

Dva jednostavna anemometra sa automatskim beleženjem podataka

Realizovana su dva anemometra – digitalni i analogni, nazvani tako po sensorima koje koriste. Digitalni anemometar koristi Haal-ov senzor i radi na principu frekvencmetra, dok analogni koristi elektromotor i A/D konvertor (koji je takođe napravljen). Prednost ovih anemometara nad klasičnim je da su povezani sa računarom što omogućava automatsko beleženje brzina vetra. Nakon izvršenih merenja karakteristika utvrđeno je da je digitalni anemometar pogodniji za upotrebu.

Uvod

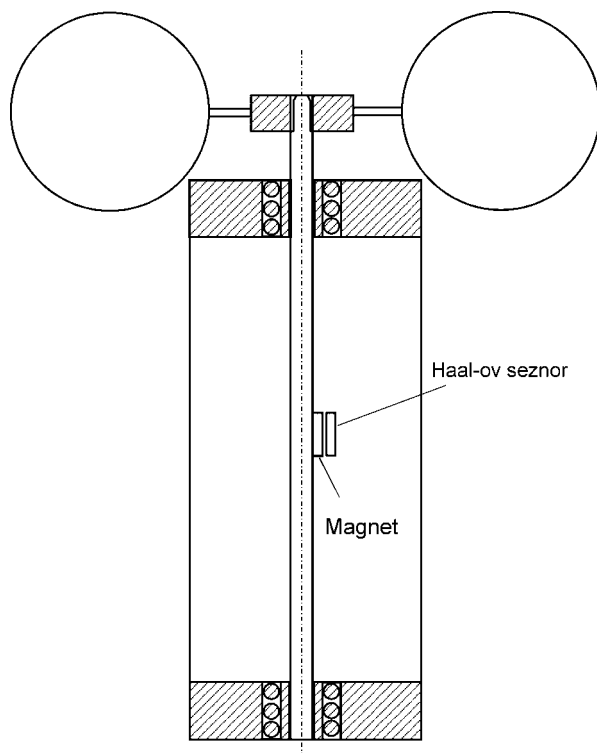
Anemometar je uređaj koji se koristi za merenje protoka fluida. Konkretno u meteorologiji, anemometar je uređaj koji se koristi za merenje brzine vetra. U ovom radu razmatra se jednostavan anemometar koji, s obzirom na vrstu senzora koju koristi, ima dve verzije – digitalnu i analognu.

Digitalni anemometar koristi Haal-ov (Hol) senzor. Da bi se on mogao koristiti, na rotirajuću osovinu anemometra pričvršćen je magnet, tako da je njegov južni pol okrenut ka Haal-ovom senzoru. Izabran je senzor koji na svom izlazu daje TTL kompatibilne impulse koji se u intervalu od 1 s broje i na osnovu njih se izračunava brzina vetra.

Analogni anemometar koristi elektromotor čija je osovinu prenosnikom spojena sa rotirajućom osovinom anemometra. Elektromotor se koristi kao generator napona. Izlaz elektromotora se vodi na A/D (analogno-digitalni konvertor) koji digitalizacijom izlaza elektromotora omogućava korišćenje signala na računaru.

Postoje razne vrste anemometara, s obzirom na njihovu mehaničku konstrukciju. Neke od njih koriste ploču koju vetar, u zavisnosti od svoje brzine, pomera za odgovarajući ugao. Konceptijski različita konstrukcija je osovinu sa tri ili četiri polulopte koju vetar okreće. Takva konstrukcija (slika 1) je korišćena pri sastavljanju našeg anemometra.

*Dušan Grujić (1981),
Požarevac,
Proleterska 14,
učenik 3. razreda
Gimnazije "Jovan
Šerbanović" u
Požarevcu*

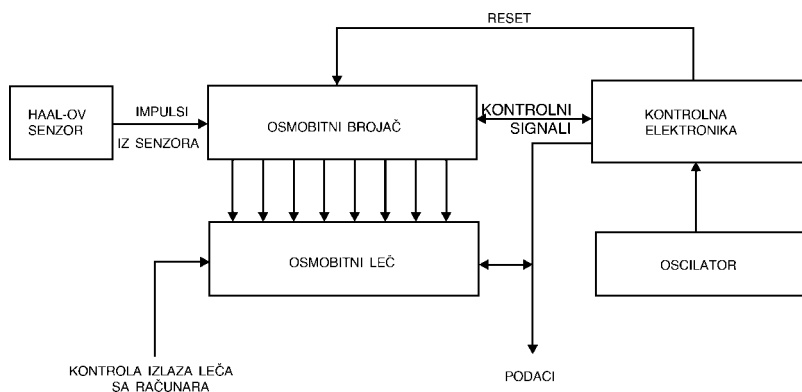


Slika 1.
Mehanička
konstrukcija
anemometra.

Figure 1.
Mechanical
construction of
anemometer.

Princip funkcionisanja digitalnog anemometra je veoma sličan principu funkcionisanja frekvenmetra (broji impulse u jedinici vremena. Blok-šema ovog tipa anemometara data je na slici 2. Glavni delovi su Haal-ov senzor, osmobitni brojač i leč, kontrolna elektronika i osilator.

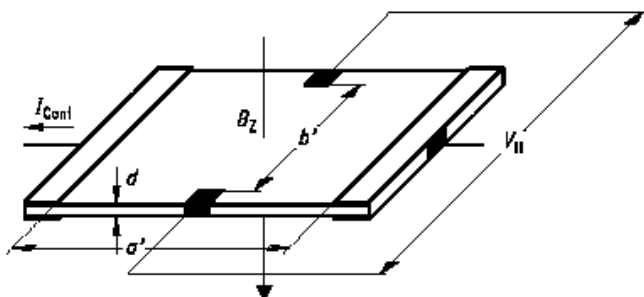
Haal-ov senzor je senzor koji može da detektuje stacionarna magnetsna polja, kao i dinamička. Zasniva se na Haal-ovom efektu, nazvanom po istraživaču koji ga je otkrio (Edwin Haal, otkrio je efekat 1879). Haal-ov element (npr. četvrtasto parče poluprovodnika) se napaja konstantnom strujom.



Slika 2.
Blok šema digitalnog
anemometra.

Figure 2.
Simplified digital
anemometer circuit
diagram.

Kada se nađe u magnetnom polju koje je normalno na tok struje usled Lorencove sile dolazi do skretanja naelektrisanja. Ovo skretanje je normalno i na magnetno polje i na tok struje i prouzrokuje razliku potencijala koja se može meriti, tzv. Haal-ov napon. Haal-ov napon je direktno srazmeran jačini magnetnog polja, tako da se Haal-ov element može koristiti kao sredstvo merenja jačine magnetnog polja, bilo ono stacionarno ili dinamičko.



A/D konvertor (analogno-digitalni konvertor) je uređaj koji se koristi za pretvaranje analognog signala u digitalni oblik. Idealni A/D konvertor predstavlja sve analogne ulaze u određenom opsegu konačnim brojem digitalnih izlaza, za bilo koju frekvenciju ulaznog signala. Svaki od digitalnih izlaza predstavlja deo vrednosti analognog ulaza. Koju vrednost predstavlja bit sa najmanjom važnošću (Least Significant Bit – LSB) može se izračunati formulom $V_{LSB} = \frac{FS}{2^n}$, gde je FS maksimalni ulazni napon, a n broj bitova. Analogna vrednost koju predstavlja LSB je veoma važna veličina jer pokazuje na koliko se delova može podeliti maksimalni ulazni napon, tako da vrednost LSB predstavlja rezoluciju A/D konvertora. Postoji više tipova A/D konvertora, od kojih se dva masovno koriste zbog svojih performansi (odnos tačnost / brzina / kompleksnost / lakoća realizacije / cena je najoptimalniji). Prvi tip A/D konvertora (integratorski) meri vreme koje je potrebno da bi se kondenzator napunio do određenog nivoa. Zbog nelinearnog porasta napona na kondenzatoru performanse ovog tipa A/D konvertora mogu da variraju u velikim granicama u zavisnosti od konstrukcije elektronike koja meri vreme potrebno za punjenje kondenzatora. Drugi tip A/D konvertora konvertuje vrednost analognog ulaza u digitalni signal sukcesivno-aproksimativnom metodom. Sukcesivno-aproksimativna metoda se može opisati kao metoda postepenog (sukcesivnog) smanjivanja koraka aproksimacije u cilju što tačnije konverzije. Na slici je prikazana blok šema ovog tipa A/D konvertora, kao i kako se A/D konvertor približava tačnom naponu.

Slika 3.

Izgled Haal-ovog elementa sa označenim parametrima

I_{Cont} – struja kroz provodnik

B_z – magnetna indukcija

d – debljina provodničke ploče

R_H – Haal-ova konstanta za dati provodnik

V_H – Haal-ov napon

Figure 3.

Haal element with marked parameters

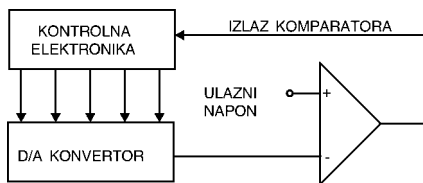
I_{Cont} – current thorough conductor

B_z – magnetic induction

d – thickness of conductor

R_H – Haals constant for specific conductor

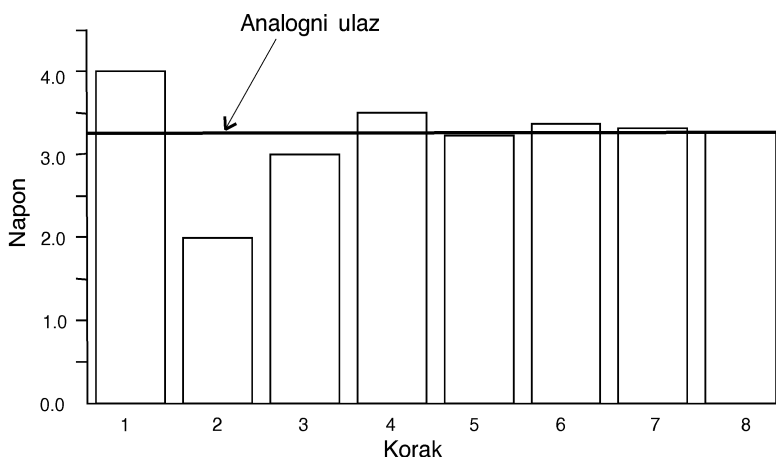
V_H – Haals voltage



Slika 4.
Blok šema A/D konvertora sukcesivno-aproksimativnog tipa.

Figure 4.
Simplified A/D converter circuit diagram.

Po početku konverzije kontrolna elektronika postavlja MSB (Most Significant Bit – bit sa najvećom vrednošću) D/A (digitalno-analognog) konvertora na jedinicu i čita stanje sa komparatora. Ukoliko je ulazni napon veći od izlaza D/A konvertora taj bit se postavlja na jedinicu do kraja konverzije, u suprotnom se postavlja na nulu. Isti postupak važi za sve bite.



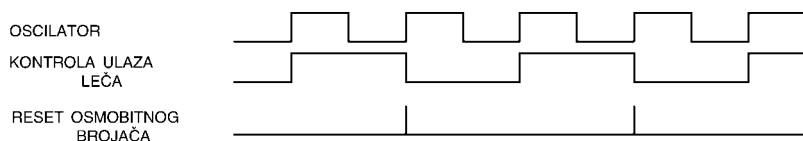
Slika 5.
Sukcesivno približavanje (aproksimacija) tačnoj vrednosti.

Figure 5.
Successive approaching (approximation) to real value.

Realizacija instrumenata i njihove karakteristike

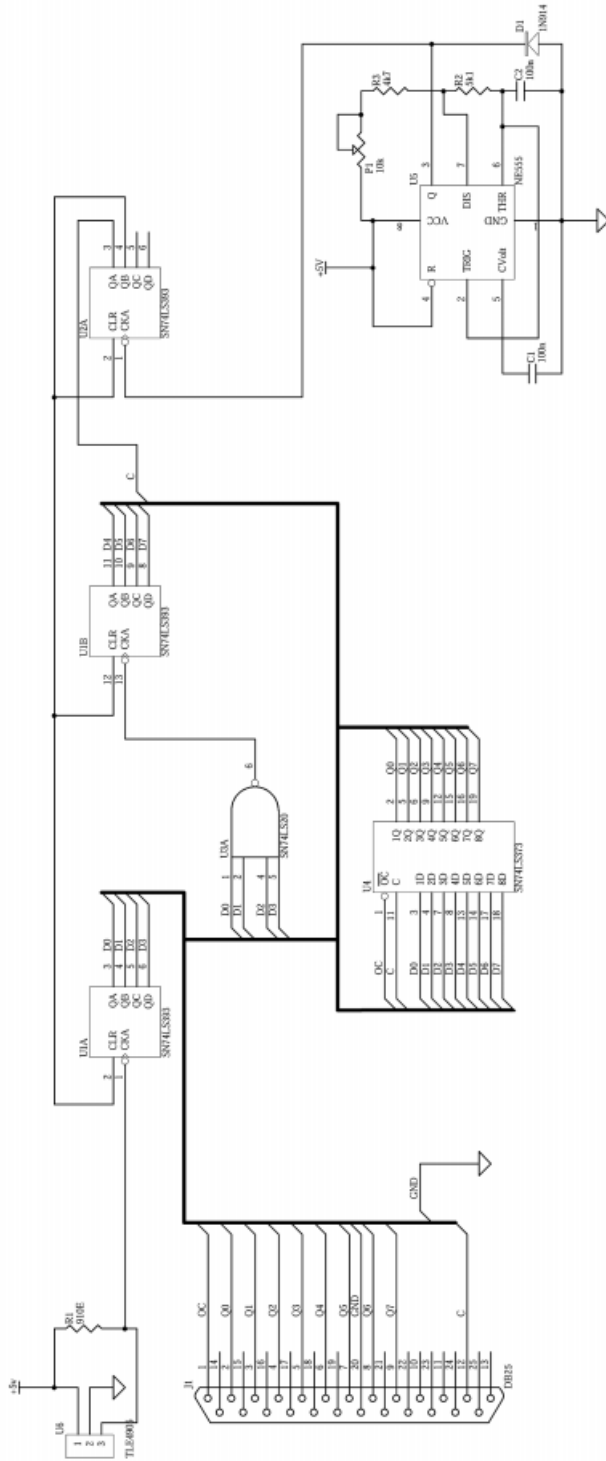
Digitalni anemometar

Električna šema digitalnog anemometra je prikazana na slici 7. Osmobitni brojač broji impulse iz Haal-ovog senzora. Kontrolna elektronika na prvu pozitivnu ivicu oscilatora daje signal osmobitnom leča da prati stanje na svojim ulazima, a na drugu pozitivnu ivicu isključuje ulaze leča i resetuje brojač, kao što je predstavljeno na slici 6. Kada je signal koji se vodi na računar na logičkoj nuli, onda podaci na izlazu leča predstavljaju izmereni broj impulsa u intervalu od jedne sekunde.



Slika 6.
Talasni oblici u kolu.

Figure 6.
Waveforms in circuit.



Slika 7.
Električna šema
digitalnog
anemometra.

Figure 7.
Digital anemometer
circuit diagram.

Kod digitalnog anemometra potrebno je samo potencijetrom P1 podesiti frekvenciju oscilatora (NE555) na frekvenciju od 2 Hz. Jedini izvor greške merenja, pored frekvencije oscilatora, je upotreba diskretnih vrednosti za predstavljanje broja obrtaja, tako da greška zavisi od veličine lopatica. Maksimalna greška u merenju brzine jednaka je obimu kruga koji opisuju krajnje tačke lopatica. Ona je posledica upotrebe diskretnih vrednosti za broj obrtaja, jer se 2.1 i 2.9 obrtaja u sekundi mere kao 2 obrtaja.

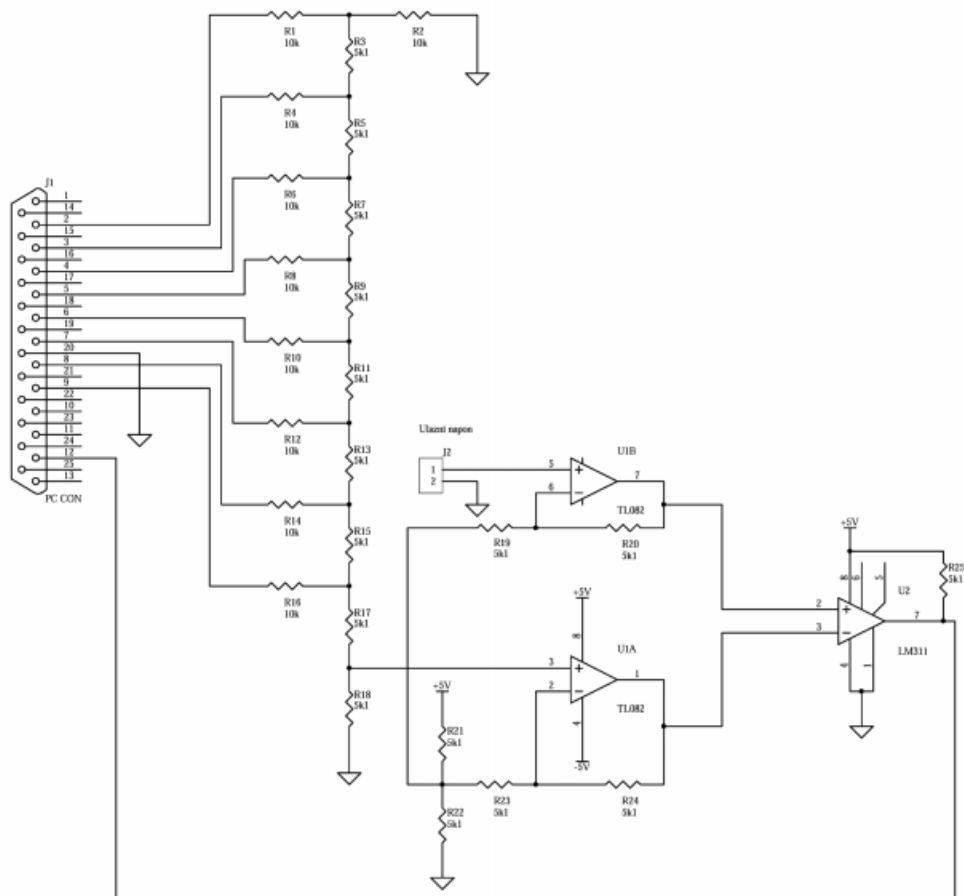
Za čitanje vrednosti sa digitalnog anemometra napisan je unit koji se može koristiti u svim PASCAL orijentisanim programskim jezicima. Listing ovog unit-a je dat u prilogu 1.

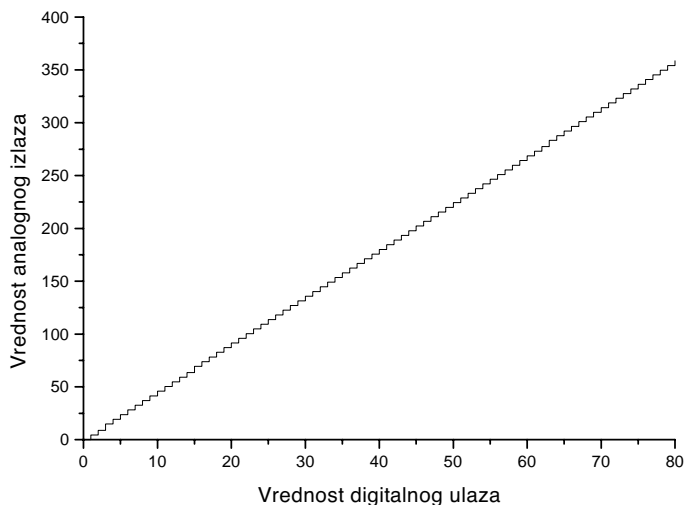
Analogni anemometar

Naš analogni anemometar se sastoji iz elektromotora i A/D konvertora. Izlaz elektromotora je spojen sa ulazom A/D konvertora. Na ovaj način možemo izmeriti brzinu obrtanja osovine na koju je elektromotor povezan, koja je srazmerna brzini vetra.

Slika 8.
Električna šema A/D konvertora.

Figure 8.
A/D converter circuit diagram.



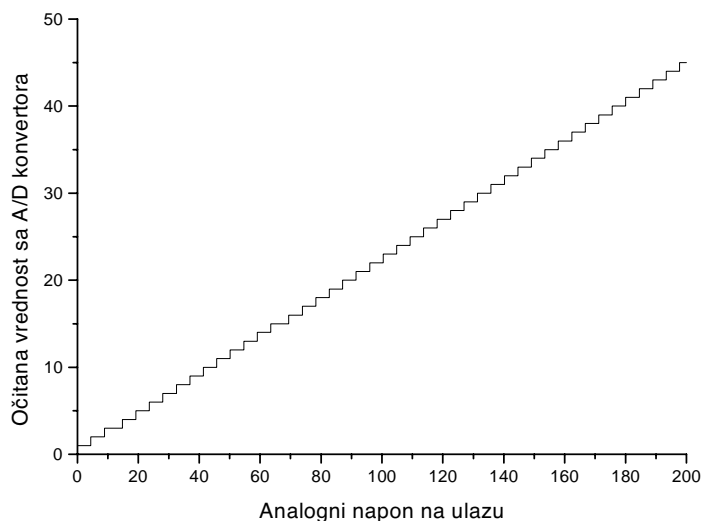


Slika 9.
Vrednosti dobijene
merenjem
karakteristika D/A
konvertora.

Figure 9.
D/A converter
transfer function.

A/D konvertor koji je realizovan otpornicima R1-R18 i komparatorom (slika 8). Da bi se odredila karakteristika A/D konvertora, bilo je potrebno je odrediti karakteristiku D/A konvertora koji čine otpornici R1-R18. Određivanje karakteristike D/A konvertora je urađeno na sledeći način: na ulaze D/A konvertora su dovodene sve kombinacije (ukupno 256) ulaznih signala i meren je napon na izlazu kola. Rezultati su uneti grafik (slika 9) i određene su karakteristike D/A konvertora.

Po određivanju karakteristike D/A konvertora pristupljeno je određivanju karakteristike kompletnog A/D konvertora. Korišćen je unit koji je dat u prilogu 2 za očitavanje vrednosti A/D konvertora koje su beležene



Slika 10.
Zavisnost vrednosti
izlaza A/D konvertora
od ulaznog napona.

Figure 10.
A/D converter
transfer function.

zajedno sa vrednošću ulaznog napona. Na osnovu izmerenih vrednosti je nacrtan grafik (slika 10).

Operacioni pojačavači U1A i U1B su postavljeni da bi se izlazu D/A konvertora i ulaznom naponu dodao ofset napon. Ofset napon je potreban da bi komparator (LM311) ispravno funkcionisao, jer kada mu se na ulaze dovedu naponi koji su bliski naponima napajanja stanje na izlazu se ne može unapred odrediti.

Maksimalna frekvencija smplovanja (na računaru sa Intel Celeron procesorom na 300MHz) je 35 kHz. Metoda merenja maksimalne frekvencije smplovanja je veoma jednostavna. Naime, program za očitavanje vrednosti A/D konvertora, čiji je listing dat u prilogu 3, maksimalnom mogućom brzinom snima vrednosti analognog ulaza. Na ulaz A/D konvertora je doveden signal frekvencije 100Hz i pokrenut program. U programskom paketu Microcal Origin 5.0 je izmereno da je A/D konvertor snimio jednu periodu ulaznog singala sa 350 smplova. A/D konvertor je u vremenskom intervalu od 0.01 s uzeo 350 uzoraka, tako da je 350 uzoraka / 0.01 s = 35000 uzoraka u sekundi, tj. maksimalna frekvencija smplovanja je 35 kHz. Za očitavanje vrednosti napona korišćen je instrument Fluke 50, tako da je veoma mala greška uneta pri merenju (reda 0.01%).

Karakteristike digitalno-analognog konvertora:

Greška ofseta – 0.23 mV

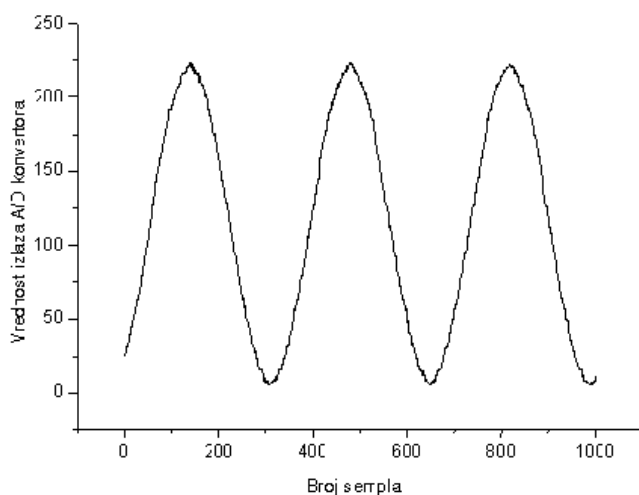
Vrednost LSB – 4.4260.002 mV

Karakteristike analogno-digitalnog konvertora:

Maksimalna frekvencija smplovanja – 35 kHz

Minimalni ulazni napon – 1 mV

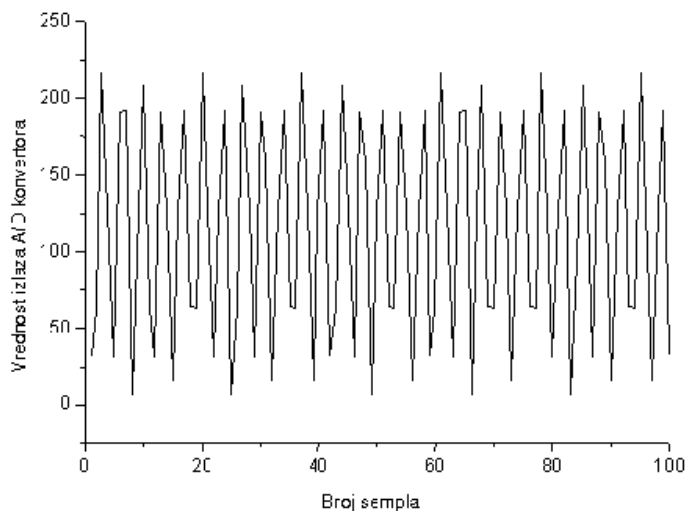
Vrednost LSB – 4.4260.002 mV



Slika 11.
Izgled snimljenog
signala frekvencije
100 Hz.

Figure 11.
Sinusoidal waveform
 $f=100$ Hz recorded
with A/D converter.

Snimljeni signal frekvencije 100 Hz je predstavljen na grafiku (slika 11). Radi upoređivanja snimljen je sinusoidalni signal frekvencije 10 kHz, koji je predstavljen na grafiku (slika 12).



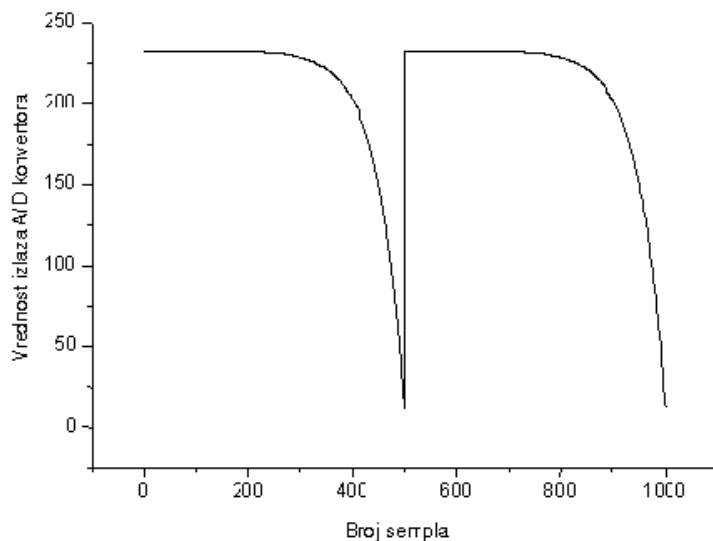
Slika 12.
Izgled snimljenog
signala frekvencije 10
kHz.

Figure 12.
Sinusoidal waveform
 $f=10$ kHz recorded
with A/D converter.

Po snimanju karakteristike A/D konvertora pristupljeno je snimanju izlaznog napona elektromotora u zavisnosti od brzine obrtanja osovine, jer se osovina elektromotora preko prenosnika vezuje za rotirajuću osovinu mehaničke konstrukcije anemometra. Dobijeni su neočekivani podaci, koji su predstavljeni na grafiku (slika 13). Naime, zavisnost napona od brzine obrtanja osovine elektromotora je izuzetno nelinearna. Pojavljuju se impulsi čija je amplituda i frekvencija zavisna od ugaone brzine obrtanja osovine. Zbog ove komplikovane zavisnosti nije pristupljeno daljem razvijanju softvera koji će na osnovu vrednosti dobijenih A/D konvertorom računati brzinu vetra. Posebna teškoća pri merenju napona koji daje elektromotor A/D konvertorom je to što pri većim brzinama amplituda izlaza elektromotora raste, tako da dolazi do prekoračenja opsega i samim tim dolazi do netačnog merenja.

Zaključak

Iz analize rezultata merenja može se zaključiti da je digitalna varijanta anemometra neuporedivo jednostavnija za sklapanje i testiranje, a uz to i daje rezultate koji se lako interpretiraju. Usavršavanje A/D konvertora i dodavanje elektronike koja će raditi autorange funkciju bi bilo usavršavanje sadašnjeg projekta i verovatno bi dalo dobre rezultate.



Slika 13.
Izgled signala na
izlazu elektromotora.

Figure 13.
Electromotor output
recorder with A/D
converter.

Još jedno unapređenje projekta je moguće. Naime, kod mehaničke konstrukcije se pojavio problem neosetljivosti. Ugrađeni ležajevi (iako su novi) su pružali otpor okretanju osovine (koji nikako nije zanemarljiv), tako da bi tek jak vetar mogao da pokrene osovину. Interesantno je da se pri kupovini ležajeva ispostavilo da su svi takvi. Da li je to kako bi trebalo da bude ili je u pitajnu felerična serija – nije poznato.

Literatura

Popović M., Živković D. 1997. *Impulsna i digitalna elektronika*. Beograd: Nauka

Stanković D. 1997. *Fizičko-tehnička merenja – senzori*. Beograd: Zavod za grafičku tehniku Tehnološko-metalurškog fakulteta, str. 410-17

Dušan Grujić

Two simple anemometers for automatic wind speed data logging

The goal of this project is to build an inexpensive anemometer which can be used for automatic wind speed data logging. We have built two anemometers, one with Haal sensor that has TTL output and the other with a common electromotor. Two anemometers are built to compare characteristics of the digital and analog solution. Anemometers share the same

mechanical construction which is shown in Figure 1. Simplified circuit diagram of the digital anemometer is shown in Figure 2, and the full circuit diagram is shown in Figure 7. Due to the analog nature of signals from the electromotor, we assembled an A/D converter whose circuit diagram is shown in Figure 8. The transfer function of our A/D converter is shown in Figure 10, and the registered sine waves are shown in Figures 11 and 12. With A/D converter we registered the output of the electromotor at different shaft rotating speeds and we came to conclusion that the electromotor output changes its amplitude and frequency in a very complex manner. The signal from the electromotor is shown in Figure 13. Both anemometers have similar characteristics, but the complex software needed for analog anemometer helped us to decide that the digital anemometer is more suitable for use and assembling.

Prilozi

Listing unit-a za očitavanje vrednosti digitalnog anemometra

```
unit digitalni_anemometar;
interface
function brzina(precnik:double):double;
implementation
function brzina(precnik:double):double;
{ ulazna velicina precnik je precnik kruga koji
  opisuju krajnje tacke lopatica }
var podatak:word;
begin
asm
mov dx,$37a
mov al,$20
out dx,al
@loop:
mov dx,$379
in al,dx
and al,$20
cmp al,00h
jne @loop
mov dx,$37a
mov al,$21
out dx,al
mov dx,$378
in al,dx
mov ah,$00
mov podatak,ax
mov dx,$37a
mov al,$20
out dx,al
finit
fldpi
fld precnik
fmul
fild podatak
fmul
fst @result
end;
end;
begin
end.
```

Listing unit-a koji se koristi za očitavanje vrednosti analognog anemometra

```
unit analogni_anemometar;
interface
function vrednost:byte;
```

```

implementation
function vrednost:byte;
var t,v:byte;
begin
asm
mov t,00h
mov v,80h
ov al,v
add al,t
out dx,al
mov dx,$379
in al,dx
and al,20h
cmp al,00h
je @2
mov al,v
add t,al
0h
jne @1
mov al,t
mov @result,al
end;
end;
begin
end.

```

Listing programa za određivanje maksimalne frekvencije sem-plovanja

```

program adc_test;
function vrednost:byte;
var t,v:byte;
begin
asm
mov t,00h
mov v,80h
@1:
mov dx,$379
mov al,v
add al,t
out dx,al
mov dx,$379
in al,dx
and al,20h
cmp al,00h
je @2
mov al,v
add t,al
@2
shr v,1
cmp v,00h
jne @1

```

```
mov al,t
mov @result,al
end;
end;
var
a:array[1..1000] of byte;
i:word;
s:string;
f:text;
begin
write('Unesite ime izlaznog fajla ');
readln(s);
assign(f,s);
rewrite(f);
for i:=1 to 1000 do
a[i]:=vrednost;
for i:=1 to 1000 do
writeln(f,a[i]);
close(f);
end.
```

