

Realizacija merenja nivoa pomoću piezorezistivnog senzora sa 4-20 mA izlazom

Predrag Vilotić
 Odsek za automatiku
 Elektrotehnički fakultet
 Beograd, Srbija
 viloticpedja@yahoo.com

Vladimir Rajović
 Odsek za elektroniku
 Elektrotehnički fakultet
 Beograd, Srbija
 rajo@etf.rs

Abstract — U ovom radu je opisana realizacija merenja nivoa tečnosti pomoću piezorezistivnog senzora, koji ima strujni izlaz u standardnom industrijskom opsegu 4-20 mA. Korišćena je 4-20 mA R Click pločica firme Mikroelektronika, kao i razvojni sistem EasyMx Pro v7 for STELLARIS ARM iste kompanije. Urađene su dve aplikacije za personalni računar, jedna koja putem serijske veze prikuplja podatke sa senzora, odnosno mikrokontrolera, i pohranjuje ih u datotekama, i druga koja iscrtava grafike prethodno dobijenih podataka merenja.

Ključne reči—nivo tečnosti; strujna petlja 4-20 mA; STELLARIS ARM mikrokontroler; serijska veza; C++ Builder.

I. UVOD

Merenje nivoa tečnosti u nekom rezervoaru je od velikog značaja pre svega za vodosnabdevanje. Najjednostavnija i često korišćena metoda je diskretno merenje pomoću dve sonde, koje detektuju dva nivoa. Nedostatak ovakvog merenja je što, u slučaju nestanka struje, a to je u našim uslovima moguće da se desi i više puta na dan, ako se nivo vode nalazi u zoni histerezisa ON/OFF senzora, neophodno je da posle svakog nestanka neko dođe u postrojenje rezervoara i pomeri ON/OFF sonde kako bi sistem nastavio pouzdan rad.

Kod kontinualnog merenja nivoa nema ovog problema jer se meri apsolutni nivo vode, tako da se u svakom trenutku ima podatak o količini, odnosno nivou vode u rezervoaru.

Neki od načina kontinualnog merenja nivoa tečnosti su: pomoću plovka koji je povezan sa translacionim ili rotacionim potencijometrom, korišćenjem kapacitivnog senzora, laserskim sensorima nivoa (nisu pogodni u slučajevima kada postoji talasanje površine tečnosti), i korišćenjem piezorezistivnih senzora hidrostatičkog pritiska (koji su korišćeni i u ovom radu), a koji su pogodni i u slučaju kada površina tečnosti nije mirna [5]. Pregled raznih metoda merenja tečnosti se može naći u [6].

II. REALIZACIJA

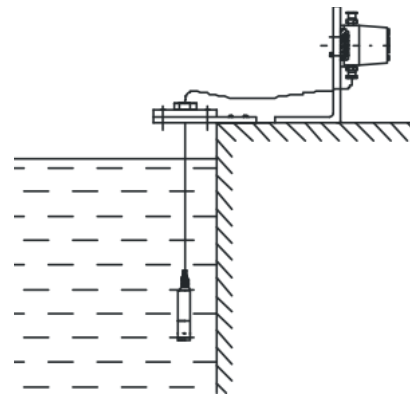
Princip rada piezorezistivnog senzora pritiska je u promeni otpornosti, kada se piezootpornik deformiše usled izlaganja sili (u ovom slučaju, hidrostatičkom pritisku stuba vode iznad njega). Promena otpornosti se detektuje povezivanjem piezoresistivnog elementa u merni most. Kako postoji linearna veza između hidrostatičkog pritiska i dubine, dobija se željena

merna veličina.

Za realizaciju senzora pritiska u ovom radu, korišćen je senzor nivoa SS634, kod koga su u kućištu od nerđajućeg čelika smešteni senzor i prateća elektronska kola, i koji može biti relativno dugo potopljen u tečnost. Na Sl. 1 je prikazan izgled senzora zajedno sa pripadajućim kablom, koji je u konkretnom slučaju dužine 10 m. Na Sl. 2 je prikazana tipična primena ovog senzora.



Sl. 1 Senzor SS634, [1].



Sl. 2 Senzor, potopljen u tečnost što bliže dnu, meri hidrostatički pritisak koji je ekvivalentan dubini na kojoj se nalazi, [1].

Senzor SS634 kao izlaz ima strujnu petlju koja je standardna u industriji: 4-20 mA. Podatak o nivou tečnosti se iz strujnog izlaza konvertuje u naponski nivo korišćenjem odgovarajuće pločice na razvojnom sistemu za mikrokontrolere familije STELLARIS ARM firme Mikroelektronika. Nakon prikupljanja podataka sa senzora, mikrokontroler pomoću UART-USB konvertora svake sekunde šalje podatak o očitanoj nivou ka personalnom računaru. U okruženju C++ Builder je urađena aplikacija koja izmerene podatke smešta u

datoteke na računaru. Postoji još jedna aplikacija urađena u C++ Builder-u, koja grafički prikazuje izmerene podatke iz nekoliko odabranih datoteka.

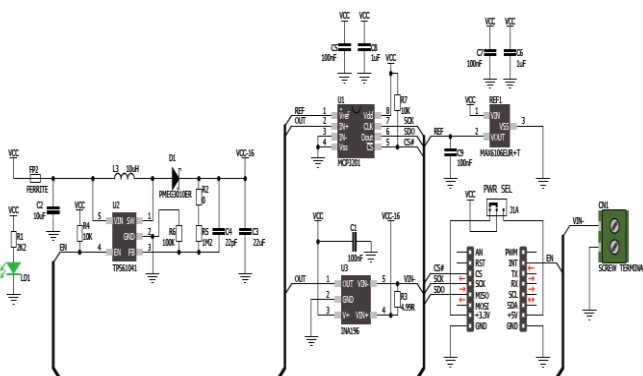
A. HARDVER SISTEMA

1) SS634 senzor

Kao što je već rečeno, korišćeni senzor je veoma pouzdan i stabilan. Proizvodi se za različite dubine tečnosti: 1 m, 3 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 50 m, i može da izdrži garantovani pritisak od $1.5 \cdot FS$ (punog opsega), i ima širok radni opseg temperatura: $-10 \sim 80$ °C [2]. Senzor je relativno jeftin i može se nabaviti za razne gustine tečnosti, a ovde je korišćen za merenje nivoa vode. Izlaz senzora je strujna petlja 4-20 mA.

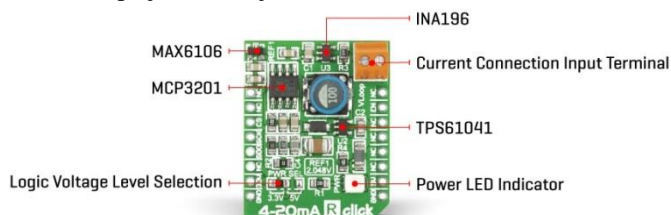
2) 4-20 mA R Click pločica

Na Sl. 3 je data električna šema korišćene pločice kompanije Mikroelektronika.



Sl. 3 Električna šema 4-20 mA R Click pločice, [3].

Povezivanje sa samim senzorom je urađeno korišćenjem kleme na desnoj strani šeme. Napajanje senzora obezbeđeno je korišćenjem integrisanog kola TPS61041, DC/DC boost konvertora firme Texas Instruments, koji u podrazumevanoj konfiguraciji obezbeđuje 16 V, dok je njegov rad omogućen pomoću EN priključka mikroBUS™ konektora na razvojnom sistemu. Ulazna struja pločice je, u stvari, izlazna struja senzora, i pomoću šant otpornika od 4.99Ω integrisano kolo INA196 (current shunt monitor naponkog pojačanja 20) konvertuje struju u napon, koji se prosleđuje 12-bitnom A/D konvertoru MCP3201, koji preko SPI interfejsa komunicira sa mikrokontrolerom. Referentni napon A/D konvertora, vrednosti 2.048 V, obezbeđuje integrisana naponska referenca MAX6106, kompanije Analog Devices. Za ulaznu struju 4 mA napon na ulazu A/D konvertora je oko 400 mV što odgovara vrednosti A/D konvertora 800 jer je maksimalna vrednost A/D konvertora 4095. Upotrebljeni senzor maksimalno meri dubinu 10 m pa je rezolucija sistema oko 0.3 cm.



Sl. 4 Click pločica 4-20mA R, [4].

Za komunikaciju mikrokontrolera sa računarnom koristi se serijska UART komunikacija, koja se konvertuje na USB interfejs pomoću FT232 integrisanog kola, koje se nalazi na razvojnom sistemu.

B. Softver

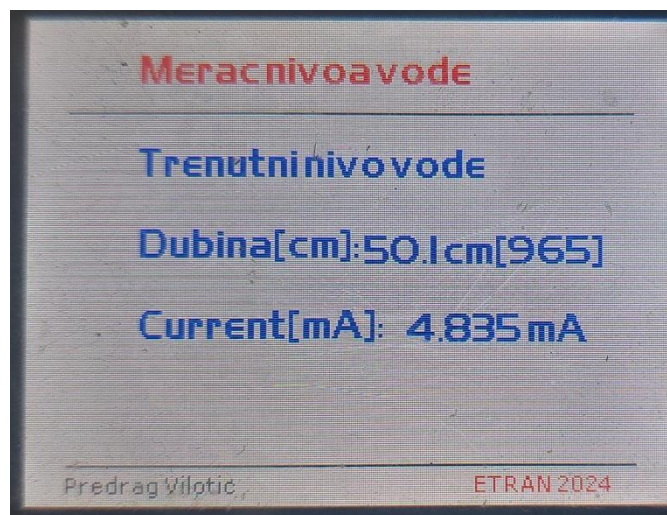
1) Softver mikrokontrolera – firmware

Program za mikrokontroler je urađen u programskom jeziku C koristeći okruženje mikroC PRO for ARM kompanije Mikroelektronika [6].

U programu se, nakon inicijalizacije SPI periferije i prekida vezanog za Timer0, koji se okida svake sekunde, bira odgovarajući font za prikaz na TFT displeju razvojnog sistema, a zatim ulazi u glavnu petlju. U petlji se proverava fleg koji se postavlja u prekidnoj rutini za Timer0. Ako je ovaj fleg setovan, preko SPI interfejsa se očitava A/D konvertor i rezultat ažurira na displeju.

Ukoliko je sa senzora pročitana podatak, on se u posebnoj funkciji šalje ka računaru preko UART-a. Za potrebe komunikacije mikrokontrolera i računara, definisan je jednostavan protokol. Mikrokontroler na početku šalje tačno određen start bajt. Rezultat merenja se sastoji od 2 bajta, dok je preko UART-a moguće poslati bajt po bajt. Da ne bi došlo do mešanja bajta vezanog za merenje sa start i stop bajtom, oba bajta merenja se dele na niblove, koji se proširuju sa po 4 nule sa leve strane, i potom šalju. Na kraju se šalje poseban stop bajt. I start i stop bajt ne smeju imati sve nule na najviša 4 bita.

Na Sl. 5 je prikazan izgled TFT displeja na razvojnom sistemu EasyMx PRO V7 for STELLARIS ARM u nekom trenutku izvršavanja programa.



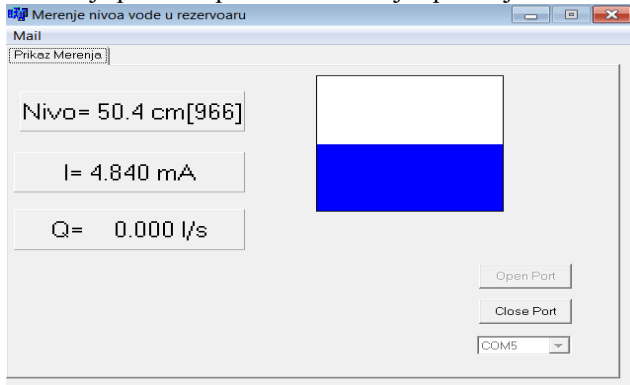
Sl. 5 Izgled TFT displeja sa prikazom vrednosti struje koju daje senzor, kao i dubine tečnosti u cm (965 označava vrednost koja je očitana sa A/D konvertora).

2) Softver za PC

Softver za PC je urađen u C++ Builder-u, i prikuplja podatke o merenjima dobijene od mikrokontrolera po prethodno opisanom protokolu. Osim samog prikupljanja podataka merenja, koji se dohvataju u posebnoj niti, program

prikazuje podatke o nivou, izlaznoj struji senzora, i vrši pojednostavljeno izračunavanje protoka za slučaj da dolazi do nagle promene nivoa tečnosti. Kako je ceo sistem eksperimentalno testiran u vodovodnoj cevi koja ima slavinu, moguće je približno proračunati protok kada dolazi do ispuštanja vode uzimajući u obzir prečnik cevi. Program, takođe, na ekranu iscrtava nivo vode u rezervoaru, i boji ga u plavo. Prilikom pokretanja aplikacije, vrši se pretraga dostupnih serijskih (COM) portova, koji se potom prikazuju u padajućoj listi. Tada je korisniku omogućeno da izabere odgovarajući COM port, preko koga se vrši komunikacija sa razvojnim sistemom, odnosno mikrokontrolerom, što se radi pritiskom na odgovarajuće dugme. Korisnik može, po želji, prekinuti komunikaciju tako što klikne na Close Port.

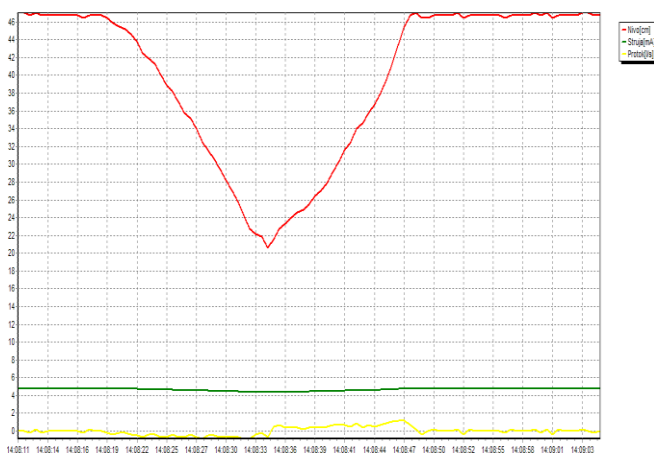
Na Sl. 6 je prikazan primer izvršavanja aplikacije na PC-u.



Sl. 6 Izgled aplikacije napisane u C++ Builder-u za PC, koja prikuplja i prikazuje podatke merenja nivoa.

U C++ Builder-u je urađena još jedna aplikacija koja grafički prikazuje podatke koji su prikupljeni i smešteni u datoteke u prethodno opisanom programu korišćenjem odgovarajućih softverskih komponenata. Postoji mogućnost grupisanja više datoteka u jedan prikaz, što je jako korisno.

Na Sl. 7 je prikazan primer izvršavanja ove aplikacije.



Sl. 7 Izgled grafika dobijenog aplikacijom za grafički prikaz podataka smeštenih u datotekama, koji predstavljaju rezultate merenja.

Desnim klikom miša je moguće odabrati koje od tri veličine će biti prikazane: nivo, struja ili protok. Na prikazanom grafiku

sa Sl. 7 se vidi da je u nekom momentu došlo do isticanja vode iz cevi, a posle toga i do dopunjavanja. Takođe je sa grafika moguće pročitati vremenske trenutke kada je došlo do pražnjenja, odnosno dopunjavanja cevi.

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Izgled eksperimentalne postavke prikazan je na Sl. 8, gde se uočava vodovodna cev sa slavinom.



Sl. 8 Vodovodna cev sa slavinom i senzorom.

Pored testiranja svih softverskih i hardverskih komponenata sistema, urađeno je i određivanje tačnosti prikazivanja senzora. To je sprovedeno upoređivanjem pokazivanja senzora sa vrednošću koja je dobijena merenjem mernim ručnim alatom, a koja je smatrana tačnom vrednošću. Urađeno je fitovanje karakteristike senzora (izmerena u odnosu na tačnu vrednost) na osnovu 21 merenja metodom najmanjih kvadrata, i za odsečak je dobijena vrednost -2.3981 cm, a za nagib 0.9148 . Za pokazivanje senzora su ostavljene dve vrednosti jer su to brojevi koji su se smenjivali na displeju imajući u vidu rezoluciju A/D konvertora. Prilikom fitovanja, korišćena je aritmetička sredina pokazivanja na displeju.

U Tabeli 1, prikazani su pokazivanje senzora, tačna

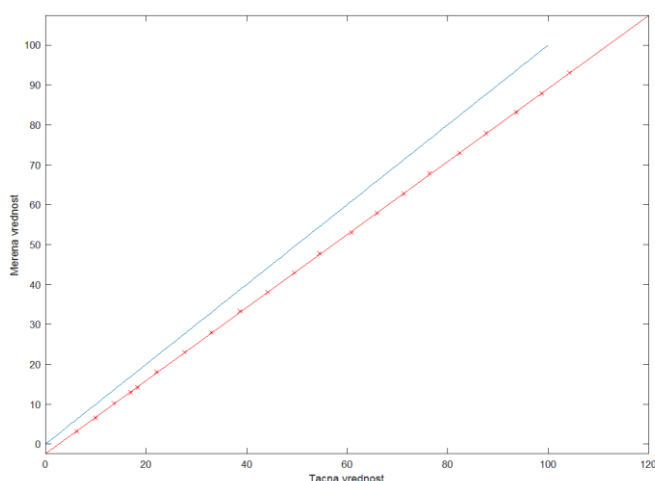
vrednost, i apsolutno (u tabeli označeno sa Δ) i relativno odstupanje (u tabeli označeno sa δ) pokazivanja senzora od optimalne prave. Primetan je ofset merenja, koji je verovatno posledica toga što je sam senzor smešten u kućištu i nije moguće njegovo naleganje na dno cevi.

TABELA I. REZULTATI MERENJA

| Pokazivanje senzora [cm] | Tačna vrednost [cm] | Δ [cm] ^a | δ [%] ^b |
|--------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| 3,0 – 3,3 | 6,2 | 0.1239 | 3.7834 |
| 6,4 – 6,7 | 10 | 0.2002 | 2.9663 |
| 10,0 – 10,3 | 13,6 | 0.1064 | 1.0591 |
| 12,7 – 13,1 | 17 | 0.2541 | 1.9314 |
| 14,0 – 14,3 | 18,3 | 0.1933 | 1.3480 |
| 17,9 – 18,2 | 22,1 | 0.2303 | 1.2924 |
| 22,8 – 23,1 | 27,6 | 0.0987 | 0.4320 |
| 27,9 – 28,2 | 33 | 0.2586 | 0.9306 |
| 33,1 – 33,4 | 38,7 | 0.2441 | 0.7395 |
| 37,9 – 38,2 | 44,2 | 0.0125 | 0.0328 |
| 42,8 – 43,1 | 49,5 | 0.0639 | 0.1489 |
| 47,6 – 48 | 54,5 | 0.2897 | 0.6104 |
| 52,8 – 53,1 | 60,9 | 0.3652 | 0.6850 |
| 57,7 – 58 | 66 | 0.1309 | 0.2257 |
| 62,5 – 62,8 | 71,3 | 0.1795 | 0.2857 |
| 67,7 – 68 | 76,4 | 0.3549 | 0.5258 |
| 72,8 – 73,1 | 82,4 | 0.0341 | 0.0468 |
| 77,7 – 78 | 87,6 | 0.1087 | 0.1399 |
| 82,9 – 83,2 | 93,7 | 0.2717 | 0.3261 |
| 87,7 – 88 | 98,8 | 0.1374 | 0.1561 |
| 92,9 – 93,2 | 104,2 | 0.1225 | 0.1318 |

^aApsolutno odstupanje od optimalne prave, ^bRelativno odstupanje od optimalne prave

Sl. 9 sumira rezultate eksperimenta kao međuzavisnost izmerene i tačne vrednosti. Crveni markeri označavaju rezultate merenja, crvenom bojom je označena optimalna prava dobijena fitovanjem, dok je plavom bojom označena idealna zavisnost.



Sl. 9 Rezultati merenja, optimalna prava i idealna karakteristika.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je pokazana realizacija merenja nivoa tečnosti, vode

u ovom slučaju, pomoću piezorezistivnog senzora pritiska sa strujnim izlazom, obrada i prikupljanje podataka sa senzora korišćenjem mikrokontrolerskog razvojnog sistema. Razvijena je i aplikacija za prikupljanje podataka sa senzora u datoteku preko serijske veze i aplikacija za iscertavanje prethodno dobijenih podataka. Na osnovu rezultata merenja je moguće preskalirati koeficijente u softveru da bi se dobile vrednosti koje su jako bliske tačnim vrednostima.

Jedna od potencijalnih namena ovog rada je razmatranje mogućnosti upravljanja nivoom vode u rezervoarima, odnosno prikupljanja podataka o stanju vode u njima. Na taj način se mogu prikupiti informacije potrebne za statistiku stanja akumulacije u različitim periodima dana i meseca. Ovo bi moglo da optimizuje rad pumpi, u smislu utroška električne energije, tako da budu uključene, koliko je moguće, u periodima kada je niža tarifa cene električne energije.

Nadogradnja sistema bi svakako bila dojava alarma u slučaju da nivo vode padne ispod dozvoljenog, što je moguće izvesti jednostavnom SMS porukom ili pozivom na telefon, ili uključivanje ovog senzora u SCADA sistem. Jedna od mogućnosti bi bila dodavanje MODBUS protokola u softver mikrokontrolera, a koji je podržan od znatnog broja PLC-ova.

LITERATURA

- [1] Specifikacija senzora pritiska SS634 sa primenama, dostupno na: http://stari.sah.rs/Senzori/SS634%20Level%20Transmitter_eng.html
- [2] Specifikacija senzora pritiska SS634, dostupno na: <http://stari.sah.rs/Senzori/Uputstva/SS634%20Series%20Low%20Cost%20OEM%20Level%20Transmitter.pdf>
- [3] Šematski prikaz 4-20 mA R Click pločice, dostupno na: https://download.mikroe.com/documents/add-on-boards/click/4-20ma-r/4-20mA_R_click_v101_Schematic.pdf
- [4] Specifikacija 4-20 mA R Click pločice, dostupno na: <https://www.mikroe.com/4-20ma-r-click>
- [5] Tomislav Šekara, Marko Barjaktarević, *Senzori u fizičko tehničkim merenjima*, Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, Beograd, Akademska misao, Beograd, 2017.
- [6] Dragan K. Stanković, *Fizičko tehnička merenja*, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1997.

ABSTRACT

This paper describes the implementation of liquid level measurement using a piezoresistive sensor with current output in the standard industrial range of 4-20 mA. The 4-20 mA R Click board from Mikroelektronika was used, as was the development system EasyMx Pro v7 for STELLARIS ARM from the same company. Two applications for a personal computer were developed, one that collects data from sensors, i.e. microcontrollers, and stores them in files via a serial connection, and the other that draws graphics of previously obtained measurement data.

Realization of level measurement using a piezoresistive sensor with an output of 4-20 mA

Predrag Vilotić, Vladimir Rajović