

Mjerenje brzine vrtnje pomoću programirljivog logičkog kontrolera

Mato Fruk, Danijel Maršić, Goran Malčić

Elektrotehnički odjel

Tehničko veleučilište u Zagrebu

Konavoska 2, Zagreb, Hrvatska

Telefon: 01-5595 300 Fax: 01-5595 360 E-mail: mato.fruk@tvz.hr

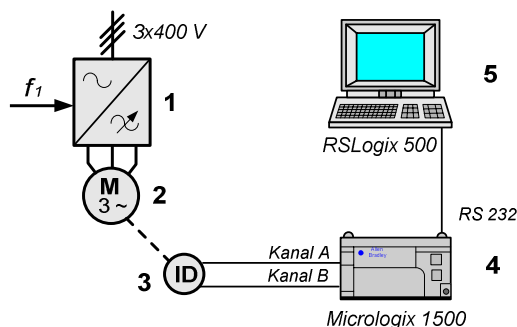
Sažetak - Procesi koji se odvijaju u modernim industrijskim pogonima zahtijevaju sklopove koji vrlo precizno mjere brzinu vrtnje elektromotora i ostalih rotacionih pogonskih uređaja.

Danas se potrebe za takvim upravljačkim sklopovima rješavaju uporabom inkrementalnih enkodera i programirljivih logičkih kontrolera s posebno prilagođenim internim sklopovima za prihvatanje signala viših frekvencija.

U ovom radu predstavljene su tri metode mjerenja brzine na laboratorijskom modelu opremljenom upravljivim elektromotornim pogonom, mjernom opremom i industrijskim računalom u kojem se vrši obrada informacija.

Na laboratorijskom modelu testiran je programski kod izrađen zasebno za svaku metodu mjerenja te su prikazani rezultati mjerenja, njihove prednosti i nedostaci.

motora. Na izlazno vratilo motora je mehanički spojen inkrementalni davač (3) koji na svom izlazu daje niz impulsa prikladnih za obradu (Sl. 1.).



Sl. 1. Principna shema mjerenja kutne brzine

I. UVOD

Strogi zahtjevi na upravljanje i rad elektromotornih pogona u većini postrojenja, proizvodnih i radnih procesa nalažu točno, brzo i pouzdano mjerenje brzine vrtnje motora i pozicije radnih mehanizama. Za digitalno mjerenje brzine vrtnje široku primjenu nalaze inkrementalni davači impulsa koji pretvaraju rotaciono gibanje osovine u niz impulsa prikladnih za obradu. Budući da se brzina rotacionog gibanja obično mjeri brojem okretaja u minuti, potrebno je niz impulsa s inkrementalnog davača na odgovarajući način obraditi u upravljačkom uređaju.

U ovom radu istražene su mogućnosti PLC računala standardne konfiguracije za mjerenje brzine vrtnje rotacionog gibanja. U tu svrhu korišten je laboratorijski model za mjerenje kutne brzine gdje je na izlazno vratilo motora mehanički spojen inkrementalni davač koji informaciju o brzini predaje na obradu u PLC računalu. Za obradu pristiglih impulsa s davača koriste se tri postupka: P postupak koji se temelji na brojanju impulsa inkrementalnog davača u unaprijed zadanom vremenu, T postupak koji se svodi na mjerenje periode impulsa inkrementalnog davača, dok se kombiniranjem ovih postupaka dobiva P/T postupak mjerenja brzine [2].

Uporabom izrađenog modela PLC računalo je programirano tako da može mjeriti brzinu sa navedenim metodama i prikazani su rezultati mjerenja.

II. LABORATORIJSKI MODEL ZA MJERENJE KUTNE BRZINE

Laboratorijski model za mjerenje kutne brzine sastavljen je od asinhronog trofaznog elektromotora (2) napajanog pretvaračem napona i frekvencije (1). Promjenom frekvencije na pretvaraču zadaje se željena brzina vrtnje

Standardni izlaz inkrementalnog davača ima dva niza pravokutnih impulsa A i B koji su međusobno pomaknuti za 90° električnih te signal markera nultog položaja NM. Fazno pomaknuti signali A i B služe za identifikaciju smjera rotacije. Ako pravokutni signal sa izlaza A prethodi signalu sa izlaza B, motor se vrti u smjeru kazaljke na satu. U protivnom, ako izlaz B prethodi izlazu A, motor ima suprotan smjer vrtnje. Izlaz NM daje jedan impuls za puni okret diska i koristi za provjeru točnosti rada enkodera te kao reset ili start signal.

Osnovno obilježje inkrementalnog davača je njegova rezolucija. Ona predstavlja broj impulsa izlaza A (ili B) po jednom okretu osovine davača i definirana je brojem otvora diska. Inkrementalni davač korišten u ovom rješenju ima rezoluciju 1200 impulsa/okretu.

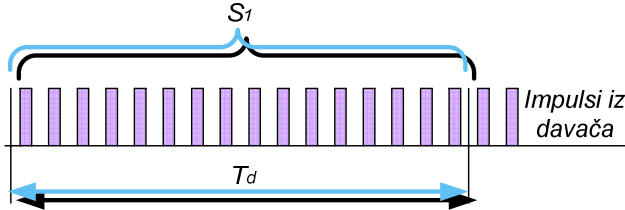
Impulsi sa izlaza A i B preko digitalnih ulaza pristižu na obradu u PLC računalu (4) koje je serijskom RS - 232 vezom povezano s osobnim računalom (5) na kojem se nalazi programski paket *RSLogix 500*. Programi za mjerenje brzine vrtnje pomoću navedenih metoda izrađeni su u ljestvičastom (engl. *ladder*) dijagramu unutar *RSLogix 500* programskog paketa.

III. RAZLIČITI POSTUPCI MJERENJA BRZINE VRTNJE

Mjerenje brzine vrtnje primjenom davača impulsa temelji se na frekvencijsko - digitalnoj (u daljnjem tekstu f/D) pretvorbi. Pri tome se frekvencija davača impulsa pretvara u paralelnu digitalnu informaciju prikladnu za daljnju obradu u upravljačkom uređaju, u ovom slučaju u PLC računalu. Osnovni postupci f/D pretvorbe su P i T postupci, te kombinirani P/T postupak koji objedinjuje dobra svojstva P i T postupaka.

A. Mjerenje brzine P postupkom

Mjerenje brzine P postupkom svodi se na brojanje impulsa davača u unaprijed zadanom vremenu. U definiranom stalnom periodu vremena očitava se broj impulsa pristiglih sa inkrementalnog davača koji se spremaju u registar S_1 (Sl. 2.).



Sl. 2. Princip f/D pretvorbe u P postupku

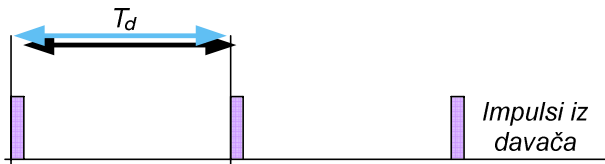
Kutna brzina se računa prema izrazu:

$$\Omega = \frac{2\pi S_1}{P T_d}, \quad (1)$$

gdje je Ω izmjerena brzina vrtnje (u rad/s), S_1 sadržaj brojila impulsa davača, P rezolucija davača impulsa (u impulsima po okretu), a T_d zadani konstantni vremenski period (s).

B. Mjerenje brzine T postupkom

Mjerenje brzine T postupkom temelji se na mjerenju impulsa davača. U tom slučaju mjeri se vrijeme između dva uzlazna brida signala davača (Sl. 3.).



Sl. 3. Princip f/D pretvorbe u T postupku

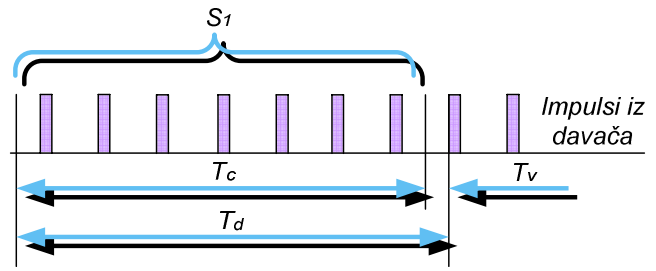
Kutna brzina se računa prema izrazu:

$$\Omega = \frac{2\pi}{P} \cdot \frac{1}{T_d}, \quad (2)$$

gdje je Ω izmjerena brzina vrtnje (u rad/s), P rezolucija davača impulsa (u impulsima po okretu), a T_d izmjereno vrijeme trajanja jednog impulsa davača (s).

C. Mjerenje brzine P/T postupkom

P/T postupkom kombinira se postupak brojanja impulsa inkrementalnog davača (P - postupak) i postupak mjerenja periode impulsa inkrementalnog davača (T - postupak). Princip f/D pretvorbe koji se koristi pri digitalnom mjerenju brzine vrtnje temeljnom na P/T postupku prikazan je na Sl. 4.



Sl. 4. Princip f/D pretvorbe u P/T postupku

Broje se impulsi davača tijekom unaprijed zadanog konstantnog vremenskog intervala T_c i mjeri se varijabilno vrijeme T_v koje protekne od isteka vremena T_c do pojave prvog rastućeg brida impulsa iz davača. Varijabilno vrijeme očitavanja T_d određeno je zbrojem unaprijed zadanog konstantnog vremena T_c i varijabilnog vremena T_v , a brzina se računa prema izrazu:

$$\Omega = \frac{2\pi}{P} \cdot \frac{S_1}{T_c + T_v}, \quad (3)$$

gdje je Ω izmjerena brzina vrtnje (u rad/s), P rezolucija davača impulsa (u impulsima po okretu), S_1 sadržaj brojila impulsa davača, T_c zadani konstantni vremenski period (s), a T_v izmjereno varijabilno vrijeme (s).

IV. PROGRAMSKA RJEŠENJA POSTUPAKA ZA MJERENJE BRZINE VRTNJE

Frekvencija impulsa koji pristižu iz davača na digitalne ulaze PLC-a je visoka pa se koriste brzo brojački (engl. *High Speed Counter*) ulazi PLC-a. Micrologix 1500 ima dva identična brza brojača koji rade neovisno jedan o drugom. HSC0 koji koristi ulazne stezaljke I:0/0 do I:0/3 i HSC1 koji koristi ulazne stezaljke I:0/4 do I:0/7.

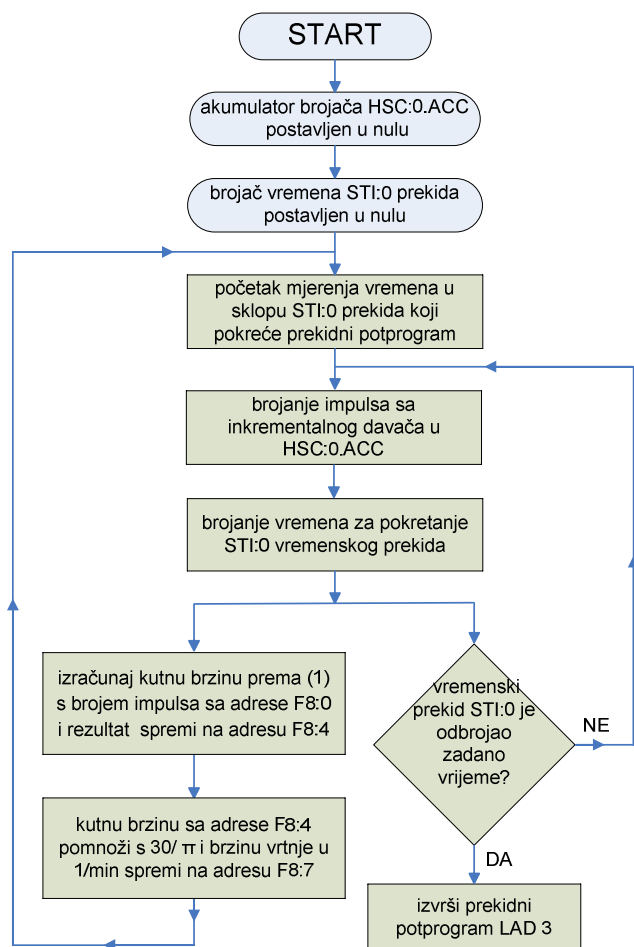
U RSLogix 500 programskom paketu brzim brojačima se pristupa preko funkcijske datoteke (engl. *Function File*) u kojoj se podeše parametri HSC-ova. Svaki HSC sadrži 36 podelemenata strukture bita, riječi ili duge riječi koji omogućuju nadzor brzog brojača ili pružaju informacije o statusu brojača koje se dalje koriste u upravljačkom programu.

Zbog visoke frekvencije impulsa na ulazu u PLC potrebno je u prozoru za konfiguraciju ulaza i izlaza (engl. *IO Configuration*) podesiti vrijeme razlučivosti digitalnih ulaza na 25 μ s. Ova vrijednost određuje vrijeme potrebno da ulazni filter registrira promjenu stanja signala na digitalnom ulazu.

A. Programsko rješenje P postupka

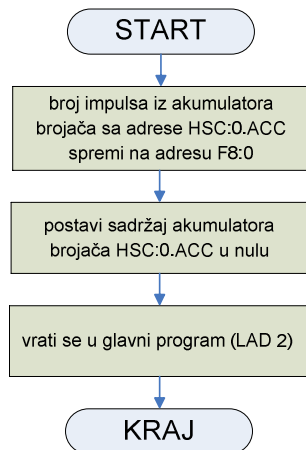
U ovom postupku se u zadanom vremenu od 40 ms broje impulsi davača. Vrijeme potrebno za aktiviranje TON (engl. *Timer On Delay*) mjerača vremena iznosi 1 ms, što je velika pogreška kada se mjeri vrijeme od 40 ms. Zbog toga se za očitavanje impulsa davača svakih 40 ms koristi vremenski prekidni (engl. *Selectable Timed Interrupt*) potprogram koji ima znatno manje vrijeme kašnjenja. U funkcijskoj datoteci na kartici *STI* podešeno je da se programska datoteka 3 (engl. *Program File*) izvršava svakih 40 ms.

Glavni program izvodi se u programskoj datoteci 2 (LAD 2). Kutna brzina se računa prema (1) s očitanim brojem impulsa sa adrese F8:0. Brzina vrtnje u okretajima po minuti se sprema na adresu F8:7. Slika 5. prikazuje tok glavne petlje programa.



Sl. 5. Dijagram toka glavnog programa (LAD 2)

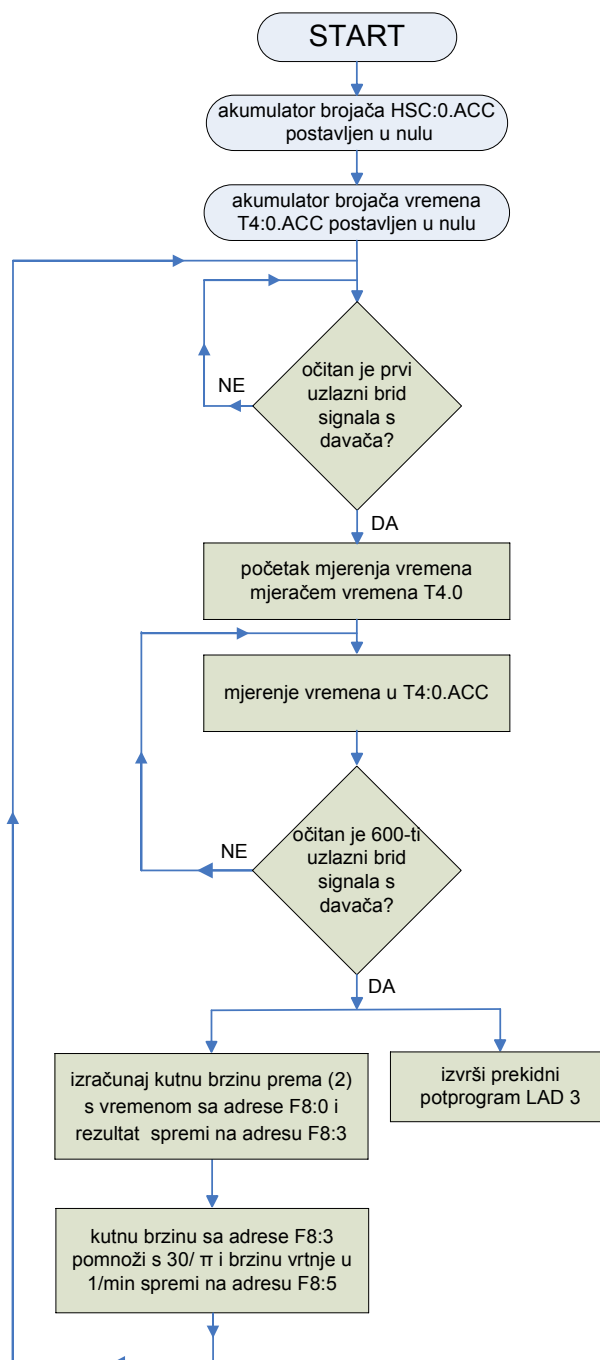
Vremenski prekidni potprogram izvršava se svakih 40 ms i koristi se za očitavanje broja impulsa iz akumulatora brzog brojača. Broj impulsa se sprema na adresu F8:0 a sadržaj akumulatora HSC:0 se postavlja u nulu (Sl. 6).



Sl. 6. Dijagram toka vremenskog prekidnog potprograma (LAD 3)

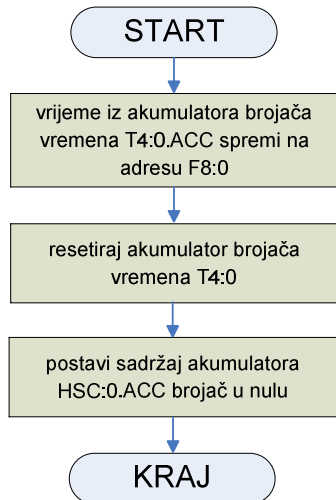
B. Programsko rješenje T postupka

Mjerenje brzine T postupkom se izvodi tako da se mjeri vrijeme koje prođe između dva uzlazna brida signala davača. Zbog nemogućnosti da se izmjeri vrijeme između svakog uzlaznog brida, jer MicroLogix 1500 nema vremenski član s vremenskom bazom manjom od 1 ms, mjeri se vrijeme pristizanja 600 impulsa. Za očitavanje vremena pristizanja 600 impulsa koristi se brzo brojački prekidni (engl. *HSC Interrupt*) potprogram. U funkcijskoj datoteci na kartici *HSC* podešeno je da se programska datoteka 3 izvrši svaki put kada akumulator brojača nabroji 600 impulsa. Slika 7. prikazuje tok glavne petlje programa.



Sl. 7. Dijagram toka glavnog programa (LAD 2)

Glavni program izvodi se u programskoj datoteci 2 (LAD 2). Mjerač vremena T4:0 počinje mjeriti vrijeme kada se očita prvi uzlazni brid signala s davača a zaustavlja se tek kada brzi brojač očitava 600 impulsa davača. Proteklo vrijeme se tada očitava u brzo brojačkom prekidnom programu (Sl. 8). Vrijeme se sprema na adresu F8:0 i resetiraju se sadržaji akumulatora brojača vremena T4:0 i brzog brojača HSC:0.



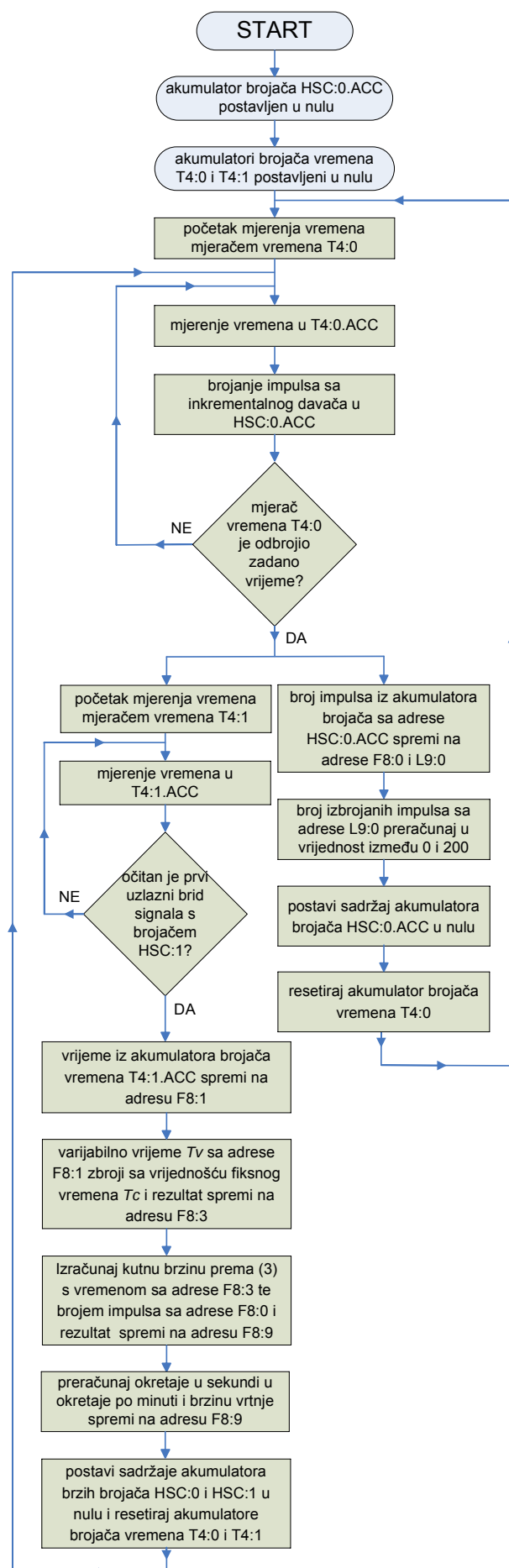
Sl. 8. Dijagram toka brzo brojačkog prekidnog programa (LAD3)

Kutna brzina se računa prema (2) s očitanim vremenom između 600 impulsa sa adrese F8:0 dok se brzina vrtnje u okretajima po minuti sprema na adresu F8:5.

C. Programsko rješenje P/T postupka

U izradi ovog postupka korištena sa oba brza brojača (HSC:0 i HSC:1). Zbog ograničenja vremenskog člana korištenog PLC-a nije moguće izmjeriti varijabilno vrijeme T_v unutar jednog impulsa. Ovaj problem je riješen tako da se unaprijed određeni broj impulsa broji kao jedan očitani. Prilikom programiranja potrebno je pažljivo balansirati između konstantnog vremena i broja impulsa. Ako se odabere premali vremenski period konstantnog vremena T_c kod malih brzina može se dogoditi da je varijabilno vrijeme T_v veće od konstantnog vremena pa se algoritam za računanje ne izvršava dobro. Također, ako se odabere premali broj impulsa za jedan očitani pri velikim brzina se ne stigne očitati varijabilno vrijeme T_v do prvog brida. Najbolji rezultati su ostvareni s konstantnim vremenskim periodom od 150 ms i da se svaki 200-ti impuls nakon isteka toga vremena broji kao jedan.

Cijeli program izvodi se u programskoj datoteci 2 (LAD 2). Tijekom konstantnog vremena od 150 ms, koje mjeri brojač vremena T4:0, broje se impulsi davača u akumulatoru brojača HSC:0. Pomoću izrađenog algoritma broj impulsa izbrojanih u konstantnom vremenu preračunava se u vrijednost između 0 i 200. Preračunata vrijednost broja impulsa prebacuje se u akumulator brzog brojača HSC:1. Nakon isteka konstantnog vremena mjerač vremena T4:1 mjeri varijabilno vrijeme potrebno da brojač HSC:1 izbroji 200 impulsa davača počevši od preračunate vrijednosti broja impulsa iz konstantnog vremena. Slika 9. prikazuje dijagram toka programa.



Sl. 9. Dijagram toka programa (LAD 2)

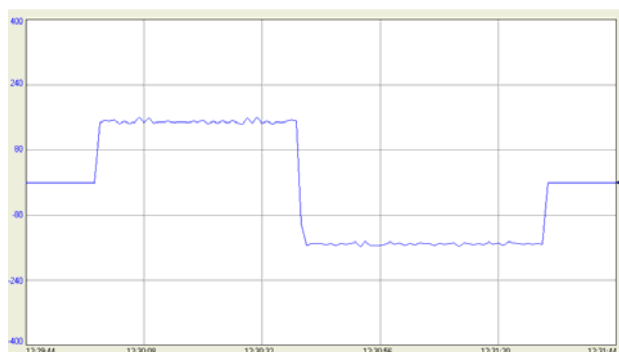
Kutna brzina se računa prema (3) s brojem impulsa sa adrese F8:0 i varijabilnim vremenom sa adrese F8:1. Brzina vrtnje u okretajima po minuti se sprema na adresu F8:9.

V. REZULTATI MJERENJA

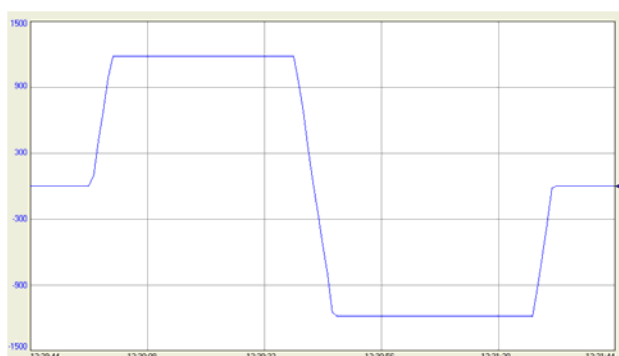
Isprogramirani postupci za mjerenje brzine vrtnje testirani su pri različitim brzinama vrtnje. Stvarne brzine uspoređene su s izmjerenim brzinama. Rezultati dobiveni mjerenjem brzine vrtnje primjenom PLC-a mogu imati odstupanja od stvarnih brzina vrtnje u granicama od $\pm 1\%$. Da bi se što bolje prikazala funkcionalnost programa mjerena je brzina vrtnje u oba smjera tako da se na dijagramu može vidjeti ubrzanje, usporenje i promjenu smjera vrtnje motora za zadanu brzinu. Rezultati mjerenja prikazani su grafičkom opcijom *Trend* unutar *RSLogix 500* programskog paketa.

A. P postupak

Na slikama 10. i 11. vidljivo je da kvaliteta mjerenja raste s povećanjem brzine vrtnje. Pri visokim brzinama vrtnje u odzivu nema valovitosti dok se na brzinama ispod 300 min^{-1} pojavljuje valovitost u mjernom signalu.



Sl. 10. Oscilogram izmjerene brzine vrtnje pri stvarnoj brzini vrtnje 150 min^{-1}



Sl. 11. Oscilogram izmjerene brzine vrtnje pri stvarnoj brzini vrtnje 1200 min^{-1}

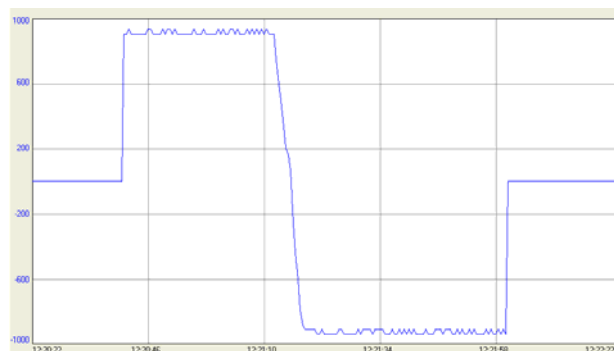
B. T postupak

Sa oscilograma na slikama 12. i 13. vidljivo je da je kvaliteta mjerenja bolja pri nižim brzinama vrtnje. Drugim riječima, ako je brzina prevelika (iznad 600 min^{-1}) u odzivu se pojavljuju velike valovitosti, a na brzinama većim od

1200 min^{-1} uopće se ne može mjeriti jer je vrijeme između svakog 600 - tog impulsa prekratko da bi se moglo izmjeriti.



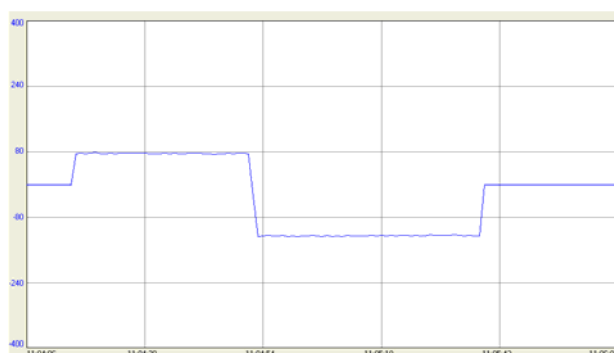
Sl. 12. Oscilogram izmjerene brzine vrtnje pri stvarnoj brzini vrtnje 150 min^{-1}



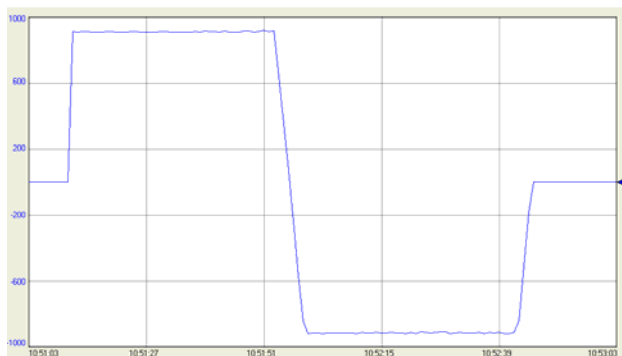
Sl. 13. Oscilogram izmjerene brzine vrtnje pri stvarnoj brzini vrtnje 900 min^{-1}

C. P/T postupak

P/T postupkom bi se brzina trebala točno izmjeriti na svim brzinama vrtnje. Međutim, ovom metodom nije bilo moguće točno izmjeriti brzinu manju od 120 min^{-1} . Kao što je vidljivo na slici 14., pri stvarnoj brzini od 90 min^{-1} izmjerena brzina iznosi oko 80 min^{-1} što ne zadovoljava pretpostavljenu točnost od $\pm 1\%$. Pri većim brzinama vrtnje ova metoda se pokazala pouzdanom uz zanemarive propade u izmjerenoj brzini vrtnje (Sl. 15.).



Sl. 14. Oscilogram izmjerene brzine vrtnje pri stvarnoj brzini vrtnje 90 min^{-1}



Sl. 15. Oscilogram izmjerene brzine vrtnje pri stvarnoj brzini vrtnje 900 min^{-1}

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu primjenom PLC računala testirana su tri postupka za mjernje brzine korištenjem inkrementalnog davača. Istraženo je za koja su područja brzina navedeni postupci primjenjivi pri korištenju PLC računala standardne konfiguracije.

Za visoke brzine najboljim se pokazao P postupak kojim se broje impulsi u konstantnom vremenskom intervalu. Ovim postupkom može se točno mjeriti na brzinama većim od 300 min^{-1} dok se pri nižim brzinama pojavljuje valovitost u mjernom signalu. Zbog ograničenja HSC-a moguće je mjeriti brzine do 1200 min^{-1} što odgovara frekvenciji impulsa od 20 kHz.

Za mjerenje nižih brzina vrtnje najboljim se pokazao T postupak kojim se dobro može mjeriti na brzinama do 600 min^{-1} dok se na višim brzinama pojavljuje valovitost. Budući da korišteno PLC računalo standardne konfiguracije nema vremenski član s dovoljno malom

vremenskom bazom mjereno je vrijeme pristizanja 600 impulsa davača što nimalo nije narušilo kvalitetu mjerenja.

P/T postupak je zbog ograničenja vremenskog člana PLC računala na 1 ms dosta složeno realizirati. Zbog toga ovom metodom nije bilo moguće mjeriti brzine ispod 120 min^{-1} . Da bi se ovim postupkom ostvarilo mjerenje brzine u čitavom području promjene brzine vrtnje potrebno je koristiti PLC računalo koje posjeduje vremenski član s dovoljno malom vremenskom bazom.

LITERATURA

- [1] G. Malčić: *Programabilni logički kontroleri*, skripta za kolegij Procesna računala, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, Zagreb, 2006.
- [2] N. Perić: *Digitalno mjerenje brzine vrtnje*; Automatika, Zagreb, 1990.
- [3] N. Perić, I. Petrović, *Automatizacija postrojenja i procesa*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za automatiku i procesno računarstvo, Zagreb 2004.
- [4] Allen Bradley: *MicroLogix 1200 and MicroLogix 1500 Programmable Controller Instruction set reference manual*, Publication 1762-RM001E-EN-P
- [5] L.A. Bryan, E.A. Bryan: *Programmable Controllers - Theory and Implementation*, Second Edition, An Industrial Text Company Publication, Atlanta, 1997.
- [6] H. Jack: *Automating manufacturing systems with PLCs*, 2003.
- [7] John R. Hackworth and Frederick D. Hackworth: *Programmable logic controllers: Programing methods and applications*, 2003.