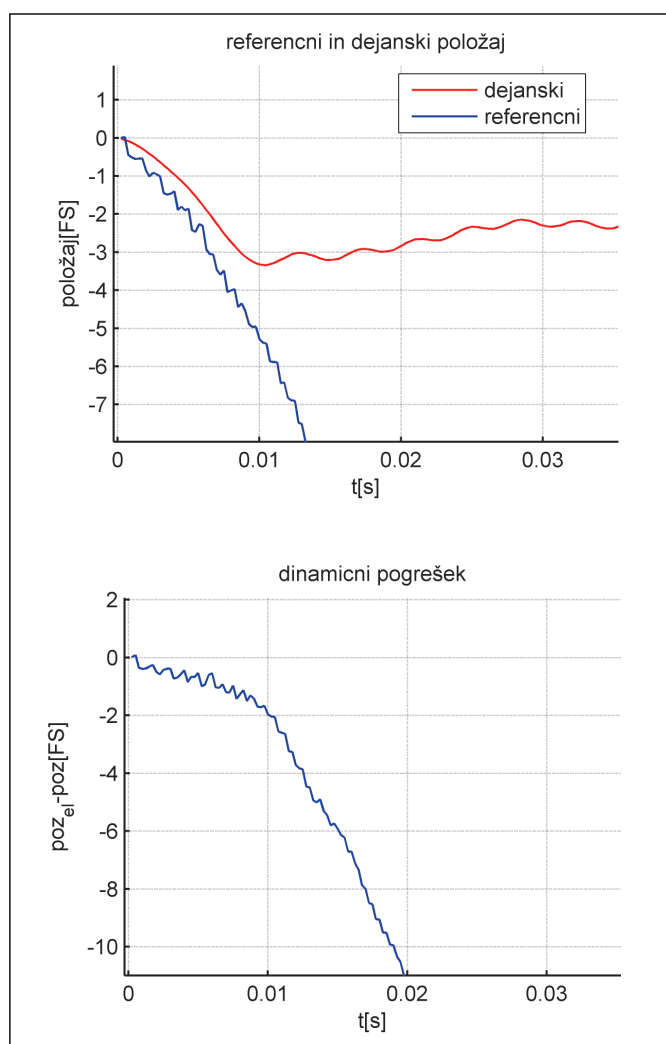
5 Zaključek

Opisana merilna naprava skupaj s priloženo programsko opremo za off-line analizo omogoča enostavno in hitro merjenje motorjev. Ob merilniku je potrebno na motor prigraditi samo inkrementalni dajalnik. Naprava je preizkušena na majhnih motorjih KPM25T48 firme Iskra

Mehanizmi. Ti zaradi majhnosti postavljajo visoke zahteve do merilnika.

Viri

- [1] Takashi Kenjo and Akira Sugawara, Stepping Motors and Their Microprocessor Controls, Second Edition. New York: Clarendon 2003.
- [2] Douglas W. Jones, Control of Stepping Motors, spletna stran (datum dostopa 15. 2. 2007): <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/>.
- [3] Euclid Research, Stepper Motor Dynamics Analyzer, spletna stran (datum dostopa 15. 2. 2007): http://www.euclidres.com/apps/stepper_motor/stepper.htm.
- [4] Ekar Danilo, Rekelj Andraž, Sistem za merjenje momenta malih koračnih motorjev, Innovative Automotive Technology – IAT '05, Bled.
- [5] Aljaž Kapun, Aleš Hace and Karel Jezernik, Identification of Stepping Motor Parameters, University of Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Institute of Robotics, Maribor, Slovenia 2007. Sprejeto za objavo, EUROCON 2007 International Conference on COMPUTER AS A TOOL, Warsaw University of Technology, Poland, September 9–12, 2007.
- [6] Milan Čurkovič, Aleš Hace, Analizator dinamičnega obnašanja koračnih motorjev, Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu – AIG '07, 11. in 12. april 2007, Maribor, Slovenija.
- [7] Spletna stran DSP2-kartice, <http://www.ro.feri.uni-mb.si/projekti/dsp2> (datum dostopa 20. 5. 2007).
- [8] Spletna stran firme TRINAMIC, <http://www.trinamic.com/tmc> (datum dostopa 20. 5. 2007).
- [9] TRINAMIC, TMC211 DATASHEET (V. 1.04 / January 7, 2005), www.trinamic.com, (datum dostopa 20. 5. 2007).



Slika 23. Izguba koraka KPM25T48-SCANCON 2MCH (200 mA, $\frac{1}{2}$ FS, $v_{min} = 182$, $v_{max} = 973$ FS/s, $34925F$ S/s²)

Stepper-Motor-Dynamics Analyzer

Abstract: This paper describes the Stepper Motor Dynamics Analyzer. The analyzer is capable of producing several typical characteristics of stepper motors, such as the step response, the static step accuracy, the micro-step accuracy and the dynamics position accuracy. The analyzer can be used in the development and production phases of stepper motors.

Keywords: position and velocity measurement, stepper motor, incremental encoder,