

Upravljanje brzinom vrtnje koračnog motora

Lojan, Jurica

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:695752>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 355/EL/2015

UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE KORAČNOG MOTORA

Jurica Lojan, 0345/601

Varaždin, rujan 2015.



**Sveučilište
Sjever**

Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 355/EL/2015

UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE KORAČNOG MOTORA

Student

Jurica Lojan, 0345/601

Mentor

Dunja Srpak, dipl.ing.

Varaždin, rujan 2015.

Sveučilište Sjever

Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR-42000 Varaždin

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Pristupnik: Jurica Lojan **Datum:** 27.07.2015. **Matični broj:** 0345/601

Kolegij: Elektromotorni pogoni **ECTS:** 4

Naslov rada: Upravljanje brzinom vrtnje koračnog motora

Mentor: Dunja Srpak dipl. ing. **Zvanje:** predavač

Članovi povjerenstva:

1. mr.sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.
2. Miroslav Horvatić, dipl. ing.
3. Dunja Srpak, dipl.ing.

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA 355/EL/2015

Detaljan opis zadatka:

U završnom radu dati pregled različitih vrsta koračnih motora, opisati načine upravljanja tim motorima, te navesti područja primjene svakog od njih. U praktičnom dijelu rada izraditi upravljačku pločicu za promjene brzine vrtnje koračnog motora. Izrađenu pločicu testirati i izvještajem prikazati rezultate testiranja.

U radu je potrebno:

- opisati različite vrste koračnih motora i područja primjene svake od njih
- opisati različite izvedbe upravljanja brzinom vrtnje ili položaja koračnih motora
- navesti prednosti i mane pojedinih načina upravljanja
- izraditi vlastiti uređaj za upravljanje brzinom vrtnje jednog koračnog motora i opisati njegove značajke
- testirati izrađeni uređaj na konkretnom pogonu sa koračnim motorom
- dati prikaz načina i rezultata testiranja uređaja, te komentirati rezultate

Zadatak uručen: 09.07.2015.

Mentor: Dunja Srpak, dipl.ing.

Predgovor

Prva osoba kojoj se moram zahvaliti je nastavnica Dunja Srpak koja je prihvatila biti mojom mentoricom, motivirala me, nesebično i ljubazno mi pomagala svojim znanjem, savjetima i bila mi uvijek dostupna tijekom pisanja i izrade ovoga završnog rada.

Također zahvaljujem nastavniku Miroslavu Horvatiću te nastavniku mr. sc. Ivanu Šumigi za svu njihovu predanost, profesionalnost, požrtvovnost i odnos prema radu sa studentima tijekom mog školovanja kao i na cjelokupnom znanju koje sam stekao slušajući njihove kolegije. Takav spoj znanja iz elektrotehnike rijetko koji profesor ima i činjenica da svoje znanje žele prenijeti svojim studentima, baš kao i moja mentorica, čini ih jedinstvenim i po tome će mi ostati u lijepom sjećanju.

Zahvaljujem i mr. sc. Vladimiru Mitroviću na dragocjenoj pomoći, savjetima te podršci prilikom izrade diplomskog rada.

Mojim roditeljima Zlatki i Josipu zahvaljujem na ukazanoj podršci, enormnom odricanju i strpljenju koje su imali za mene tijekom studiranja.

Svima od srca veliko hvala!

Sažetak

Rad daje pregled različitih vrsta koračnih motora, ukratko opisuje njihovu izvedbu i način upravljanja tim motorima te navodi moguća područja primjene. Analizira se shema sklopa za upravljanje brzinom vrtnje koračnog motora i uloga pojedinih njegovih komponenti. Princip rada sklopa je detaljno obrazložen i popraćen odgovarajućim tablicama, dijagramima i izračunima. Detaljno je objašnjen način izrade tiskane pločice.

Kao praktični dio rada, izrađena je maketa koja sadrži pločicu s opisanim upravljačkim sklopom, koračni motor i izvor napajanja. Način rada s upravljačkim sklopom je opisan i ilustriran s nekoliko fotografija. Završni dio rada objašnjava postupak snimanja upravljačkih signala osciloskopom, prikazuje dobivene rezultate i uspoređuje ih s očekivanim vrijednostima.

Ključne riječi: koračni motor, unipolarni koračni motor, bipolarni koračni motor, upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora, upravljački sklop za unipolarni koračni motor, izrada tiskane pločice, snimanje upravljačkih signala osciloskopom.

Sadržaj

1. Uvod.....	str. 1
2. Koračni motori	str. 2
2.1. Podjela koračnih motora	str. 2
2.2. Vrste koračnih motora	str. 3
2.3. Koračni motori s trajnim magnetom	str. 3
2.4. Reluktantni koračni motori	str. 4
2.5. Hibridni koračni motori.....	str. 5
2.6. Bipolarni i unipolarni koračni motori.....	str. 6
3. Primjena koračnih motora.....	str. 7
4. Upravljanje koračnim motorima	str. 8
4.1. Unipolarno upravljanje koračnim motorom.....	str. 9
4.2. Bipolarno upravljanje koračnim motorom	str. 9
4.3. Upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora.....	str. 11
5. Tiskana pločica.....	str. 15
5.1 Izrada tiskane pločice	str. 17
5.2 Prikaz izrađenog upravljačkog sklopa.....	str. 18
6. Snimanje upravljačkih signala osciloskopom	str. 21
7. Zaključak.....	str. 28
8. Popis literature	str. 30
9. Popis slika	str. 31

1. Uvod

Motori pretvaraju energiju u mehanički rad i na taj način daju vozilima, alatima, strojevima i drugim uređajima u koje su ugrađeni mogućnost kretanja ili mogućnost pomaka. Različiti su kriteriji prema kojima se ocjenjuje kvaliteta nekog motora: to mogu biti njegove dimenzije, njegova snaga, brzina vrtnje koju može postići, efikasnost, nivo buke koji proizvodi, nivo zagađenja okoliša, ... Ali, kada je preciznost pomaka presudna, jedna vrst motora će teško naći konkurenta: to su koračni motori.

Preciznost koračnih motora potječe od načina na koji su konstruirani: njihov rotor ne može zauzeti bilo koji položaj, nego samo strogo definirane i ravnomjerno raspoređene pozicije unutar punog kruga. Koliko tih pozicija ima određuje rezoluciju koračnog motora. Upravljanje radom koračnog motora je olakšano činjenicom da se položajem radne osovine se upravlja u otvorenoj petlji - bez povratne veze. Drugim riječima, ako mu se struje kroz namotaje mijenjaju prema definiranom pravilu, motor će zauzeti zadani položaj i bez naknadne provjere. Broj tih promjena određuje konačni položaj radne osovine, a brzina promjene brzinu kojom će radna osovina dostići taj položaj. U radu se analizira mogućnost upravljanja brzinom rada malog koračnog motora pomoću upravljačkog sklopa s integriranim krugovima i tranzistorima.

2. Koračni motori

Koračni motori su elektromehanički pretvornici energije. Oni pulsnu električnu pobudu pretvaraju u koračni mehanički pomak. Taj pomak može biti rotacijski ili translacijski. Naziv koračni dobili su zbog toga, što se od njih zahtijeva diskretni, odnosno koračni mehanički pomak. Na malim koračnim brzinama, rotor se zaustavlja na svakom koračnom položaju. Na srednjim brzinama nema zaustavljanja rotora na svakom koračnom položaju, ali kutna brzina oscilira ovisno o položaju. Ako se koračna brzina povećava, oscilacije kutne brzine postaju sve manje. Zbog toga na velikim koračnim brzinama, kutna brzina teži konstantnoj brzini.



Slika 1. Koračni motor [17]

Koračni motor je električki motor bez komutatora. Svi namoti su smješteni na statoru, a rotor je permanentni magnet. Radom motora se upravlja pomoću kontrolera. Motori i kontroleri su dizajnirani na način da motor može doći u bilo koju fiksnu poziciju.

2.1. Podjela koračnih motora

Koračne motore je moguće podijeliti prema vrsti uzbude, broju faza, broju polova i načinu gibanja.

Vrsta uzbude može biti :

- elektromagnetska
- stalni magneti

Uzbuda se može nalaziti na rotoru (aktivni koračni motori) i statoru.

Način gibanja može biti :

- rotacijski
- translacijski

Prema broju faza najčešći su koračni motori sa :

- $N_f = 2, 3, 4, 5, 6$

Prema broju pari polova P_r mogu biti :

- serijski proizvedeni koračni motori $P_r = 1-90$
- stalni magneti (na rotoru) $P_r = 1-4$

2.2. Vrste koračnih motora

Koračni motori pripadaju vrsti motora sinkronog tipa. Kod takvih motora, rotor koračnog motora sinkrono prati kretanje statorskog polja zbog sila nastalih međudjelovanjem s poljem rotorskih magneta ili reluktantnih sila, tako da se magnetske osi rotora nastoje podudarati s osima statorskog polja. Pozicija rotora mijenja se u koracima, zbog toga što statorsko polje stvaraju svici napajani strujnim impulsima potrebnog rasporeda i polariteta.

Smjer vrtnje se mijenja promjenom impulsnog slijeda, a brzina rotacije promjenom frekvencije impulsa. Prijedeni broj koraka (kut) ovisi o ukupno pristiglom broju impulsa. Rotor se može držati u željenoj kutnoj poziciji. Kut pogreške po koraku vrlo je malen i ne akumulira se.

Razlikuju se tri glavne vrste koračnih motora: koračni motori s promjenljivom reluktancijom (magnetskim otporom), s trajnim magnetom te hibridni (sa svojstvima prethodnih).

2.3. Koračni motori s trajnim magnetom

Permanentnomagnetski koračni motori imaju radijalni permanentnomagnetski rotor te višefazno izvedeni elektromagnetski stator. Permanentni magneti su na rotoru. Jednostavnije su izvedbe i imaju nisku cijenu. Okretanjem smjera struja pojedinih statorskih faza ili njihovih kombinacija po određenom redoslijedu, rezultatno magnetsko polje statora skokovito se pomiče u jednom ili drugom smjeru.



Slika 2. Koračni motor s trajnim magnetom [18]

Permanentnomagnetski rotor se postavlja u smjeru rezultantnog statorskog polja i na taj način se obavlja koračna rotacija. Ova vrsta koračnih motora ima malu rezoluciju. Koračni kutovi su između $7,5^\circ$ i 15° . Rotor nema velike zube, ali je magnetiziran s alternativnim S i N polovima. Povećana gustoća magnetskog toka omogućuje koračnom motoru s permanentnim magnetima poboljšanje momentnih karakteristika.

2.4. Reluktantni koračni motori

Reluktantni motori su najjednostavniji i najjeftiniji električni strojevi koji omogućuju rad s promjenljivom brzinom. Mogu se promatrati kao bezkolektorski motori bez trajnog magneta. Magnetski otpor (reluktancija) magnetskog kruga, koji se sastoji samo od željeza i zračnog raspora, mijenja se ovisno o kutnom položaju rotora. Kad se strujom zavojnice pobudi statorsko polje, na rotor djeluje moment tražeći položaj najmanje reluktancije. Nalazi ga kada je kut magnetskih osi statora i rotora jednak nuli. Tada moment postaje jednak nuli i rotor stoji u ravnotežnom položaju. Tom položaju s najmanjom reluktancijom pripada i minimum pohranjene energije u sustavu.



Slika 3. Reluktantni koračni motor [1]

Reluktantni motori pojavljuju se pod nazivima VR (*variable reluctance*) i SR (*switched reluctance*). Prvi je naziv primjereniji kad se reluktantni motor uzbuđuje kontinuiranim strujama, a drugi kad se uzbuđuje strujnim impulsima prikladno raspoređenim po fazama i vremenski točno određenima, ovisno o međusobnom položaju rotorskih i statorskih polova. Brzinu vrtnje rotora pritom određuje frekvencija struja statorskih zavojnica, a reluktantni moment je pulzirajući. Reluktantni se motori izrađuju za dvije, tri (često) ili više faza. Veći broj faza daje jednoličniji moment i olakšava pokretanje. Osim pulzacije momenata problem je i razmjerno visoka razina emitiranog zvuka. U usporedbi s BLDC (Brushless DC electric motor) motorima prednost je u izostanku magneta, te jednostavnijem upravljanju, jer ne treba voditi računa o smjeru struja po fazama. BLDC motori su bezkolektorski jednosmjerni motori kod kojih je funkcija kolektora s četkicama (mehanički komutator) zamijenjena s energetske pretvaračem s mjernim članom položaja rotora (elektroničkim komutatorom). Kod BLDC motora trofazni namot je na statoru (s energetske pretvaračem i logikom upravljanja), a permanentni magneti su na rotoru. Zbog toga se BLDC često naziva izvrnuti jednosmjerni motor. Struje trofaznog namotaja statora su međusobno fazno pomaknute za 120° , a generiraju se pomoću statičkog energetske pretvarača.

2.5. Hibridni koračni motori

Hibridni koračni motori imaju značajke permanentnomagnetskih i motora s promjenljivom reluktancijom. Stator i namotaji odgovaraju onima kod reluktantnih motora. Rotor hibridnog motora se sastoji od uzdužno orijentiranog permanentnog magneta koji na svakom polu ima nazubljeni disk. Jedan disk je na južnom, a drugi na sjevernom polu i međusobno su zarotirani za



Slika 4. Hibridni koračni motor [1]

pola zuba. Time je postignuta visoka rezolucija koraćanja. Statorski namotaji su podijeljeni u najmanje dvije faze. Ovaj tip motora ima visoku preciznost i veliki moment, a može se konfigurirati i za koraćne kutove od $1,8^\circ$.

2.6. Bipolarni i unipolarni koraćni motori

Prema broju polova, koraćni motori se dijele na bipolarne i unipolarne. Statorski namotaji unipolarnih motora imaju srednji izvod, a kod bipolarnih nema tog izvoda. Umjesto izmjenične uzbude jedne pa druge polovice namotaja kod unipolarnih motora, kod bipolarnih se rotacija magnetskog polja postiže promjenom polariteta napona na krajevima namotaja.



Slika 5. Bipolarni koraćni motor [19]



Slika 6. Unipolarni koraćni motor [19]

Ovisno o izvedbi, koraćni motor može imati 4, 5, 6 ili 8 priključnih žica. Koraćni motor s 4 priključne žice je isključivo bipolarni i zahtjeva bipolarni kontroler. Motori s više priključnih žica mogu se pokretati i unipolarnom i bipolarnom uzbuđom (kod bipolarne, srednji statorski izvod ostaje nespojen). Kod oba tipa motora, jedan dovedeni impuls uzrokuje pomak rotora motora za jedan korak, čija veličina zavisi od vrste koraćnog motora. U praksi se najčešće susreću koraćni motori s korakom od $0,9^\circ$, $1,8^\circ$, $3,6^\circ$ i $7,5^\circ$.

3. Primjena koračnih motora

Koračni motori nalaze vrlo široku primjenu u različitim praktičnim sistemima, u kojima je potrebno postići precizno pozicioniranje i precizno upravljanje pokretnim mehanizmima. Osnovni razlozi njihove široke primjene su jednostavan način upravljanja te njihovo lako prilagođavanje konkretnoj primjeni i konkretnom načinu korištenja. Zbog toga što se jednostavno upravljaju pomoću kompjutera, koračni motori nalaze najveću primjenu u kompjuterski i mikroprocesorski upravljanim sistemima.

Najčešća područja primjene:

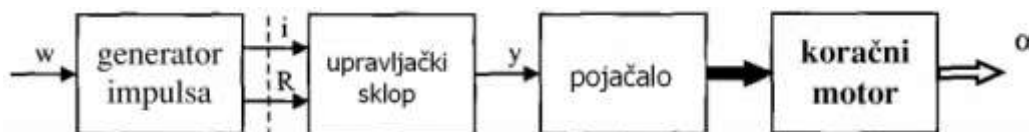
- tehnika štampe (pisaći strojevi, štampači, ploteri, telefax- aparati)
- računalska tehnika (floppy diskovi, hard diskovi, CD/DVD čitači i rezači)
- grijanje, ventilacija i klimatizacija (otvaranje poklopaca, ventila i mlaznica)
- automobilska tehnika (klima uređaji, podešavanje retrovizora, farova)
- foto i kino tehnika (upravljanje blendama, pogon projektora, reflektora)
- medicina (pumpe za infuziju, aparati za dijalizu)
- robotika (koordinatni stolovi, manipulatori, roboti, automati)
- mjerna tehnika i upravljanje (pozicioniranje primjenom senzora)
- zabava (igračke, laseri, reflektori)

4. Upravljanje koračnim motorima

Koračnim motorima se može upravljati preko povratne veze koristeći DC i AC servo pogone. Također upravljanje može biti u otvorenom lancu.

Razlikuju se dvije najosnovnije vrste upravljanja: upravljanje posebnim upravljačkim sklopom te upravljanje preko mikroračunala.

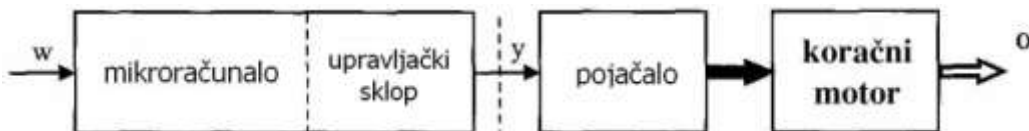
Upravljanje posebnim upravljačkim sklopom:



Slika 7. Upravljanje posebnim upravljačkim sklopom [20]

Generator impulsa generira ulazne signale: signal koraka (I) te signal smjera (R). Upravljački sklop vrši pretvorbu ulaznih signala u upravljačke signale. Pojačalo pojačava upravljačke signale i napaja fazne namotaje koračnog motora. Koračni motor na osnovi ulaznih signala vrši koračno kretanje u zadanom smjeru.

Upravljanje preko mikroračunala:



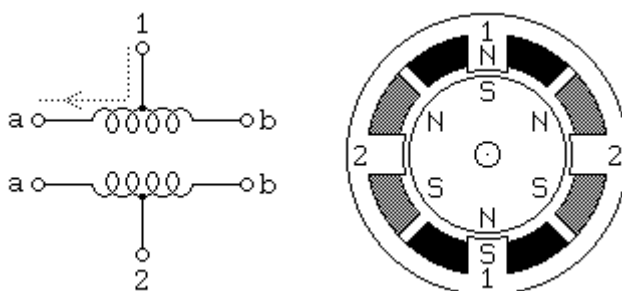
Slika 8. Upravljanje mikroračunalom [20]

Mikroračunalo proizvodi sve potrebne signale za upravljanje koračnim motorom. Međutim, mikroračunalo ne može osigurati dovoljno veliku struju za pokretanje motora. Zbog toga se mora koristiti posebno pojačalo (driver), preko kojega mikroračunalo upravlja radom koračnog motora. Najjednostavniji driveri su tranzistorske sklopke, no mogu se koristiti i integrirani krugovi takve namjene.

U praksi se najčešće susreće bipolarno te unipolarno upravljanje koračnim motorima. Jedan zaokret osovine koračnog motora sastavljen je od unaprijed poznatog broja koraka. Brzinu vrtnje određuje frekvencija koračanja (takta). Broj koraka potrebnih za jedan zaokret osovine ovisi o

konstrukciji motora. Razlika između bipolarnog te unipolarnog načina upravljanja je u tome što se promjena polariteta statorskih polova u unipolarnoj izvedbi vrši izmjeničnim uključivanjem polovica faznog namota, a kod bipolarne promjenom smjera struje u namotima pojedinih faza.

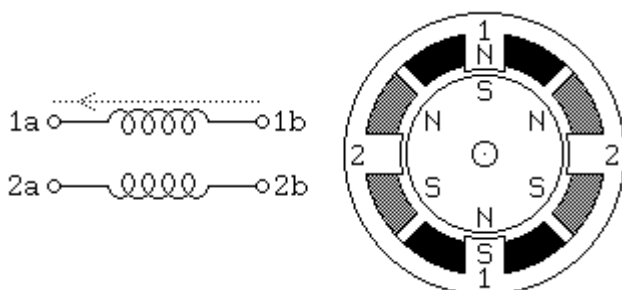
4.1. Unipolarno upravljanje koračnim motorom



Slika 9. Unipolarno upravljanje koračnim motorom [1]

Svaki fazni namotaj podijeljen je na dva dijela, pa takav motor ima šest izvoda. Srednji izvodi se obično vežu zajedno na pozitivni priključak napona napajanja motora. Krajnji izvodi se preko tranzistora vežu na negativni priključak. Na taj se način osigurava da struja kroz namotaje teče u jednom ili u drugome smjeru. Time se na statorskim polovima mijenja polaritet magnetskog polja, tj. vrši se komutacija koračnog motora. Nedostatak unipolarnih motora je neiskorištenost namotaja, a prednost jednostavna izvedba sklopa za upravljanje - za promjenu smjera struje u namotajima potrebne su dvije sklopke, što u praksi znači dva tranzistora po namotaju.

4.2. Bipolarno upravljanje koračnim motorom



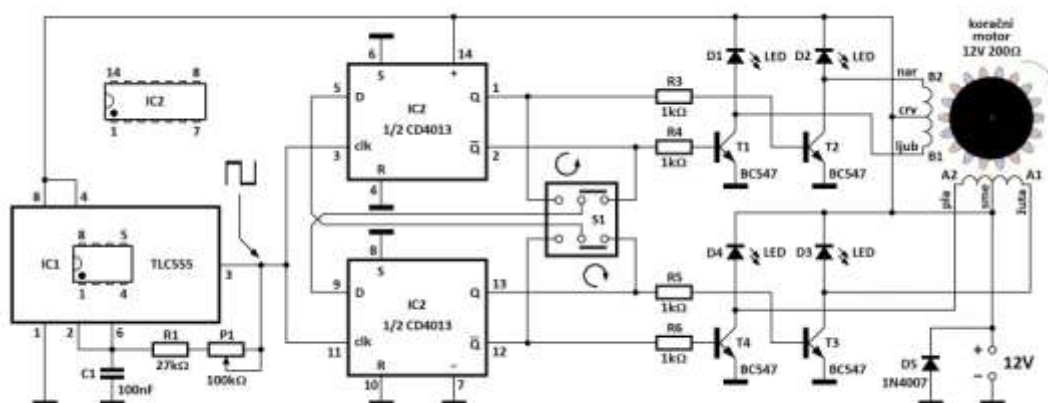
Slika 10. Bipolarno upravljanje koračnim motorom [1]

Kod bipolarnih motora iskorištena su oba namotaja u cijelosti, pa se kod njih postižu veći momenti, više radne frekvencije te veće brzine vrtnje osi motora. Promjena smjera struje u namotajima vrši se pomoću H mosta, za što su potrebna četiri tranzistora po namotaju.

U nastavku će biti opisan praktičan primjer upravljanja brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora.

4.3. Upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora

Praktični rad izrađen je prema ovoj električnoj shemi.



Slika 11. Sklop za upravljanje radom koračnog motora

Prikazani sklop radi na sljedeći način:

Tranzistorske sklopke T1 – T4 spajaju pripadajuće izvode namotaja koračnog motora na masu. Ako je tranzistor T3 u vođenju (zasićenju), onda će namotajem A1 teći struja. Ako je isti tranzistor u zapiranju, onda namotajem A1 struja neće teći. Tranzistorskom sklopkom T3 upravlja Q izlaz integriranog kruga IC2B. Komplementarni, Q $\bar$ izlaz istog integriranog kruga upravlja radom tranzistorske sklopke T4, koja određuje protok struje kroz namotaj A2. Kako su izlazi Q i Q $\bar$ uvijek u različitom stanju, i tranzistori T3 i T4 će biti u različitim stanjima (dok je jedan u zasićenju, drugi je u zapiranju). Protokom struja kroz namotaje B1 i B2 na isti način upravlja tranzistori T2 i T1, a njima upravlja integrirani krug IC2A.

Integrirani krugovi IC2A i IC2B su D-bistabili. Oni su međusobno povezani preko sklopke S1 na sljedeći način:

- ako je D ulaz IC2B spojen na Q $\bar$ izlaz IC2A, onda je D ulaz IC2A spojen na Q izlaz IC2B (slučaj A)

- ako je D ulaz IC2A spojen na Q\ izlaz IC2B, onda je D ulaz IC2B spojen na Q izlaz IC2A (slučaj B)

Radom D-bistabila upravljaju takt-impulsi koje proizvodi integrirani krug IC1.

Promjenu stanja D-bistabila za slučaj A prikazuju ove dvije tablice:

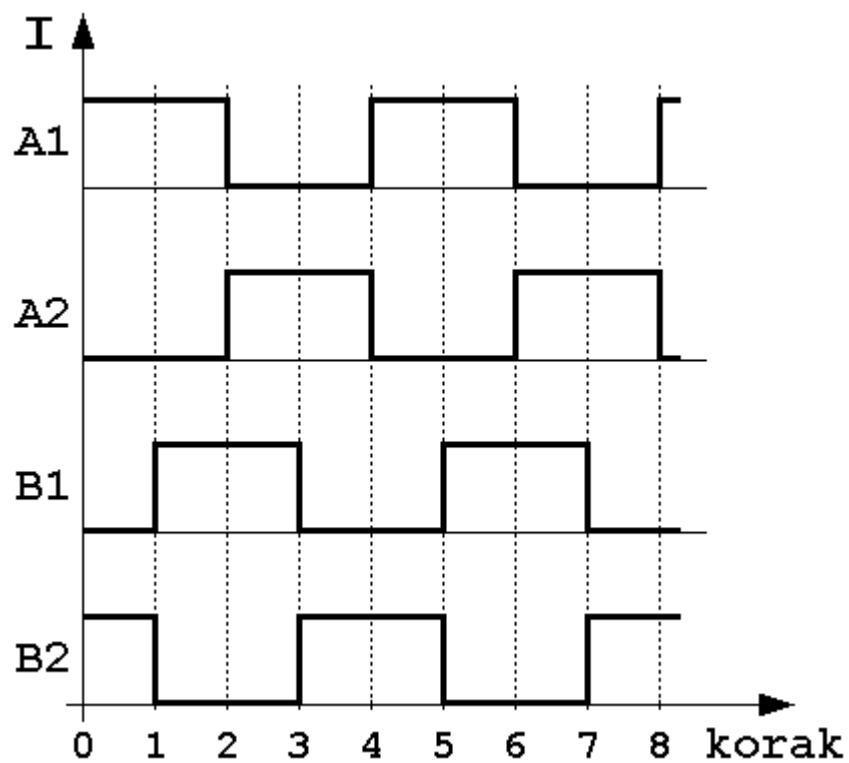
Slučaj A, IC2A

Q	1	1	0	0	1	1	0	0
Q\	0	0	1	1	0	0	1	1

Slučaj A, IC2B

Q	1	0	0	1	1	0	0	1
Q\	0	1	1	0	0	1	1	0

Grafički se to može prikazati na sljedeći način:



Slika 12. Struje kroz namotaje u slučaju A

Crtež na slici 12 prikazuje kako se tijekom vremena mijenjaju struje kroz namotaje koračnog motora. Oznake A1 i A2 su krajnji priključci jednog namotaja, a oznake B1 i B2 su krajnji priključci drugog namotaja. Na slici je vidljivo da ako struja teče jednim dijelom namotaja A ili B, onda neće teći drugim dijelom tih istih namotaja. Crtkane vertikalne linije označavaju trenutak u kojem dolazi do promjene toka struja kroz neki namotaj. Npr., u trenutku 1 počela je teći struja namotajem B1 i istodobno je prestala teći struja namotajem B2. Ako se promjene struja događaju kako je to prikazano na slici, motor će se sa svakom promjenom zakrenuti 1 korak u smjeru kazaljke na satu.

Promjenu stanja D-bistabila za slučaj B prikazuju ove dvije tablice:

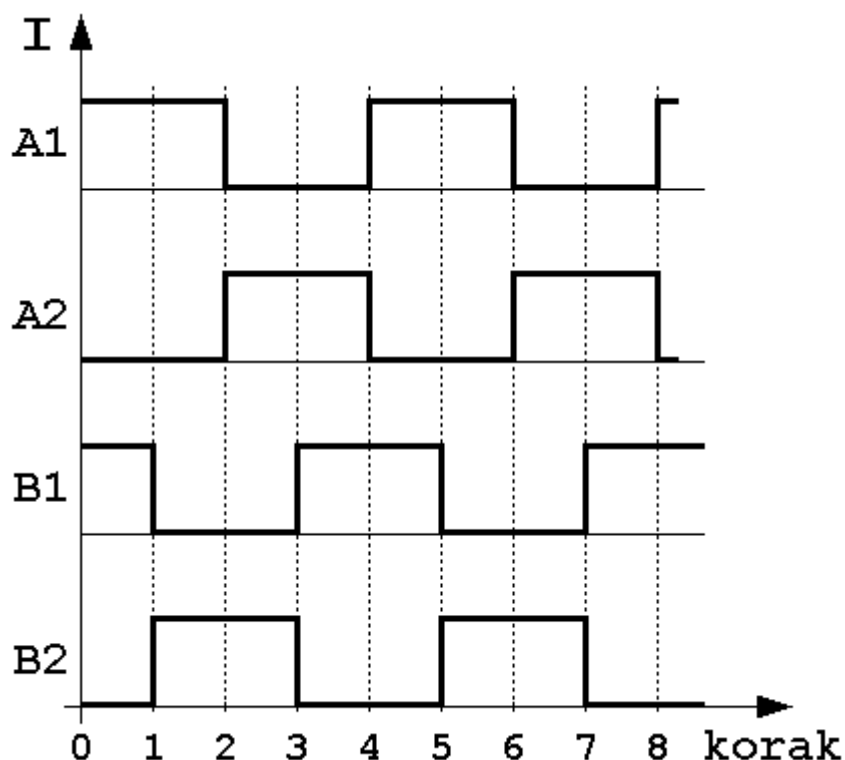
Slučaj B IC2A

Q	1	1	0	0	1	1	0	0
Q\	0	0	1	1	0	0	1	1

Slučaj B IC2B

Q	0	1	1	0	0	1	1	0
Q\	1	0	0	1	1	0	0	1

Grafički se to može prikazati na sljedeći način:



Slika 13. Struje kroz namotaje u slučaju B

Crtež na slici 13 prikazuje vremenski slijed impulsa za slučaj kada se motor zakreće u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Sve je isto kao prije, osim što sada impulsi B prethode impulsima A.

Slijedi pojašnjenje kako IC1 proizvodi takt impulse koji uzrokuju promjenu stanja D-bistabila na prije opisani način. IC1 je vremenski sklop (tajmer) TLC 555, spojen kao astabil. Kada je njegov izlaz (pin 3) u stanju logičke jedinice (12 V), preko serijskog spoja otpornika P1 i R1 teče struja koja puni kondenzator C1. Zbog toga će napon na C1 rasti. Kada taj napon poraste do 2/3 napona napajanja, tj. do 8 V, IC1 će promijeniti stanje i njegov izlaz će pasti na 0 V. Sada će se kondenzator C1 prazniti preko serijskog spoja otpornika R1 i P1 pa će se napon na njemu smanjivati. Kada se napon na C1 smanji na 1/3 napona napajanja, tj. na 4 V, IC1 će ponovno promijeniti stanje. Sada će se kondenzator početi puniti, napon na njemu će rasti - ciklus se ponavlja.

U ovom načinu rada IC1 proizvodi pilasti napon na kondenzatoru C1 i pravokutne impulse na izlazu 3. Ti impulsi se koriste za upravljanje radom D-bistabila. Frekvencija impulsa ovisi o otporu potencijometra P1 i može se približno odrediti prema formuli

$$f = 1 / (1,4 * R * C)$$

Što je taj otpor veći, frekvencija impulsa će biti niža i motor će se sporije okretati. I obratno, s manjim otporom P1, frekvencija impulsa će biti veća pa će se i motor brže vrtjeti.

U ovom praktičnom radu, kada je klizač potencijometra P1 u jednom krajnjem položaju, njegov otpor će biti 100 k Ω . Prema formuli, frekvencija tada iznosi 56,2 Hz.

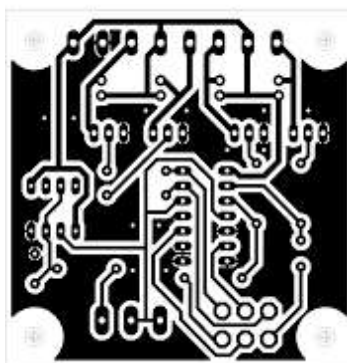
Kada se P1 nalazi u drugom krajnjem položaju, njegov otpor će biti 0 Ω . Prema formuli, frekvencija tada iznosi 264,5 Hz

Vidljivo je da se zakretanjem klizača potencijometra P1 mogu dobiti impulsi čija je frekvencija između 56,2 i 264,5 Hz, odnosno toliko koraka će napraviti motor u sekundi.

5. Tiskana pločica

Opisani sklop za upravljanje radom koračnog motora je skup na prikladan način povezanih komponenata. Povezivanje elektroničkih komponenata izvodi se na tiskanim pločicama. Stoga je najprije trebalo izraditi odgovarajuću tiskanu pločicu.

Za projektiranje tiskane pločice računalom korišten je Eagle program.



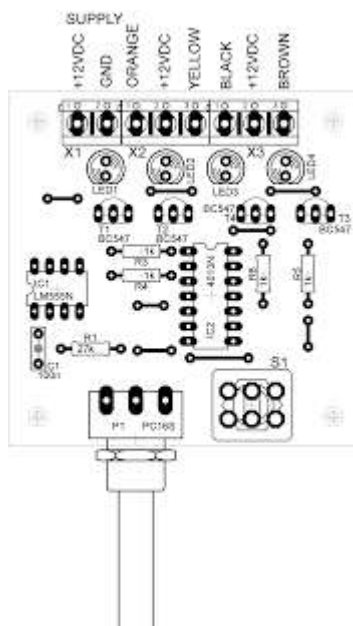
Slika 14. Nacrt tiskane pločice

Za izradu tiskane pločice koristi se materijal FR-4, poznatiji kao vitroplast. On se sastoji od niza slojeva (7-9) staklenih vlakana impregniranih epoxy smolom na koji je s jedne ili s obje strane naliježena bakrena folija. Za projekt izrade bio je korišten jednostrani vitroplast.

Dijelovi bakrene folije koji su nakon tehnološke obrade ostali sačuvani na tiskanoj pločici nazivaju se tiskani vodovi. Oni služe za povezivanje elektroničkih komponenata. Tiskane vodove čine lemnna mjesta na koja se montiraju i spajaju izvodi elektroničkih komponenata te linije ili površine (poligoni) koji povezuju dva ili više lemnih mjesta. Širina tiskanih vodova se određuje prema struji koja će protjecati kroz pojedini tiskani vod. Kod projektiranja tiskane pločice treba voditi računa o estetici prilikom rasporeda komponenata, a da pri tome tiskani vodovi budu što kraći.

Tijekom projektiranja tiskane pločice, osim nacrt vodova, izrađuju se i slika rasporeda komponenata (montažna shema) te plan bušenja provrta. Nakon projektiranja izrađuju se predlošci za nanošenje zaštitnih maski.

Montažna shema tiskane pločice za ovaj praktični rad prikazana je na slici 15.



Slika 15. Montažna shema pločice

Kod samog tehnološkog postupka, najprije je bilo potrebno izvršiti čišćenje bakrene površine. Obzirom da bakar korodira u dodiru sa zrakom, potrebno je prije nanošenja maske za tiskane vodove ukloniti oksidirani sloj i prljavštinu s bakrene površine tiskane pločice. Čišćenje se vrši finom čeličnom vunom koja ne sadrži nikakve kemijske dodatke. Prilikom čišćenja bakrene površine čeličnom vunom, potrebno je da se pločica pobrusi najprije paralelno s jednom stranicom tiskane pločice, a zatim se pločica zakrene za 90 stupnjeva te ponovi postupak. Nakon brušenja bakrenu površinu je potrebno protrljati po čistom papiru i više ne dodirivati prstima.

Nakon čišćenja bakrene površine, na bakreni sloj se nanosi zaštitni sloj (maska), i to na ona mjesta na kojima treba sačuvati dijelove bakra kao tiskane vodove. Ovisno o željenoj kvaliteti gotove tiskane pločice, količini i troškovima izrade, postoje razne tehnike nanošenja zaštitnog sloja.

Sredstva, tehnike ili postupci kojima se može nanijeti zaštitna masku su:

- vodootporni flomaster
- ljepljiva traka
- letreset postupak
- transfer postupak
- sitotisak
- fotopostupak

5.1. Izrada tiskane pločice

Tiskana pločica izrađena je fotopostupkom. Postupak započinje nanošenjem krutog (folija) ili tekućeg fotoosjetljivog filma na čistu bakrenu foliju pločice uz prigušeno svjetlo. Kruti film se postavlja laminiranjem pri temperaturi od 120°C uz pritisak 2-3 bara, uređajem koji se zove laminator. Tekući film nanosi se pomoću spreja nakon čega je potrebno njegovo sušenje u potpunom mraku. Postupak sušenja će se skratiti ako se izvodi u pećnici na toplom zraku maksimalne temperature 70°C. Na foto-oslojenu pločicu postavlja se pozitiv predložak (film ili folija) i zatim se vrši osvjetljavanje pločice UV svjetlom nekoliko sekundi. Kroz prozirne dijelove predloška UV svjetlo prodire na fotoosjetljivi film, a ispod crnih mjesta predloška fotoosjetljivi film ostaje neosvijetljen. Osvijetljena pločica stavlja se u razvijач (1%- tna otopina natrij karbonata ili otopina natrijeve lužine koja se dobiva tako da se 7 grama natrij hidroksida otopi u 1 litri hladne vode). Trajanje razvijanja kod svježeg razvijачa iznosi 0,5 – 1 minute ili maksimalno 2 minute za deblje slojeve fotoosjetljivog filma. Nakon razvijanja pločica se ispere u vodi pri čemu će sloj filma ostati na dijelovima koji su prilikom osvjetljavanja bili zaštićeni crnim površinama predloška. Fotopostupak predstavlja najprecizniji način izrade zaštitne maske kod nagrizanja tiskane pločice, a osim za izradu maski za nagrizanje, koristi se za izradu maski za metalizaciju i lemnno otpornih, elektro izolacijskih maski.

Nakon što je fotopostupkom nanescna zaštitna maska vrši se jetkanje ili nagrizanje nezaštićenih dijelova bakrene folije. Jetkanje se izvodi kemijskim postupcima, a najpogodnija otopina za jetkanje u 1 litri otopine sadrži :

- 770 ml vode
- 200 ml solne kiseline, koncentracije 30 %
- 30 ml vodikovog superoksida, koncentracije 30 %

Otopina se priprema tako da se prvo u vodu ulije solna kiselina, a zatim superoksid. Postupak jetkanja traje nekoliko minuta, a može se ubrzati strujanjem otopine u posudi. To se izvodi upuhivanjem zraka u otopinu pomoću električne pumpe za zrak ili laganim ljuljanjem posude (kadice) u kojoj se vrši jetkanje. Kada bakrena folija nestane sa svih nezaštićenih dijelova, jetkanje je završeno, a pločica se ispere u vodi i osuši.

Za zaštitu od korozije tiskanih vodova, pločicu je potrebno poprskati zaštitnim lakom, koji ujedno olakšava lemljenje.

Prije lemljenja komponenti, na lemnim mjestima je pomoću stolne bušilice potrebno probušiti provrte, a promjer odabranog svrdla ovisi o promjeru ili širini izvoda komponente koja se kroz pripadajuće provrte montira.

5.2. Prikaz izrađenog upravljačkog sklopa

Fotografija na slici 16 prikazuje sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora koji je izrađen za ovaj praktični rad.



Slika 16. Izrađeni sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora

Slijede fotografije upravljačkog sklopa dok upravlja radom koračnog motora.



Slika 17. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće sporo

Na slici 17, preklopka se nalazi u desnom položaju a motor se vrti u smjeru kazaljke na satu. Potenciometrom je podešena spora vrtnja da se može pratiti promjena stanja na priključcima

namotaja. Pojedina svjetleća dioda bljesne u trenutku kada se pripadajući tranzistor isključio (kada je prestao voditi struju).

Kada se potenciometrom ubrza vrtnja motora, impulsi će "ubrzati", tranzistori će se brže uključivati i isključivati, a nama će se činiti kao da sve diode svijetle istovremeno (slika 18).

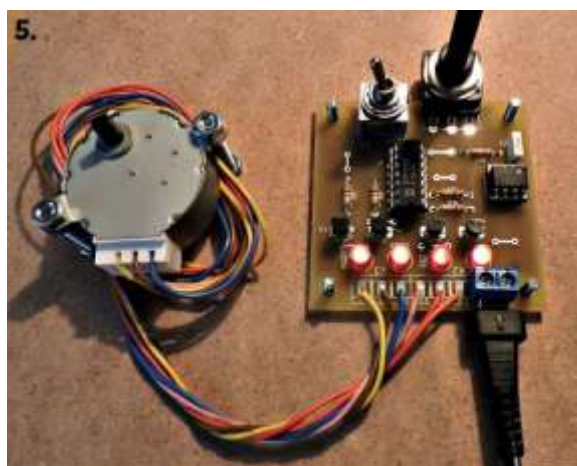


Slika 18. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće brzo

Kada se promijeni položaj preklopke, motor će se zavrtjeti u suprotnom smjeru. Fotografije na slikama 19 i 20 prikazuju taj slučaj, najprije kada se motor vrti sporo a zatim, kada se vrti najvećom brzinom.



Slika 19. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće sporo



Slika 20. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće brzo

6. Snimanje upravljačkih signala osciloskopom

Na sklopu za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora izvršeno je u laboratoriju snimanje izlaznih upravljačkih signala.



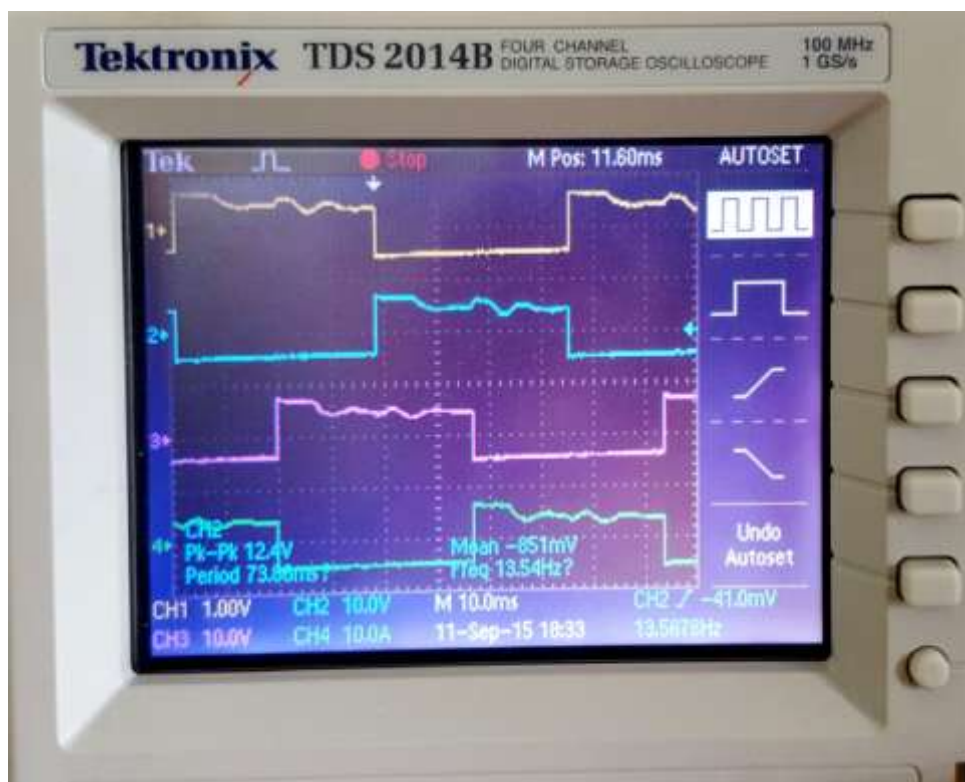
Slika 21. Snimanje izlaznih upravljačkih signala

Snimanje je izvršeno četverokanalnim osciloskopom. Prije samog snimanja izvršena je kalibracija mjernih sonda te podešavanje parametra mjerenja.

Mjerne sonde CH1, CH2, CH3 i CH4 su spojene na kolektore tranzistorskih sklopki T1 - T4. Zato slika na osciloskopu prikazuje napone na kolektorima tih tranzistora. Kada je napon visok (oko 12 V), kroz tranzistor i namotaj motora na koji je on spojen ne teče struja; kada je napon nizak (oko 0 V), kroz tranzistor i namotaj struja teče.

U svim mjerenjima su namješteni parametri V/div te T/div na način, kako bi se što preciznije mogli očitati mjerni rezultati. Najvažnije je očitati trajanje T jednog impulsa jer se na osnovu njega računa frekvencija.

Slijedi prikaz rezultata mjerenja:



Slika 22. Motor se vrti najmanjom brzinom u smjeru kazaljke na satu

Na slici 22 prikazani su izlazni upravljački oblici signala za slučaj kada se motor vrti najmanjom brzinom u smjeru kazaljke na satu. Očitani su ovi parametri:

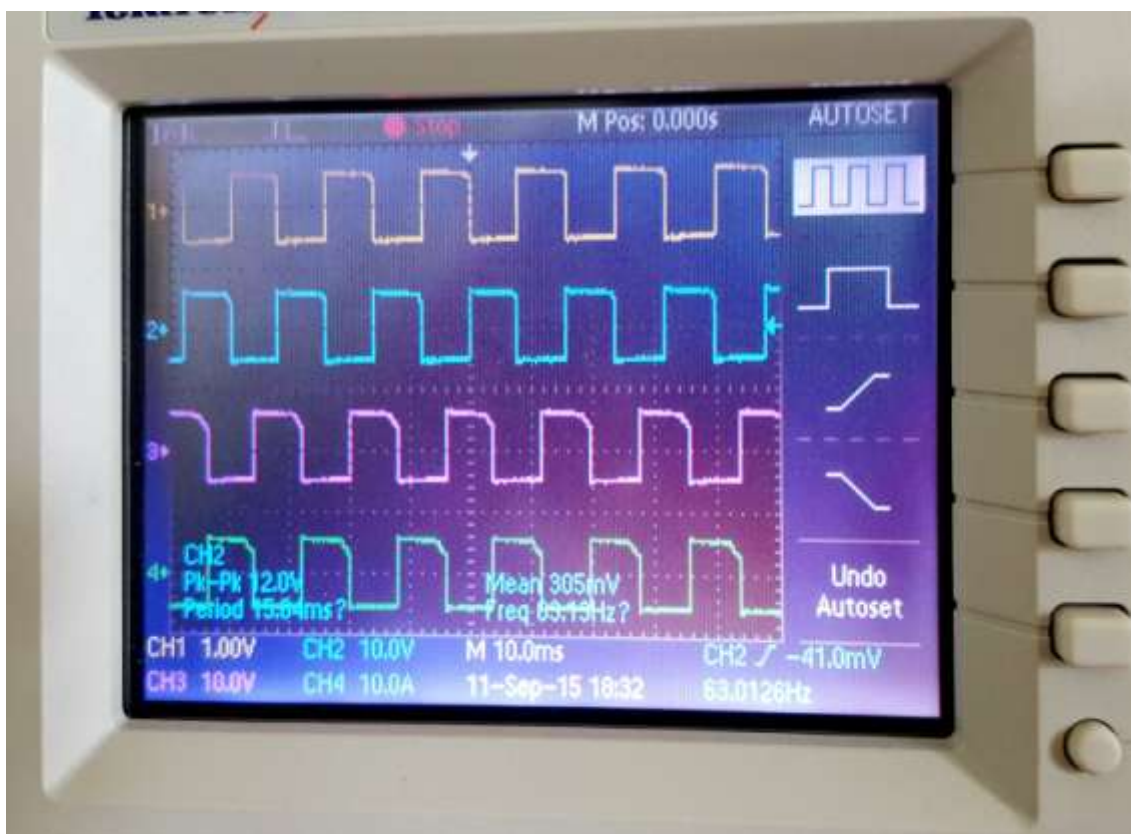
$$x = 7,4 \text{ div}$$

$$k_x = 10 \text{ ms/div}$$

Iz toga se računa frekvencija upravljačkog signala:

$$T = x * k_x = 74 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 13,51 \text{ Hz}$$



Slika 23. Motor se vrti srednjom brzinom u smjeru kazaljke na satu

Na slici 23 prikazani su dobiveni izlazni upravljački oblici signala za slučaj kada se motor vrti srednjom brzinom u smjeru kazaljke na satu. Očitani su ovi parametri:

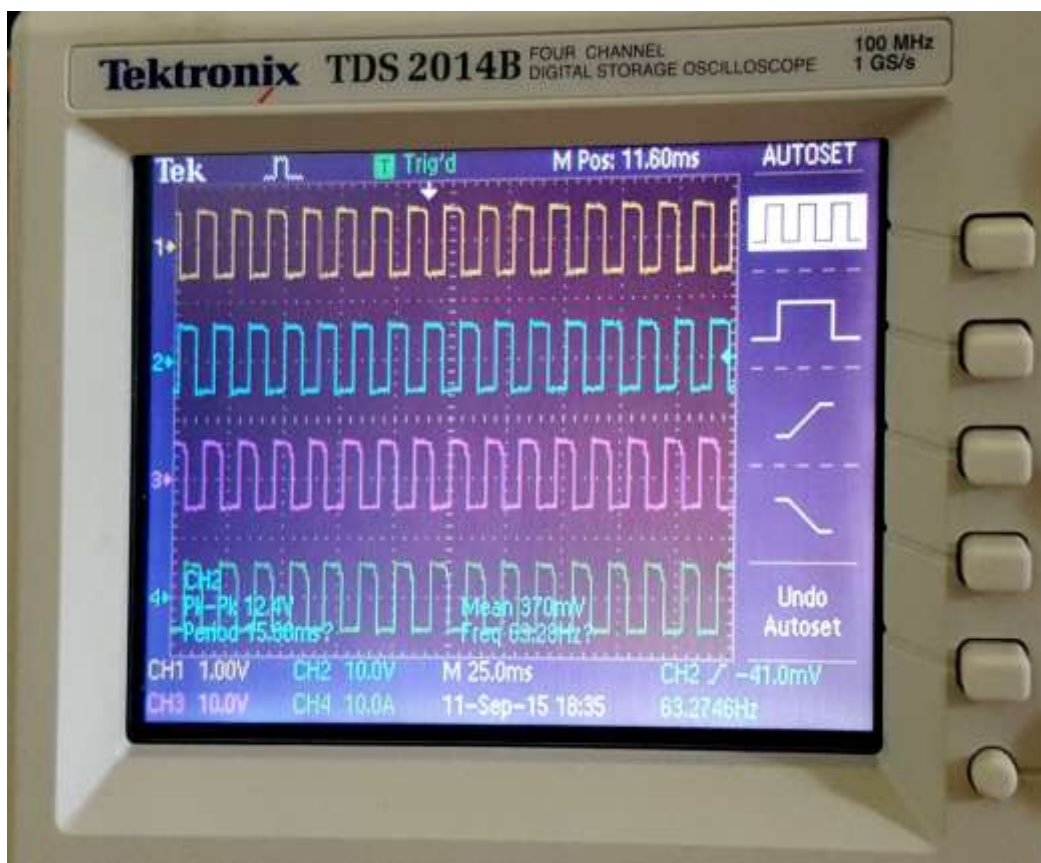
$$x = 1,6 \text{ div}$$

$$k_x = 10 \text{ ms/div}$$

Iz toga se računa frekvencija upravljačkog signala:

$$T = x * k_x = 16 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 62,5 \text{ Hz}$$



Slika 24. Motor se vrti najvećom brzinom u smjeru kazaljke na satu

Na slici 24 prikazani su dobiveni izlazni upravljački oblici signala za slučaj kada se motor vrti najvećom brzinom u smjeru kazaljke na satu. Očitani su ovi parametri:

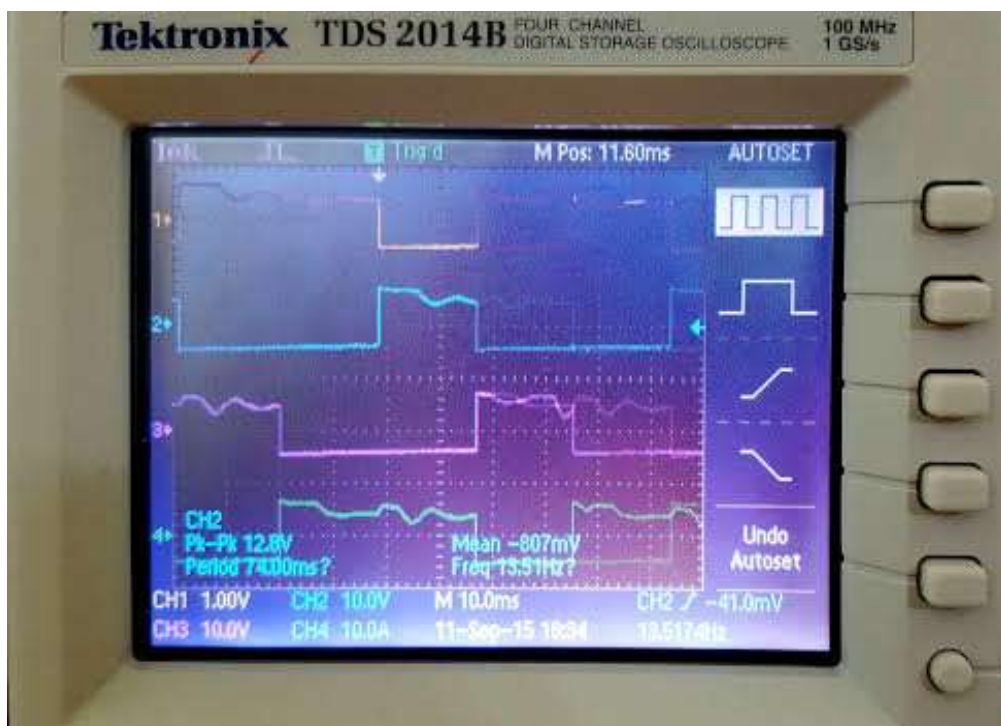
$$x = 0,6 \text{ div}$$

$$k_x = 25 \text{ ms/div}$$

Iz toga se računa frekvencija upravljačkog signala:

$$T = x * k_x = 15 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 66,6 \text{ Hz}$$



Slika 25. Motor se vrti najmanjom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu

Na slici 25 prikazani su dobiveni izlazni upravljački oblici signala za slučaj kada se motor vrti najmanjom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu. Očitani su ovi parametri:

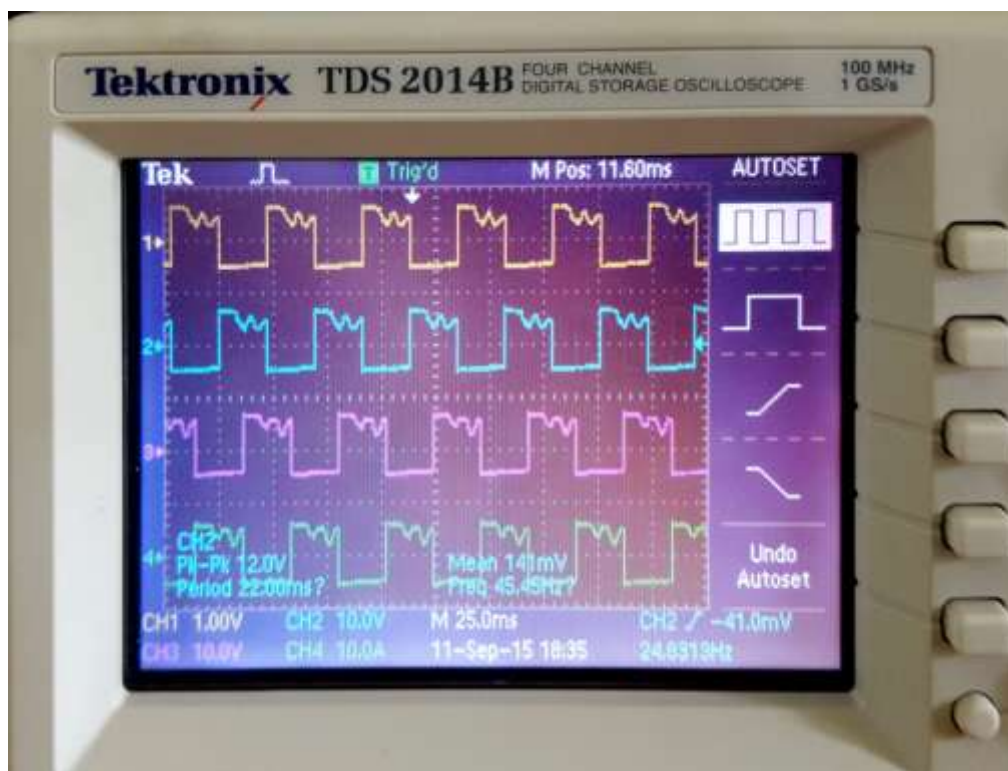
$$x = 5,5 \text{ div}$$

$$k_x = 10 \text{ ms/div}$$

Iz toga se računa frekvencija upravljačkog signala:

$$T = x * k_x = 55 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 18,18 \text{ Hz}$$



Slika 26. Motor se vrti srednjom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu

Na slici 26 prikazani su dobiveni izlazni upravljački oblici signala za slučaj kada se motor vrti srednjom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu. Očitani su ovi parametri:

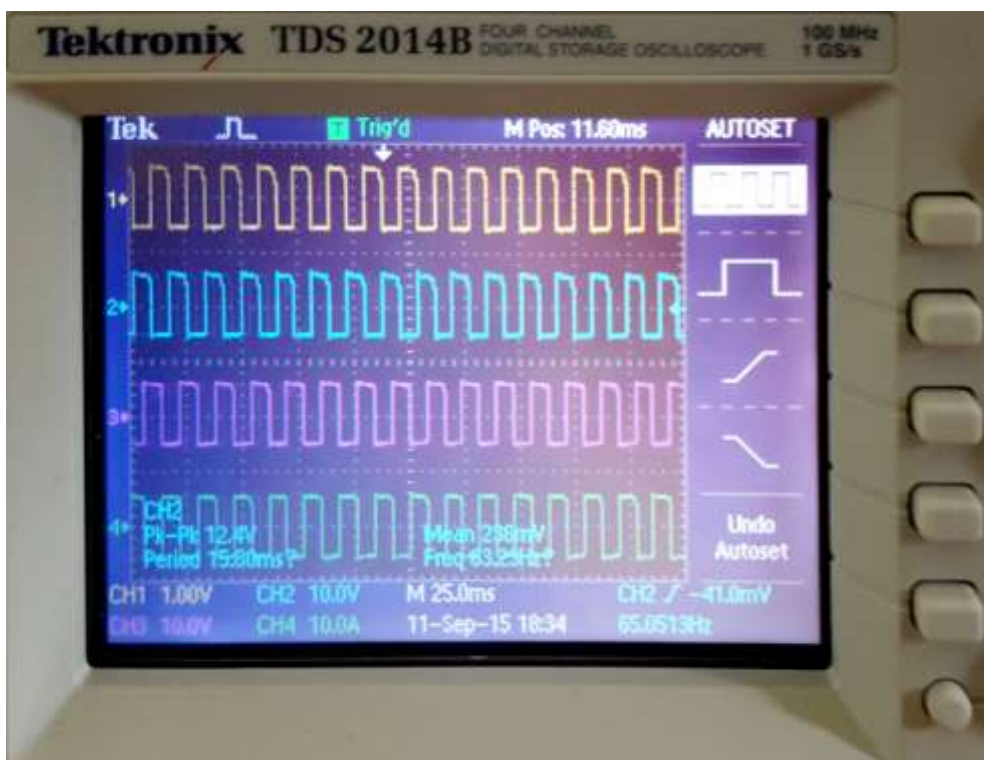
$$x = 1,78 \text{ div}$$

$$k_x = 25 \text{ ms/div}$$

Iz toga se računa frekvencija upravljačkog signala:

$$T = x * k_x = 44,5 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 22,5 \text{ Hz}$$



Slika 27. Motor se vrti najvećom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu

Na slici 27 prikazani su dobiveni izlazni upravljački oblici signala za slučaj kada se motor vrti najvećom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu. Očitani su ovi parametri:

$$x = 0,65 \text{ div}$$

$$k_x = 25 \text{ ms/div}$$

Iz toga se računa frekvencija upravljačkog signala:

$$T = x * k_x = 16,25 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 61,5 \text{ Hz}$$

7. Zaključak

Oscilogrami dobiveni mjerenjem na praktičnom radu (slike 22 - 27) u skladu su s očekivanim oblicima prikazanim na slikama 12 i 13. Razlika je samo u izobličenju gornjeg dijela impulsa, koji na oscilogramima nije ravan. To je posljedica induktiviteta namotaja. Utjecaj induktiviteta dolazi do izražaja u trenucima kada je tranzistor isključen. Ovdje ulogu igraju i svjetleće diode D1 - D4, koje sprječavaju da se na kolektoru tranzistora pojavi impuls visokog napona u trenutku kada tranzistor prestaje voditi. Umjesto toga, energija akumulirana u namotaju isprazni se preko svjetleće diode i ona u tom trenutku zasvijetli. Ritam uključivanja i isključivanja dioda ovisi o brzini vrtnje motora, odnosno o frekvenciji upravljačkih impulsa.

Vidljiva je anomalija - pozitivni i negativni dio impulsa nemaju jednako trajanje. Nije otkriven uzrok ove anomalije, ali ona nije utjecala na rad motora.

Rezultati mjerenja frekvencije izlaznih upravljačkih signala sažeti su u sljedeće dvije tablice:

Izmjerene frekvencije za slučaj kada se motor vrti u smjeru kazaljke na satu		
najmanja brzina	srednja brzina	najveća brzina
$f = 13,51 \text{ Hz}$	$f = 62,5 \text{ Hz}$	$f = 66,6 \text{ Hz}$

Izmjerene frekvencije za slučaj kada se motor vrti obrnuto od smjera kazaljke na satu		
najmanja brzina	srednja brzina	najveća brzina
$f = 18,18 \text{ Hz}$	$f = 22,5 \text{ Hz}$	$f = 61,5 \text{ Hz}$

Primjetno je da se frekvencija mijenja u rasponu od 13,51 do 66,6 Hz. Frekvencija kod najmanje brzine kada se motor vrtio obrnuto od smjera kazaljke na satu je primjetno viša od frekvencije kod najmanje brzine kada se motor vrtio u smjeru kazaljke na satu. To je posljedica prije spomenute anomalije.

Pri analizi sklopa sa slike 11 izračunato je da bi frekvencija signala trebala biti između 56,2 i 264,5 Hz. Ovo je u potpunosti u skladu s izmjerenim frekvencijama, jer su potrebna četiri takt impulsa za jedan period upravljačkog signala.

Testiranja su pokazala kako sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora izrađen prema shemi na slici 11 radi u skladu s očekivanjima. Način podešavanja brzine

vrtnje promjenom otpora potencijometra je funkcionalan ali nije jako precizan pa se ovakav sklop ne bi mogao primijeniti u slučajevima kada se očekuje visoka točnost (npr., ne bi bio primjenjiv za pogon nekog uređaja u medicini). Drugi nedostatak sklopa je što on ne može proizvesti određeni broj impulsa, koji bi zakrenuli motor za odgovarajući broj koraka. Oscilator u sklopu stalno proizvodi impulse pa se motor stalno vrti u jednom ili u drugom smjeru, ovisno o položaju preklopke.

Ovakav sklop bi se mogao upotrijebiti u slučajevima u kojima se ne očekuje velika preciznost i visoka pouzdanost rada, npr., u dječjim igračkama. Korišteni motor ima veliki prijenos pa se osočina zakreće sporo. Veća brzina bi se mogla postići primjenom drugačijeg motora ili promjenom vrijednosti otpora potencijometra P1 i kapaciteta kondenzatora C1.

U Varaždinu, 8.10.2015.

Jurica Lojan

8. Popis literature

- [1] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ELESUS_12_Koracni_12-13.pdf (09.06.2014.g)
- [2] <http://zrno.fsb.hr/katedra/download/materijali/743.pdf> (09.06.2014.g)
- [3] <http://www.nmbtc.com/motors/part-numbers/search/PM55L-048/4873> (09.06.2014.g)
- [4] http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_13/5.html (09.06.2014.g)
- [5] Srećko Lovrić: CNC bušilica, Svijet elektronike, broj 29, godina 4,(2001.) 39-46
- [6] <http://www.edaboard.com/thread217270.html> (09.06.2014.g)
- [7] http://www.engr.mun.ca/~nick/eng1040/Stepper_Motors.pdf (09.06.2014.g)
- [8] <http://members.home.nl/bzijlstra/hardware/stepper/stepper.htm> (09.06.2014.g)
- [9] http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/EAP_VIII_dio_KM%5B1%5D.pdf (10.06.2014.g)
- [10] <http://www.globalspec.com/reference/8273/348308/3-8-4-stepper-motors> (10.06.2014.g)
- [11] <http://www.kitsrus.com/pdf/k179.pdf> (10.06.2014.g)
- [12] <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000063.pdf> (11.06.2014.g)
- [13] <http://www.nmbtc.com/motors/part-numbers/Permanent-Magnet-Stepper/PM55L-048/4873> (13.06.2014.g)
- [14] <http://www.nmbtc.com/motors/part-numbers/Permanent-Magnet-Stepper/PM35L-048/4861> (13.06.2014.g)
- [15] http://probotix.com/manuals/PBX-2_manual.htm (13.06.2014.g)
- [16] http://imall.iteadstudio.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/i/m/im120606013_8.jpg (13. 06.2014.g)
- [17] <http://www.trolist.hr/index.php/component/virtuemart/elektronika/motori/korani-motor-fl60-42a-i-3nm-detail?Itemid=0>
- [18] <https://ultimachine.com/category/catalog/electronics/motors>
- [19] http://www.tme.eu/hr/katalog/elektrichni-motori_100611
- [20] <https://muricmilorad.files.wordpress.com/2011/11/koracni-motori.pdf>

9. Popis slika

Slika 1. Koračni motor [17]	str. 2
Slika 2. Koračni motor s trajnim magnetom [18]	str. 4
Slika 3. Reluktantni koračni motor [1]	str. 4
Slika 4. Hibridni koračni motor [1]	str. 5
Slika 5. Bipolarni koračni motor [19]	str. 6
Slika 6. Unipolarni koračni motor [19]	str. 6
Slika 7. Upravljanje posebnim upravljačkim sklopom [20]	str. 8
Slika 8. Upravljanje mikroračunalom [20]	str. 8
Slika 9. Unipolarno upravljanje koračnim motorom [1]	str. 9
Slika 10. Bipolarno upravljanje koračnim motorom [1]	str. 9
Slika 11. Sklop za upravljanje radom koračnog motora	str. 10
Slika 12. Struje kroz namotaje u slučaju A	str. 11
Slika 13. Struje kroz namotaje u slučaju B	str. 13
Slika 14. Nacrt tiskane pločice	str. 15
Slika 15. Montažna shema pločice	str. 16
Slika 16. Izrađeni sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora	str. 18
Slika 18. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće brzo	str. 19
Slika 19. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće sporo	str. 19
Slika 20. Sklop za upravljanje brzinom vrtnje unipolarnog koračnog motora; motor se okreće brzo	str. 20
Slika 21. Snimanje izlaznih upravljačkih signala	str. 21
Slika 22. Motor se vrti najmanjom brzinom u smjeru kazaljke na satu	str. 22
Slika 23. Motor se vrti srednjom brzinom u smjeru kazaljke na satu	str. 23

Slika 24. Motor se vrti najvećom brzinom u smjeru kazaljke na satu.....	str. 24
Slika 25. Motor se vrti najmanjom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu	str. 25
Slika 26. Motor se vrti srednjom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu	str. 26
Slika 27. Motor se vrti najvećom brzinom obrnuto od smjera kazaljke na satu.....	str. 27