

Beskontaktni tahometar

Ideja projekta je beskontaktno merenje ugaone brzine motora infracrvenom svetlošću. Infracrvenom diodom odašilja se svetlosni signal ka disku koji rotira na osovini motora. Signal se potom odbija i detektuje se fototranzistorom, pa se zatim prosleđuje mikrokontroleru radi obrade. Rezultati merenja se ispisuju na LCD displej.

Uvod

Tahometri su uređaji koji služe za merenje brzine rotacije osovine ili diska. Imaju veliku primenu u vozilima. Najpoznatija je primena merenja brzine rotacije radilica motora u automobilima. Prvi tahometar je bio mehanički, i princip njegovog rada zasniava se na merenju centrifugalne sile. Prvi tahometar je konstruisao Diedrich Uhlhorn, nemački inženjer. Taj tip tahometra je korišćen za merenje brzine mašina u 1817. godini. Od 1840. koriste se i za merenje brzina lokomotiva.

Danas su u upotrebi različite vrste tahometara, shodno zahtevima merenja. U industriji je česta primena tahogeneratora, tj. generatori naizmjenične ili jednostmerne struje. Merenje se ostvaruje priključivanjem tahogeneratora na osovinu koja rotira. Mehanički momenat se prenosi sa objekta merenja na osovinu tahogeneratora, koji tu mehaničku energiju pretvara u električnu energiju. U upotrebi su takođe reluktantni i induktivni pretvarači, koji se sastoje od jednog namotaja ili dva spregnuta namotaja u transformator. Reluktantni pretvarači imaju magnetsko kolo, čija se magnetna otpornost (reluktansa) menja usled obrtanja posmatranog objekta. Induktivni pretvarači slične su konstrukcije, ali nemaju feromagnetno jezgro. Treba pomenuti da objekat čija se ugaona brzina meri ima jedan ili više metalnih

zubaca raspoređenih po svom obodu. Pretvarač se postavlja u blizini objekta, tako da pri obrtanju zupci svojim prolaskom menjaju reluktansu, odnosno induktivnost mernog kola. Uz pomoć induktivnih pretvarača se ostvaruje beskontaktno merenje, ali mana je mali domet merenja, do nekoliko centimetara. Kada je neophodno ostvariti veći domet koriste se optoelektrični pretvarači ugaone brzine. Objekat koji se okreće prekida svetlost emitovanu svetlosnom diodom (laserska, infracrvena), prekid svetlosti se registruje fotoosetljivim elementom (fototpornikom, fototranzistorom). Ovim postupkom se dobija povorka impulsa učestanosti direktno srazmerno broju obraza diska. U praksi su našli primenu i tahometri na bazi Halovog efekta, kao i oni na bazi vihornih struja.

Metod rada

Beskontaktni način merenja se ostvaruje refleksijom infracrvene svetlosti. Uređaj meri brzinu obrtanja motora na čijoj se osovini nalazi disk ili neka druga površina koja može da reflektuje svetlost. Da bi uređaj funkcionisao potrebno je na disku izdvoji oblast koja neće odbijati svetlost. To se izvodi tako što se komad nereflektujućeg materijala pričvrsti za površinu diska. Na disk se šalje konstantan infracrveni signal koji proverava da li je disk napravio obrtaj. Prelazak zraka sa reflektujućeg na nereflektujući deo diska predstavlja jedan obrtaj.

Postoje dva načina merenja ugaone brzine. Prvi način sastoji se u tome da se meri vreme jednog obrtaja i da se uz pomoć toga izračuna brzina rotacije, dok se drugi način sastoji u tome da se za jedan određen vremenski period meri broj obrtaja. Merenje

Jovan Blanuša (1993), Indija, Cara Dušana – kratka 13, učenik 1. razreda Gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj“ u Novom Sadu

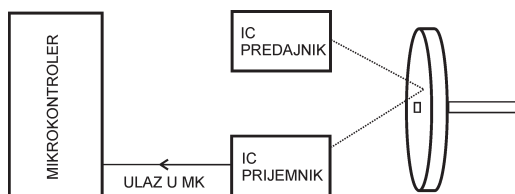
Stefan Vukanić (1990), Obrenovac, Braće Lazića 256, učenik 4. razreda Tehničke škole u Obrenovcu

MENTORI:

Teo Šarkić, Bitgear Wireless, Beograd

Marko Bežulj, student ETF u Beogradu

vremena između dva obrtaja za velike brzine je neprecizno jer je tada vreme jednog obrtaja malo, pa može doći do greške usled hardverskih ograničenja kontrolera. Pak, kod metoda pri kojem se direktno meri frekvencija rotirajućeg objekta greške nastaju pri malim brzinama. Tačnije, ukoliko je vreme za koje disk načini jedan obrtaj veće od vremena trajanja merenog ciklusa, neće doći do pravilne detekcije impulsa. Time će korisnik dobiti obaveštenje da je posmatrani objekat u stanju mirovanja.

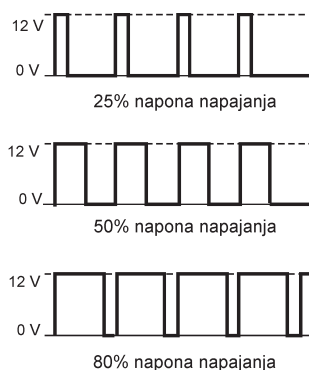


Slika 1. Blok šema sistema

Figure 1. Block scheme of the system

Opis sistema

Uređaj se sastoji iz prijemnika, predajnika i kontrolera (slika 1). Korišćen je kontroler PIC16F877A. Motor koji služi kao test jedinica, napaja se preko h-mosta. Mikrokontroler generiše PWM signal kojim se reguliše napon na izlazu h-mosta. Pulsno širinska modulacija ili PWM (eng. Pulse Width Modulation) predstavlja pravougaoni napon kome je



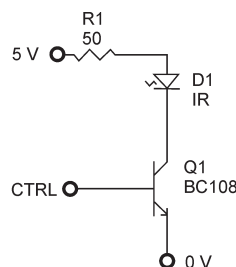
Slika 2. PWM signal

Figure 2. PWM signal

moгуće menjati odnos trajanja signala i pauze, tj. faktor ispunjenosti. Menjanjem faktora ispunjenosti dobija se napon drugačije amplitude na izlazu mikrokontrolera. Slika 2 prikazuje primere PWM-a za različite faktore ispunjenosti.

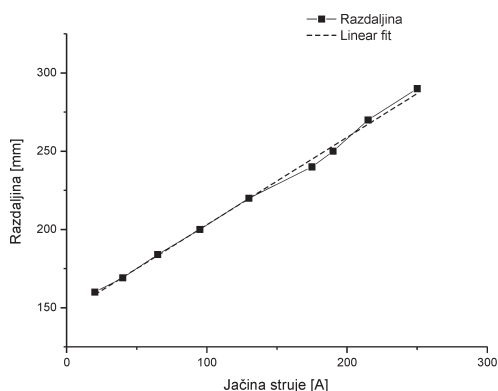
Predajnik

Predajnik je kolo sačinjeno od IC diode i tranzistora koji služi kao prekidač za uključivanje i isključivanje diode (slika 3). Maksimalna daljina merenja zavisi od jačine struje koja prolazi kroz diodu. Na slici 4 je data zavisnost maksimalne razdaljine od jačine struje. Sa ovog grafika primećuje se da razdaljina linearno zavisi od jačine struje, tako da se smanjivanjem otpornosti R1 na slici 3 povećava domet uređaja. Potrebno je voditi računa o maksimalnoj struji koja sme proteći kroz diodu. U protivnom će doći do pregorevanja diode.



Slika 3. Predajnik

Figure 3. Transmitter

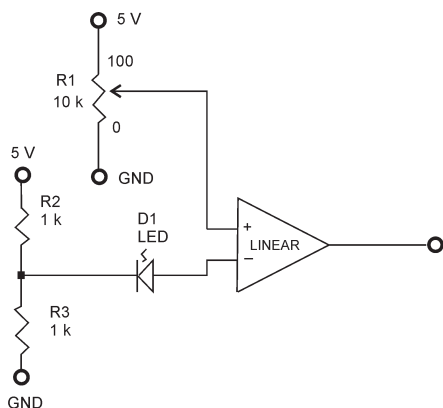


Slika 4. Zavisnost maksimalne daljine merenja od struje

Figure 4. Maximum measuring distance depending on current

Prijemnik

Reflektovani signal se u prijemniku transformiše u naponski signal pogodan za dalju obradu u mikrokontroleru. Na slici 5 je prikazano prijemno kolo. U ovom kolu operacioni pojačavač se koristi kao komparator. Prilikom osvetljavanja diode, napon na invertujućem kraju operacionog pojačavača poraste, a napon na neinvertujućem kraju operacionog pojačavača se podesi preko potenciometra na referentni napon. Ukoliko dioda nije osvetljena, napon na njoj će biti manji od referentnog napona, i na izlazu operacionog pojačavača je napon 5 V (logička jedinica), u suprotnom se na izlazu javlja napon od 0.4 V (logička nula). Napon od 0.4 V pri logičkoj nuli umesto 0 V javlja se zbog napona razdešenosti. Napon razdešenosti predstavlja statičku grešku. Otpornici R2 i R3 čine razdelnik napona, tj. javlja se pad napona od po 2.5 V na oba otpornika. Referentni napon je podešen na 3 V kako bi se izbegla moguća greška koja se javlja usled delovanja svetlosti okoline na diodu.

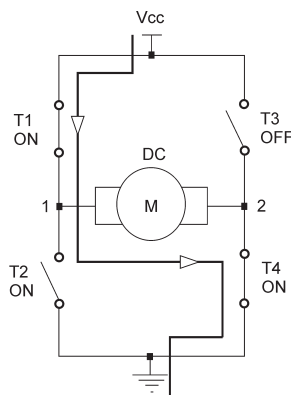


Slika 5. Prijemnik

Figure 5. Receiver

H-most

H-most je element koji služi za pokretanje motora. Predstavlja tranzistorsko kolo koje se koristi kao prekidački element. Može se predstaviti kao sistem od 4 prekidača (slika 6). U zavisnosti od stanja prekidača T1, T2, T3 i T4 osovina motora će rotirati u određenom smeru. Kad su prekidači T1 i T4 uključeni, struja će teći od tačke 1 ka tački 2 i



Slika 6. H-most

Figure 6. H-bridge

motor će rotirati u jednom smeru, a ako su uključeni T3 i T2, struja će teći od tačke 2 ka tački 1 i motor će rotirati u suprotnom smeru. Motor se zaustavlja tako što se prekidači T1 i T3 uključeni, jer su tada tačke 1 i 2 na istom potencijalu.

Algoritam

Pošto predajnik šalje konstantan svetlosni signal, prijemnik će dobiti samo onaj signal koji se odbio od reflektujućeg deo diska i taj će signal detektovati kao logičku nulu, u suprotnom kao logičku jedinicu. Bidirekcionni port RB0 se podešava kao ulazni port. Tako podešen RB0 služi kao prihvatni port za eksternu prekide (detaljan opis portova i njihovih funkcija može se naći u odeljku IV, PIC16F87XA priručnika na www.datasheetarchive.com). Na dati RB0 pin mikrokontrolera prosleđuje se signal koji šalje prijemnik. Kao što je pomenuto ranije, prijemnik mikrokontroleru šalje signal u TTL (Transistor-Transistor Logic) opsegu. To znači da je logička nula u granicama od 0 do 0.8 V, dok je logička jedinica od 2.2 do 5 V. Iz tih razloga nije potrebna naknadna obrada signala pre kontrolerskog stepena. Svaku promena izlaza prijemnika sa nule na jedinicu mikrokontroler registruje kao jedan obrtaj. Iteracijski ciklus algoritma je jedan sekund, te se nakon svakog ciklusa osvežava LCD displej.

Prekid (Interrupt)

Interrupt ili prekid je signal koji ukazuje na potrebu da se prekine glavni tok programa i izvrši

interapt rutina. Nakon izvršenja rutine prekoračenja glavni tok programa nastavlja sa radom. Postoje hardverski i softverski prekidi. Hardverski (eksterni) prekid zaustavlja izvršenje programa pri dobijanju signala iz nekog električnog kola, dok se softverski definiše programski. U radu su korišteni tajmerski (softverski) prekid na prekoračenje za Timer 0 i hardverski prekid na RB0 pinu. Hardverski prekid na RB0 pinu se generiše pri promeni stanja na datom pinu. Programski se definiše da li će reagovati na promenu uzlazne ili silazne ivice signala.

Timer 0

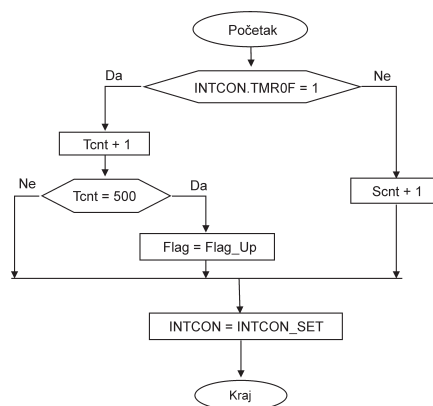
Timer 0 predstavlja 8-bitni brojač, koji generiše prekid pri prekoračenju maksimalne vrednosti registra (Overflow). Brojač tajmera se uvećava za određeni broj instrukcijskih ciklusa. Takt koji se dovodi na pin OSC1 oscilatora u mikrokontroleru deli se na četiri vremenski nepreklapajuća taktna signala. Skup ovih signala čine jedan instrukcijski ciklus (Đorđević i Đorđević 2008). Pošto instrukcijski ciklus traje četiri oscilatorska takta, frekvencija izvršavanja instrukcija je četiri puta manja od frekvencije oscilatora. Ukoliko je potrebno sa modulom tajmera može da se koristi programabilni 8-bitni preskaler (delilac frekvencije) sa odnosima deljenja od 1:2 do 1:256. Od preskalera zavisi pri kolikom broju instrukcijskih ciklusa će se uvećati tajmerski brojač. U algoritmu delilac frekvencije podešen je na odnos 1:16.

Opis algoritma

Program radi tako što se u toku jedne sekunde meri broj prekida registrovanih na RB0 pinu, čija je učestanost direktno srazmerna broju obrtaja. Mikrokontroler koristi oscilator frekvencije 8 MHz, iz čega sledi da je frekvencija izvršavanja instrukcija 2 MHz pa je vreme izvršavanja jedne instrukcije potrebno 0.5 μ s. Timer 0 se postavlja na vrednost 6 tako da mu do prekoračenja treba 250 taktova, a preskaler se podesi tako da se takt tajmera traje 16 instrukcijskih ciklusa. Pošto jedan instrukcijski ciklus traje 0.5 μ s Timer 0 za jedno prekoračenje izmeri $250 \cdot 16 \cdot 0.5 \mu\text{s} = 2000 \mu\text{s}$, tj. 2 ms. Program broji svaki 500. tajmerski prekid. Kada protekne jedna sekunda vrši se ispisivanje izmerene vrednosti.

U inicijaciji programa, omogućuje se prekidna rutina. Takođe se aktivira i resetuje PWM signal radi regulacije brzine rotacije osovine motora.

Na slici 7 prikazan je algoritam interapt rutine. U zavisnosti od vrste prekida, poziva se odgovarajuća rutina i izvršava određena naredba. U slučaju kada hardverski prekid pozove rutinu uvećava se vrednost brojača obrtaja, dok prilikom poziva tajmerskog prekida uvećava se vrednost brojača vremena. Kad brojač vremena dođe do vrednosti 500 postavlja marker i poziva se funkcija koja računa i ispisuje ugaonu brzinu uz pomoć izmerenog broja obrtaja.



Slika 7. Algoritam

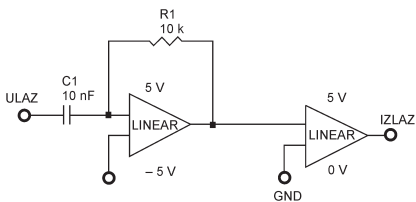
Figure 7. Algorithm

Verifikacija sistema

Ispitivanje tačnosti merenja

Radi provere tačnosti uređaja upotrebljeno je kolo za merenje broja strujnih pikova na četkicama motora. Strujni pikovi se javljaju svaki put kada četkica pređe preko sastava na kolektoru rotora. Ako je poznat broj pikova u jednom obrtaju, njihovim brojanjem u toku jedne sekunde dobija se frekvencija okretanja rotora. Sa otpornika koji je vezan redno u kolo motora dovodi se signal na ulaz kola za diferenciranje.

S obzirom da je signal koji očekujemo na ulazu kola impulsnog oblika, korišćićemo aktivni diferencijator da bismo ga pretvorili u pravougaoni signal, koji osciluje oko nule. Taj signal se prosleđuje na neinvertujući ulaz komparatora i rezultat obrade je pravougaoni napon u granicama od 0 do 5 V.



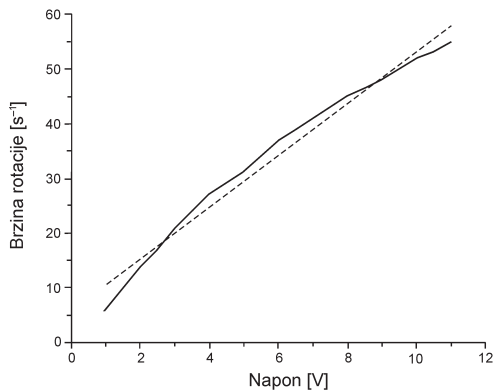
Slika 8. Komparator

Figure 8. Comparator

Rezultati

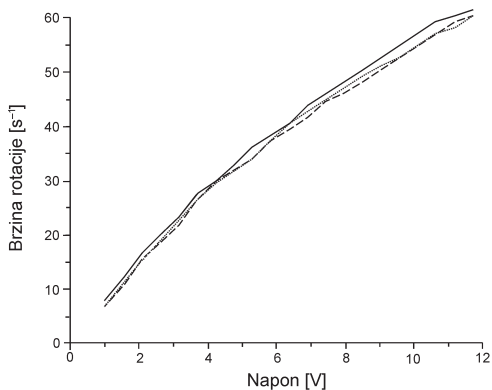
Na slici 9 punom linijom je prikazana zavisnost rotacije diska od napona napajanja motora. Vršena su merenja u intervalu od 1 V do 11 V sa korakom od 0.5 V. Očekivano je da brzina rotacije bude direktno proporcijalna naponu napajanja, što sledi iz karakteristike DC motora. Dobijeni rezultati su približno linearni, pri čemu odstupanje od linearnosti (isprekidana linija) proizilazi iz činjenice da je osovina motora opterećena diskom koji nije apsolutno centričan.

Grafik na slici 10 predstavlja tri uzastopna merenja pri istim uslovima. Primećuje se da su rezultati ponovljivi. Tačnost merenja se proveravala pomoću kola za brojanje strujnih pikova (slika 8). Pri proveravanju tačnosti dobijeni su rezultati približni merenim sa odstupanjem do 2 obrtaja po sekundi (slika 11). Maksimalna brzina do koje je sistem stabilan je 60 obrtaja po sekundi, za sve brzine veće od navedene kontroler ispisuje nasumične vrednosti merenja.



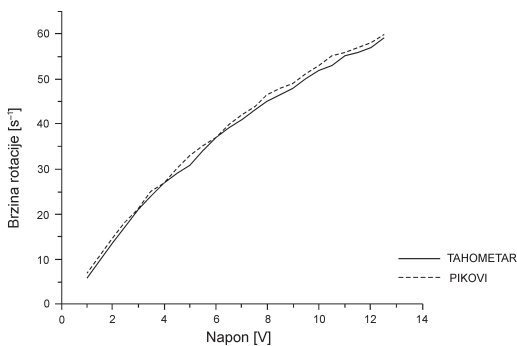
Slika 9. Karakteristika tahometra

Figure 9. Tachometer characteristic



Slika 10. Tri uzastopne karakteristike

Figure 10. Three sequential characteristics



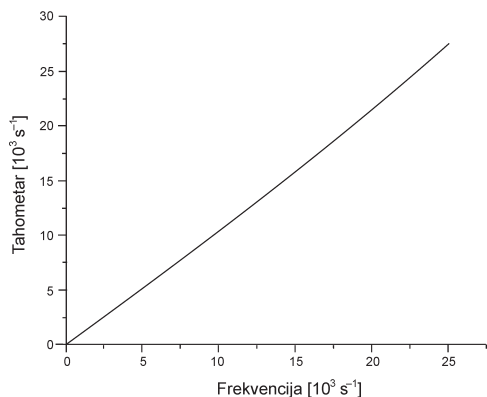
Slika 11. Strujni pikovi

Figure 11. Current peaks (dotted line)

Razlog ovog nedostatka je i dalje neistražen, ali pretpostavka je da greška nastaje u mernom kolu.

Ispravnost algoritma ispitana je dovođenjem kvadratnih impulsa sa funkcijskog generatora na ulaz mikrokontrolera. Eksperiment je pokazao da je merni opseg uređaja od 0 Hz do 19.5 kHz. Rezultati merenja prikazani su grafikom na slici 12.

Prekidna rutina traje 4 μ s, i za vreme njenog trajanja zaustavlja se izvršenje glavnog toka programa. Obzirom da se brojanje impulsa vrši u tom intervalu, neće doći do registrovanja impulsa koji su se tada ostvarili. Iz toga proizilazi da će se javiti primetna greška ukoliko je frekvencija ulaznog signala reda 10 kHz (slika 12).



Slika 12. Tačnost algoritma

Figure 12. Algorithm accuracy

Zaključak

Ostvareno je beskontaktno merenje ugaone brzine. Uređaj meri ugaone brzine do 3600 obrtaja po minutu, sa grešom merenja do 120 obrtaja po minuti. Mana sistema je mali merni domet, do 30 cm. Dati princip je pogodan za merenje ugaone brzine u nepristupačnim sredinama. U daljem radu osnovni cilj bio bi poboljšanje karakteristika uređaja: daljine, opsega i tačnosti merenja. Daljina merenja se može ostvariti kratkotrajnim propuštanjem struje reda 200 mA kroz predajnu diodu. Da bi se sprečilo pregorevanje diode, ona se naizmenično uključuje i isključuje. Tako dioda teoretski šalje svetlost kao povorku signala. Opseg i tačnost merenja bi se poboljšale upotrebom metode merenja proteklog vremena između dva svetlosna signala.

Zahvalnost. Zahvaljujemo se saradnicima na datoj pomoći i trudu koji su uložili u realizaciji projekta.

Literatura

Đorđević D., Đorđević Ž. 2008. Komunikacija mikrokontrolera PIC16F877-20 preko SPI modula. Seminarski rad iz mikroprocesorskih sistema, Elektronski fakultet u Nišu. Dostupno na: <http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/Djordjevic-Djordjevic-SPI-PICs.pdf>

Hadžić-Pešić D., Stanković D. 2004. *Elementi automatizacije za II razred elektrotehničke škole*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva

[http://www.datasheetarchive.com/PIC16F877A Data Sheet](http://www.datasheetarchive.com/PIC16F877A>Data%20Sheet)

http://www.ikalogic.com/d_tach.php

Jovan Blanuša and Stefan Vukanić

Contactless Tachometer

The idea of this project is contactless measurement of angular velocity with the use of infrared light. An infrared diode is used to transmit the IR signal towards the rotating disc. The signal reflected from the surface of the disc is being detected by the fototransistor in the receiver circuit. The electric signal generated in the receiver is then forwarded to the microcontroller for processing. Measurement results are displayed on a LCD display. 