

## Merenje razdaljine i brzine ultrazvukom

*Princip merenja razdaljine ovim uređajem zasniva se na merenju vremena proteklog od slanja ultrazvučnog signala ka prepreci, do registrovanja povratnog signala na prijemniku. Frekvencija poslatog i primljenog signala se razlikuju usled Doplerovog efekta. Njihovim upoređivanjem određuje se brzina tela. U radu je razmatrana konstrukcija uređaja koji radi na opisanom principu i ispitavanje njegovih karakteristika.*

### Uvod

**SONAR** (*SOund Navigation And Ranging*) je uređaj koji zvučne talase koristi za navigaciju i merenje udaljenosti objekata u prostoru. Postoje dva osnovna tipa sonara: aktivni i pasivni. Aktivni sonar se sastoji od predajnika koji emituje zvučni talas i prijemnika koji registruje talas odbijen od prepreke. Pasivni sonar se sastoji samo od prijemnika, dok ultrazvučni talas emituje neko drugo telo. Konstruisani uređaj predstavlja aktivni sonar koji meri vreme koje protekne od emitovanja do prijema signala. Na osnovu proteklog vremena i poznate brzine zvuka računa se rastojanje do prepreke.

Ovaj rad predstavlja nastavak radova u Istraživačkoj stanici Petnica iz 2004, 2005. i 2007. godine. Prethodni radovi poslužili su kao osnov za izvedbu ovog uređaja. Primarni cilj ovog rada je merenje brzine objekta.

### Opis uređaja

Hardverski deo uređaja se sastoji od predajnog, prijemnog i kontrolnog dela. Mikrokontroler PIC 16F877A čini kontrolni deo uređaja (slika 1).

Mikrokontroler upravlja radom predajnog kola za slanje signala i obrađuje signal koji dobija od prijemnog kola. Rezultat obrade je razdaljina objekta od sonara koje se izračunava na osnovu sledeće jednačine:

$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

gde je:  $d$  – rastojanje do prepreke,  $c$  – brzina zvuka u vazduhu pri temperaturi od 15°C (340 m/s),  $t$  – vreme proteklo od slanja do prijema odbijenog signala.

Merenjem vremenskog intervala između dva uzastopna impulsa računa se učestanost primljenog signala. Određivanjem razlike u frekvenciji između poslatog i signala odbijenog od prepreke i primenom Doplerove formule računa se brzina tela:

$$\frac{u(f_s - f_1) \pm f_s v_1}{f_1} = \mp v_s$$

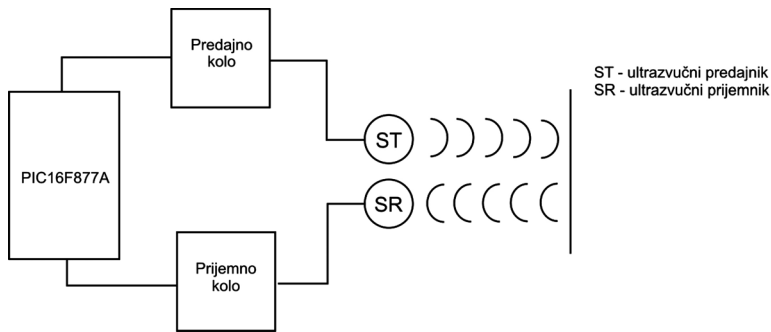
gde je  $u$  – brzina zvuka,  $f_s$  – frekvencija emitovanog signala,  $f_1$  – frekvencija talasa odbijenog od prepreke,  $v_1$  – brzina prijemnika,  $v_s$  – brzina predajnika. Frekvencija talasa koji se emituje iznosi 40 kHz, pošto je to, po specifikaciji proizvođača transmitera, optimalna frekvencija.

### Opis prijemnog i predajnog kola

Sa PIC-a se šalje signal frekvencije 40 kHz i amplitude 5V. U predajnom kolu signal se pojačava tako da je njegova amplituda 14 V. Prijemno kolo se sastoji od ultrazvučnog prijemnika i pojačavačkog stepena (slika 2). Tipične vrednosti amplitude primljenog signala su reda veličine 1 mV. Stoga je neophodno pojačati signal pre AD konverzije.

*Marko Savić (1989), Maglič, Bore Prodanovića 46, učenik 4. razreda ETŠ Mihajlo Pupin u Novom Sadu*

*Gavriilo Andrić (1991), Valjevo, Blok Nade Purić 2/2, učenik 2. razreda Valjevske gimnazije*



Slika 1.  
Blok šema uređaja

Figure 1.  
Instrument setup.

Nominalno pojačanje pojačavačkog stepena je 200. Vrednost maksimalnog napona na izlazu pojačavačkog kola je ograničena na 5V što predstavlja maksimalnu dozvoljenu vrednost na ulazu AD konvertora korišćenog mikrokontrolera.

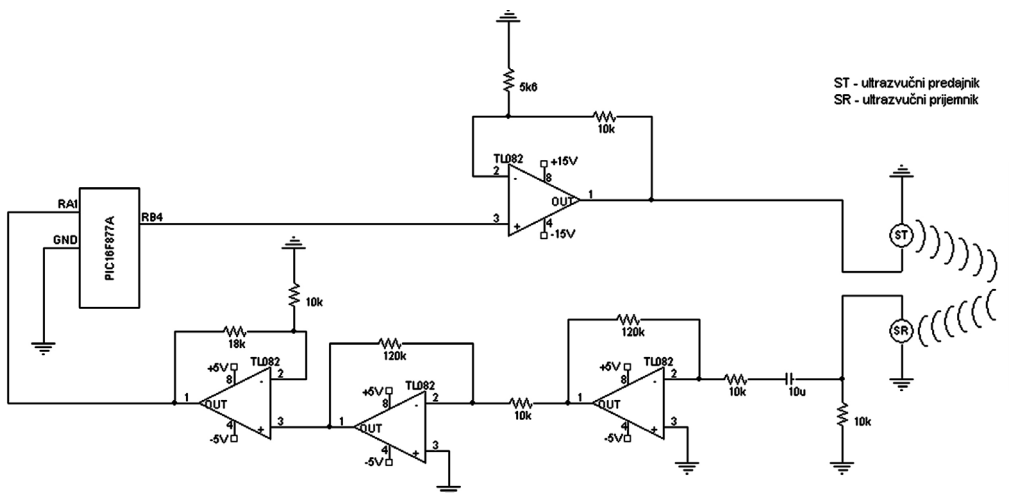
### Opis algoritma

Kontrola sistema je implementirana u programskom jeziku C. Mikrokontroler generiše signal od 40 kHz. Signal se emituje u trajanju od 250  $\mu$ s ili 10 perioda ultrazvučnih signala. Protoklo vreme od slanja do prijema signala meri se ugrađenim tajmerom. Stanje registra za prijem signala se proverava svakih 135  $\mu$ s što je uslovljeno brzinom AD konver-

tora. U trenutku kad se registruje impuls u PIC-u, zaustavlja se brojač i računa se rastojanje koje se ispisuje na LCD-u razvojne ploče EasyPIC3, na kojoj se nalazi PIC mikrokontroler. Signal se šalje u toku 250  $\mu$ s. Tokom tog vremena, ne proverava se stanje na prijemnom registru. Ukoliko bi se vršilo proveravanje, prijemnik bi stalno registrovao direktan signal sa predajnika. Zato je potrebno uzeti u obzir 250  $\mu$ s prilikom računanja udaljenosti, jer je signal koji je registrovan već prešao put od 8.5 cm na sobnoj temperaturi. To znači da je minimalno rastojanje na kom se može registrovati odbijeni signal polovina tog rastojanja odnosno 4.25 cm. Iz toga sledi da je minimalno merljivo rastojanje posledica dužine slanja signala. Posledica provere registra na

Slika 2. Šema električnog kola

Figure 2. Electric circuit schema



svakih 135  $\mu$ s je preciznost sa kojom se može meriti rastojanje. Signal za to vreme pređe približno 4.6 cm što znači da se stanje registra proverava za svakih 4.6 cm. S obzirom da zvuk prelazi dvostruko rastojanje, procenjena preciznost uređaja iznosi 2.3 cm.

Merenje brzine kretanja tela zahteva promenu algoritma. Ideja je da se meri trajanje poluperiode prijemnog signala. Na osnovu toga se dobija frekvencija iz koje se može izračunati brzina tela. Promena poluperiode prijemnog signala je u intervalu znatno manjem od 135  $\mu$ s. Stoga je na prijemu mikrokontrolera nemoguće registrovati ovako male promene.

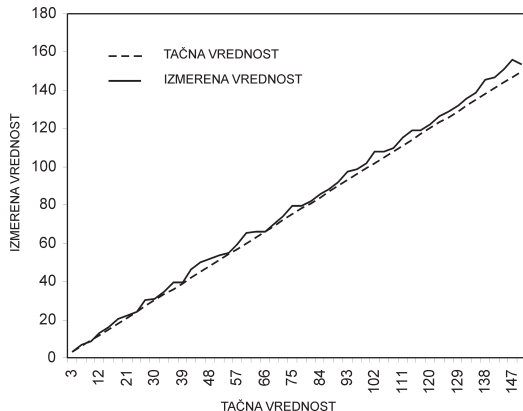
Merenje frekvencije je izvodljivo korišćenjem drugačije hardverske postavke. Umesto tajmera potrebno je podesiti brojač. Prilikom registrovanja prijemnog signala, brojač treba da izbroji sve vrhove (pikove) ulaznog signala u određenom vremenskom intervalu. Kada se vreme подели brojem registrovanih pikova izračuna se vreme trajanja jedne poluperiode ulaznog signala, a odatle lako dolazimo do frekvencije prijemnog signala.

## Testiranje uređaja i diskusija dobijenih rezultata

Pri određivanju performansi sistema mereno je rastojanje do prepreke u opsegu između 6 cm do 150 cm sa korakom od 3 cm. Vrednosti preko 150 cm nije moguće izmeriti jer amplituda odbijenog signala nije dovoljno velika da bi bila registrovana. Na svaka 3 cm pomeraja vršeno je po tri merenja. Prepreka je bila velikih dimenzija i postavljena normalno na emitovani signal.

Rezultati merenja u opsegu od 6 do 150 cm ukazuju na relativnu grešku koja iznosi 4%.

Faktori spoljašnje sredine koji utiču na brzinu zvuka u vazduhu su pritisak, vlažnost i temperatura vazduha. Uticaji prva dva faktora su zanemarljiva u odnosu na uticaj temperature (4). U opsegu temperatura od 0 do 50°C dolazi do promene brzine zvuka od 331 do 361 m/s. Za izračunavanje udaljenosti korišćena je vrednost od 340 koja odgovara temperaturi vazduha od 15°C. Promena temperature vazduha unosi grešku od 6% koja utiče na vrednosti merenja. Takođe, prepreka koja je postavljena pod različitim uglom od 90° odbija signal tako da se on ne vraća u prijemnik, što predstavlja veliko ograničenje ovog uređaja.



Slika 3. Merenje daljine

Figure 3. Measuring distance

Na grafiku sa slike 3 se jasno uočavaju odstupanja od tačnih vrednosti. Greška od 4% se može smanjiti uračunavanjem još 135  $\mu$ s za koje se informacija obradi u AD konvertoru. Kao što je ranije navedeno, talas za to vreme pređe 4.6 cm.

## Zaključak

Merenje rastojanja manjih od 4.25 cm je ograničeno dužinom poslatog signala. Moguće rešenje je skraćivanje emitovanog signala ali se mora imati u vidu da signal mora biti dovoljno dugačak odnosno mora imati dovoljan broj perioda kako bi mogao biti detektovan na ulazu PIC-a.

Merenje daljina većih od 150 cm nije moguće jer je odbijeni signal znatno oslabljen. Ovaj problem je moguće rešiti posatavljanjem filtra u kolo, odmah posle prijemnika, koji bi eliminisao šum i postavljanjem pojačavača promenljivog pojačanja, koji bi povećao dinamički opseg ulaznog signala.

Temperatura vazduha je faktor koji znatno utiče na merenje. Međutim koeficijent koji zavisi od temperature vazduha, može se vrlo jednostavno menjati u softveru. Ukoliko je moguće izmeriti temperaturu pre merenja brzine i daljine objekta, kalibracijom je moguće ukloniti uticaj promene temperature na performanse sistema.

## Literatura

Danilović D., Janković S., Stajić B. 2005. Ultrazvučni sonar. Istraživački rad na Seminaru primenjene fizike i elektronike. Istraživačka stanica Petnica, Valjevo

Otašević N., Bogdanović, M. 2007. Ispitivanje ultrazvučnog sonara kao uređaja za merenje daljine. *Petničke sveske*, 63: 97

Todorović D. 2004. Ultrazvučni sonar. *Petničke sveske*, 57: 133.

[http://telekomunikacije.etf.bg.ac.yu/predmeti/te4e/Akustika\\_02\\_Zvucni\\_talas\\_u\\_vazduhu.pdf](http://telekomunikacije.etf.bg.ac.yu/predmeti/te4e/Akustika_02_Zvucni_talas_u_vazduhu.pdf)  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/f/f7/20060123013411!Doppler\\_effect\\_diagrammatic.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/f/f7/20060123013411!Doppler_effect_diagrammatic.png)

---

*Marko Savić and Gavriilo Andrić*

## Measuring Distance and Speed with Ultrasound

The principle of measuring intervals with the instrument discussed in this paper rests on measuring the elapsed time from sending a supersonic signal to a barrier, to registering the retracting signal on the receiver. The frequency of the dispatched and received signal is different because of the Doppler effect. By their comparison, the speed of the object is found. In this project the construction of the instrument which works based on the presented principle has been discussed and its characteristics have been analyzed.

