

**Метрологија**

**Metrology**

# Određivanje faktora etaloniranja senzora snage na frekvencijama do 10 MHz

Neda Spasojević, Ivica Milanović, Miša Markuš, *Tehnički opitni centar*

**Apstrakt**—U radu je opisana metoda određivanja faktora etaloniranja senzora snage primenom AC/DC termopretvarača i DC kalibratora kao referentnog etalona. Predstavljena metoda se u laboratoriji za etaloniranje Tehničkog opitnog centra (TOC) primenjuje za frekvencije niže od 10 MHz, dok se na višim frekvencijama koristi metoda direktnog poređenja sa transfer etalom, odnosno referentnim etalom za mikrotalasnu snagu. U radu je dat i proračun merne nesigurnosti za opisanu metodu.

**Ključne reči** — faktor etaloniranja; senzor snage; RF snaga; termopretvarač; etaloniranje; merna nesigurnost.

## I. UVOD

Jedna od osnovnih karakteristika RF/mikrotalasnih senzora snage jeste faktor etaloniranja senzora  $FE$  (engl. *Calibration Factor*) i neizostavna je provera prilikom njihovog etaloniranja. Ovaj faktor govori koliko tačno senzor meri snagu dovedenu na njegov ulaz na pojedinim frekvencijama. Prilikom merenja, senzori snage apsorbiraju RF/mikrotalasnu snagu, pretvarajući je u jednosmernu (ili niskofrekventnu) snagu, koja se zatim meri pomoću vatmetra.

Faktor etaloniranja senzora se definiše kao odnos supstituisane DC ili niskofrekventne snage na izlazu i incidentne RF/mikrotalasne snage na ulazu senzora (1):

$$FE (\%) = \frac{P_s}{P_{in}} \cdot 100 \quad (1)$$

gde su:  $FE$  faktor etaloniranja senzora (DUT, engl. *Device Under Test*),  $P_s$  supstituisana snaga na izlazu senzora i  $P_{in}$  incidentna snaga na ulazu senzora.

Faktor etaloniranja je neimenovan broj i ima vrednost između 0 i 1, a neretko se izražava u procentima, kao što je slučaj u formuli (1). Poznavanjem  $FE$  na odgovarajućoj frekvenciji, može se vršiti korekcija snage očitane vetmetrom. Naime, kada se snaga izmerena vatmetrom podeli sa  $FE$ , dobija se stvarna vrednost incidentne snage na ulazu senzora. Ovaj faktor se može ručno uneti u vatmetar za odgovarajuću frekvenciju, dok senzori novije

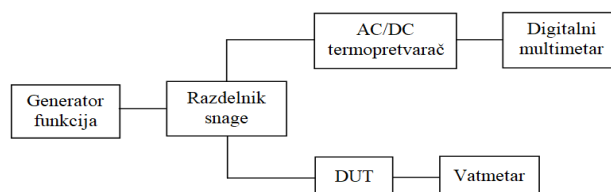
generacije u sebi imaju EEPROM sa upisanim faktorima etaloniranja. Vrednost  $FE$  se menja tokom vremena, te ga je potrebno periodično proveravati u metrološkim laboratorijama. Otuda i potreba za upisom novih faktora etaloniranja u memoriju senzora, naročito ako se oni značajno razlikuju od postojećih. Nažalost, softver za upis novih faktora etaloniranja kod većine proizvođača nije dostupan korisniku, te se korekcija izmerene snage mora vršiti ručno.

$FE$  je frekventni zavisan, a zavisi i od nivoa snage pri kome se određuje. Najčešće ovaj nivo iznosi 1 mW, odnosno 0 dBm.

Imajući u vidu da se današnji senzori snage sve češće prave za frekvencije koje dosežu DC, javlja se potreba za merenjem  $FE$  na vrlo niskim učestanostima. U TOC-u je razvijen sistem za merenje  $FE$  senzora snage pomoću transfer etalona (referentnog etalona za mikrotalasnu snagu) TEGAM F1135A u frekventnom opsegu od 10 MHz do 26,5 GHz. Ovaj etalon ima sledljivost do međunarodnog etalona u METAS. Na frekvencijama nižim od 10 MHz,  $FE$  se određuje pomoću AC/DC termopretvarača i DC izvora (kalibratora) kao referentnog etalona. Suštinski, takav sistem je primenljiv do 100 MHz, ali se zbog sledljivosti upotrebljava u opsegu koji sistem sa transfer etalom ne obuhvata. AC/DC termopretvarač ovde ima ulogu spone između AC, odnosno RF snage koja se meri senzorom, i DC snage koju generiše referentni etalon.

## II. POSTUPAK ETALONIRANJA

Postupak određivanja  $FE$  na frekvencijama nižim od 10 MHz sastoji se iz dva koraka, prikazana blok šemama 1 i 2. U prvom koraku, RF snaga sa generatora funkcija se istovremeno dovodi na senzor (DUT) i AC/DC termopretvarač.



Sl.1 Blok šema postupka etaloniranja - I korak

Maksimalni efektivni ulazni napon primenjenog termopretvarača HP 11050A je 1 V, pri kome na svom izlazu daje 7 mV jednosmernog napona. Kako bi

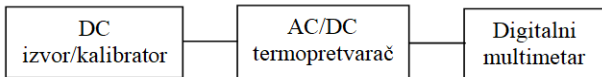
Neda Spasojević – Tehnički opitni centar, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.vs.rs, nedamilivojcevic@yahoo.com).

Ivica Milanović – Tehnički opitni centar, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.vs.rs, msivica@gmail.com).

Miša Markuš – Tehnički opitni centar, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.vs.rs, markus.misa@gmail.com).

termopretvarač radio u što linearnijem delu svoje karakteristike, preporuka je da ulazni AC napon bude oko 0,9 V efektivne vrednosti, što odgovara približno 5,7 mV izlaznog DC napona. Shodno tome, postavljena snaga na ulaz DUT-a i termopretvarača (slika 1) treba da bude oko 12 dBm, odnosno 0,9 V efektivne vrednosti naizmeničnog napona. Budući da razdelnik snage u obe grane slabi signal za 6 dB, na generatoru funkcija je potrebno zadati sinusni signal nivoa 18 dBm. Pritom se na izlazu termopretvarača dobija DC napon ekvivalentan ulaznoj RF snazi, odnosno AC naponu, koji se dalje meri multimetrom. Takođe, senzor pretvara RF u DC snagu koja se očitava vatmetrom. Očitane vrednosti DC napona na digitalnom multimetru i RF snage na vatmetru je potrebno memorisati i preći na drugi korak merenja.

U drugom koraku (slika 2), na DC kalibratoru/izvoru se zadaje napon pri kome digitalni multimetar prikazuje istu vrednost DC napona kao u I koraku. Prilikom ovog merenja je iskorišćena osobina termopretvarača da pri istoj vrednosti ulaznog napona, bilo da je reč o AC ili DC naponu, daje istu vrednost izlaznog napona. Stoga je vrednost DC napona postavljena na kalibratoru vrlo bliska vrednosti AC napona na ulazu DUT-a (u I koraku), sa razlikom što je određena sa većom tačnošću i preciznošću, te se smatra referentnom.



Sl.2 Blok šema postupka etaloniranja - II korak

Nakon izmerenog DC napona etalona i snage DUT-a, faktor etaloniranja senzora se proračunava na osnovu formule:

$$FE = \frac{P_{DUT}}{P_{DC}} \cdot 100 \quad (2)$$

gde su:  $FE$  faktor etaloniranja DUT-a u procentima,  $P_{DUT}$  snaga izmerena senzorom (DUT), a  $P_{DC}$  postavljena (incidentna) snaga određena DC etalomom.

DC snagu postavljenu na kalibratoru je potrebno korigovati za vrednost greške AC/DC termopretvarača prema formuli:

$$P_{DC} = \frac{V_{DC}^2}{Z} \cdot \left(1 - \frac{G_{AC/DC}}{100}\right) \quad (3)$$

gde je  $V_{DC}$  DC napon postavljen na etalonu (kalibratoru),  $Z$  nominalna ulazna impedansa AC/DC termopretvarača od 50  $\Omega$ , a  $G_{AC/DC}$  greška AC/DC termopretvarača u procentima (može biti pozitivna ili negativna).

### III. MERNANESIGURNOST

Proračun merne nesigurnosti rađen je za frekvenciju 500 kHz, pri čemu je korišćena sledeća merna oprema:

- Generator funkcija Agilent 33250A

- Merni prijemnik, R&S FSMR26 sa senzorom snage R&S NRP Z-37 (DUT)
- Digitalni multimetar HP 3457A
- Razdelnik snage HP 11667A
- AC/DC termopretvarač HP 11050A
- DC kalibrator/izvor Krohn-hite 523

U zavisnosti od proizvođača i tipa senzora snage, merni prijemnik se može zameniti vatmetrom koji je kompatibilan sa predmetnim senzorom.

Matematički model određivanja faktora etaloniranja dat je izrazom (4). U opisanoj metodi, tačnost napona zadatog sa generatora funkcija nije od interesa, dok simetričnost razdelnika i te kako ima uticaj na tačnost merenja. Naime, slabljenje pojedinih grana razdelnika odstupa od nominalnih 6 dB, te on nije idealno simetričan, što se proverava i prilikom njegovog etaloniranja u metrološkoj laboratoriji TOC-a. Za proračun MN vrednost korekcije usled simetričnosti razdelnika  $\delta_R$  uzeta je iz njegovog poslednjeg zapisnika o etaloniranju, te za frekvenciju 500 kHz iznosi 0,05 dB. Standardna nesigurnost je  $6,69 \cdot 10^{-3}$ , pri čemu je pretpostavljena pravougaona raspodela.

Merna nesigurnost određivanja simetričnosti razdelnika  $\delta_{Re}$  za  $k=1$  iznosi 0,02 dB, odnosno  $4,6 \cdot 10^{-3}$  i pretpostavljena je Gausova raspodela.

Neprilagođenja između razdelnika i senzora nastaje kao posledica nesavršene uparenosti njihovih impedansi, a računa se na osnovu njihovih koeficijenata refleksije. U slučaju kada je poznat samo moduo koeficijenta refleksije, i pritom je uzeta njegoa maksimalna deklarisanu vrednost, preporuka je da se tada primeni Rejljeva raspodela (engl. *Rayleigh*), a korekcija usled neprilagođenja razdelnika i senzora (DUT-a)  $\delta_{mmR-D}$  se računa prema formuli [2,9]:

$$u(\delta_{mmR-D}) = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u(\rho_R) \cdot u(\rho_D) = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_R \cdot \sigma_D \quad (5)$$

gde su  $\rho_R$  i  $\rho_D$  moduli koeficijenta refleksije razdelnika, odnosno senzora. Moduli koeficijenta refleksije senzora i razdelnika se dobijaju na osnovu deklariranih vrednosti njihovih koeficijenata stojećeg talasa i oba iznose 1,15.

Korekcija usled neprilagođenja razdelnika i AC/DC termopretvarača  $\delta_{mmR-T}$  se takođe računa prema obrascu (5), uz odgovarajuće module koeficijenta refleksije. Za termopretvarač nije specificirana maksimalna vrednost koeficijenta refleksije, odnosno stojećeg talasa. S obzirom da TOC nema mogućnost merenja ove veličine na frekvencijama nižim od 10 MHz, ona je izračunata na osnovu impedanse (6), gde je  $\rho_T$  moduo koeficijenta

$$\rho_T = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (6)$$

refleksije termopretvarača,  $Z$  ulaza impedansa, odnosno otpornost termopretvarača, dok je  $Z_0$  karakteristična impedansa voda 50  $\Omega$ .  $Z$  se dobija na osnovu maksimalnog deklarisanog odstupanja otpornosti termopretvarača 0,15  $\Omega$  od nominalne vrednosti 50  $\Omega$  i iznosi 50,15  $\Omega$ .

$$FE = \frac{P_{DUT} \cdot (1 + \delta_{r_{MP}} + \delta_{MP} + \delta_G) \cdot (1 + \delta_{mmR-D} + \delta_{mmR-T}) \cdot (1 + 0,5 \cdot \delta_R + \delta_{Re}) \cdot (1 - \delta_{AC/DC} + \delta_{AC/DC_e}) + \frac{\delta_{IDMM}^2 + \delta_{IDMM}^2}{Z}}{\frac{V_{DC}^2 + \delta_{DC}^2 + \delta_{DC_i}^2 + \delta_{DC_1}^2 + \delta_{DC_r}^2 + \delta_{DC_n}^2}{Z} \cdot (1 - \delta_{AC/DC} + \delta_{AC/DC_e}) + \frac{\delta_{IDMM}^2 + \delta_{IDMM}^2}{Z}} \cdot 100 \quad (4)$$

Moduo koeficijenta refleksije termopretvarača dobijen prema formuli (6) i iznosi 0,0015.

Korekcija usled ograničene rezolucije mernog prijemnika  $\delta_{r_{MP}}$  iznosi polovinu vrednosti rezolucije navedene u specifikaciji, odnosno 0,0005 dB. Pretpostavljena je pravougaona raspodela.

Merni prijemnik nema referentni izlaz 1 mW/50 MHz, te kalibracija senzora pre merenja nije potrebna. Merni prijemnik pored rezolucije, utiče preko nesigurnosti postavljanja nule i nesigurnosti usled šuma, deklariranih od proizvođača. Ovi uticaji su objedinjeni korekcijom usled očitavanja snage mernim prijemnikom  $\delta_{MP}$ , čija standardna devijacija iznosi  $11,08 \cdot 10^{-6}$  i za nju je pretpostavljena pravougaona raspodela.

Vrednost AC/DC razlike termopretvarača  $\delta_{AC/DC}$  je uzeta iz njegovog poslednjeg zapisnika o etaloniranju vršenog u TOC-u. Ona iznosi -0,072 % i sa njom se koriguje vrednost incidentne snage u formuli (3). S obzirom da je uvrštena u rezultat merenja, u tabelu budžeta MN ulazi samo merna nesigurnost kojom je ona određena. Merna nesigurnost određivanja AC/DC razlike  $\delta_{AC/DCe}$  za  $k=1$  iznosi 0,05 % od ulaznog AC napona i za nju je pretpostavljena Gausova raspodela.

DC kalibrator doprinosi ukupnoj MN preko nekoliko uticajnih veličina. Jedna od njih je tačnost generisanja DC kalibratora. Postavljena vrednost DC napona na izlazu kalibratora je u ovom slučaju 0,8944 V, generisana na opsegu 1,111119 V. Kalibrator generiše jednosmerni električni napon na tom opsegu sa apsolutnom tačnošću  $\pm(10 \cdot 10^{-6}$  izlaza + 3  $\mu$ V) za godinu dana. Prema tome, korekcija usled tačnosti generisanja DC kalibratora  $\delta_{DC}$  iznosi  $\pm 11,9$   $\mu$ V. Pretpostavljena je pravougaona raspodela. Vrednosti uticajnih veličina koje se tiču DC kalibratora razmatrane su za period od godinu dana i pretpostavljeno je da se temperatura okoline tokom merenja neće promeniti više od  $\pm 1$  °C u odnosu na temperaturu na kojoj je izvršeno podešavanje kalibratora.

Korekcija usled promene napona na izlazu kalibratora zbog promene temperature  $\delta_{DCI}$  na pomenutom opsegu se izračunava na osnovu temperaturnog koeficijenta i za temperaturu okoline od 18 °C do 28 °C iznosi  $\pm(1 \cdot 10^{-6}$  izlaza + 0,5  $\mu$ V)/°C. Promena temperature okoline je najviše 1 °C, te će se i izlazni napon maksimalno promeniti za 1,4  $\mu$ V. Pretpostavljena raspodela je trougaona.

Korekcija usled promene napona na izlazu DC kalibratora zbog linearnosti pri maksimalnoj promeni temperature od 1 °C  $\delta_{DCI}$  iznosi  $\pm(1 \cdot 10^{-6}$  izlaza + 1  $\mu$ V)/°C, odnosno 1,89  $\mu$ V. Pretpostavljena je pravougaona raspodela.

Korekcija usled ograničene rezolucije DC kalibratora  $\delta_{DCr}$  iznosi polovinu vrednosti rezolucije navedene u specifikaciji. S obzirom da kalibrator ima displej od 7 1/2 digita, ova korekcija iznosi 0,05  $\mu$ V. Za ovu uticajnu veličinu je takođe pretpostavljena pravougaona raspodela.

Korekcija usled šuma DC kalibratora  $\delta_{DCn}$  iznosi 7  $\mu$ V

efektivno u frekvenzijskom opsegu od 10 Hz do 100 kHz. Vrednost je uzeta iz specifikacije proizvođača i za nju je pretpostavljena normalna raspodela.

Digitalni multimetar na celokupno merenje utiče preko svoje rezolucije i temperaturnog koeficijenta, dok sama tačnost nije od interesa, budući da u oba koraka merenja multimetar pokazuje istu vrednost, koja u konkretnom slučaju iznosi 5,732 mV. Prema tome, korekcija usled temperaturnog koeficijenta digitalnog multimetra  $\delta_{IDMM}$  za opseg 30 mV iznosi (0,0005 % od očitane vrednosti + 0,000030 mV)/°C, odnosno 0,059  $\mu$ V. Pretpostavljena je trougaona raspodela.

Korekcija usled ograničene rezolucije digitalnog multimetra  $\delta_{rDMM}$  koji ima displej od 6 1/2 digita, za vrednost očitane DC napona reda nekoliko mV iznosi 0,5  $\mu$ V, što predstavlja polovinu vrednosti njegove rezolucije. Pretpostavljena raspodela je pravougaona.

Stabilnost postavljenog napona na generatoru funkcija sa vremenom nije definisana od strane proizvođača, ali je prepoznata kao uticajna veličina. Imajući u vidu specifikacije ostalih generatora funkcija, može se pretpostaviti da je korekcija usled promene postavljenog napona na generatoru funkcija sa vremenom  $\delta_G$  zanemarljivo mala.

Nakon zamene vrednosti pojedinih uticajnih veličina u matematičkom modelu datom formulom (4), zaključeno je da se pojedine veličine mogu zanemariti, te se matematički model može pojednostaviti svođenjem na izraz (7). U izrazu (7),  $Z$  označava impedansu voda od 50  $\Omega$  i koristi se za konverziju napona u snagu. Na osnovu modela (7) je proračunat budžet merne nesigurnosti (tabela I) za frekvenciju 500 kHz. Nenormalizovani faktor etaloniranja vrednosti 98,08 %, izmeren je sa nesigurnošću 0,84 %. Merna nesigurnost je izražena u procentima kao mernoj jedinici faktora etaloniranja, te ne predstavlja procenat od izmerene vrednosti.

Najveći doprinos ukupnoj mernoj nesigurnosti daju simetričnost razdelnika i korekcija usled merenja simetričnosti, ali i neprilagođenje između razdelnika i senzora. Neprilagođenje između razdelnika i termopretvarača je gotovo zanemarljivo zbog male vrednosti modula koeficijenta refleksije termopretvarača. Dobijena merna nesigurnost se ne menja značajno sa promenom frekvencije i tipa senzora, budući da senzor na MN utiče preko svog koeficijenta refleksije, čije su deklarirane vrednosti na frekvencijama od interesa pretežno vrlo niske (najčešće od 0,048 do 0,09). Za izmerenu vrednost  $FE$  u intervalu od 70 % do 100 %, pri istim mernim uslovima opisanim u radu, merna nesigurnost se nalazi u opsegu od 0,60 % do 0,86 %.

Dobijena MN je zadovoljavajuća za potrebe ML 02 i njenih korisnika. Jedan od mogućih načina smanjenja ove MN je izbeći upotrebu razdelnika snage, imajući u vidu njegov dominantan uticaj na MN. Međutim, to se ipak ne preporučuje, jer razdelnik pored toga šro pojednostavljuje

$$FE = \frac{P_{dut} \cdot (1 + \delta_{r_{MP}}) \cdot (1 + \delta_{mm_{R-D}} + \delta_{mm_{R-T}}) \cdot (1 + 0,5 \cdot \delta_R + \delta_{R_e}) \cdot (1 - \delta_{AC/DC} + \delta_{AC/DCe})}{\frac{V_{DC}^2}{Z} \cdot (1 - \delta_{AC/DC} + \delta_{AC/DCe})} \cdot 100 \quad (7)$$

TABELA I BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI ZA FREKVENCIJU 500 KHZ

Ulazna veličina	Vrednost nesigurnosti	Standardna nesigurnost	Funkcija raspodele verovatnoće	Koeficijent osetljivosti	Doprinos standardnoj nesigurnosti (%)
Korekcija usled simetričnosti razdelnika $\delta_R$	0,05 dB	$6,69 \cdot 10^{-3}$	Gausova	49,57	0,331
Korekcija usled određivanja simetričnosti $\delta_{Re}$	0,02 dB	$4,62 \cdot 10^{-3}$	Gausova	49,57	0,229
Korekcija usled neprilagođenja $\delta_{mmR-D}$	$9,735 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	Rejljeva	99,19	0,1155
Korekcija usled neprilagođenja $\delta_{mmR-t}$	$2,090 \cdot 10^{-4}$	$2,50 \cdot 10^{-5}$	Rejljeva	99,19	0,0025
Kor. usled rezolucije mernog prijemnika $\delta_{rmp}$	0,0005 dB	$6,64 \cdot 10^{-5}$	Pravougaona	100,16	0,0067
Kor. usled određivanja AC/DC razlike $\delta_{AC/DCe}$	0,05 %	$5 \cdot 10^{-4}$	Gausova	-0,758	-0,00038
Korekcija usled AC/DC razlike $\delta_{AC/DC}$	-0,072 %				
Snaga izmerena senzorom $P_{dut}$	15,7 mW				
Zadati napon na DC kalibratoru $V_{DC}$	0,8944 V				
Izmerena vrednost faktora etaloniranja FE	98,08 %				
Kombinovana merna nesigurnost					0,419
Proširena merna nesigurnost (k=2, verovatnoća 95 %)					<b>0,838</b>
<b>Konačni rezultat</b>	<b>98,08 % ± 0,84 %</b>				

merenje, ima zadatak da smanji navedena neprilagođenja, koja bi u ovom slučaju bila još uticajnije. Takođe, tada bi se javili novi uticaji merne nesigurnosti, kao što je nesigurnost usled spajanja i raspajanja konektora. Drugi način smanjenja MN je upotreba izmerenih vrednosti koeficijenta efleksije razdelnika i DUT-a, budući da su one uvek znatno niže od deklariranih vrednosti. No, to bi dalo bitniju razliku samo ukoliko je deklarirana vrednost DUT-a značajno viša od realne.

#### IV. ZAKLJUČAK

Primena AC/DC termopretvarača u procesu etaloniranja AC kalibratora, kao i AC napona voltmetra je opšte poznata. AC/DC termopretvarač ima osobinu da pri istom ulaznom naponu (snazi), bio on DC ili AC prirode, daje jednu istu vrednost izlaznog napona. Zahvaljujući tome, moguće je uspešno porediti jednosmernu i visokofrekventnu, odnosno RF snagu, što je u radu i opisano. Dobijena merna nesigurnost od 0,84 % je nešto bolja od MN određivanja faktora etaloniranja na frekvencijama višim od 10 MHz, koja iznosi od 1,1 % do 3 % za koaksijalne senzore snage. Jasno je da sama metoda zasnovana na prenošenju sledljivosti sa DC etalona doprinosi nižoj mernoj nesigurnosti. Budući da se FE senzora na frekvencijama iznad 10 MHz određuje transfer etalonom, odnosno referentnim etalonom za mikrotalasnu snagu [3], uticaj ovog etalona na ukupnu MN je znatno veći u odnosu na DC etalon, čiji su uticaji zanemarljivi. Međutim, samo merilo snage (vatmetar ili merni prijemnik) ima veliki uticaj na MN. Primera radi, veliki broj senzora proizvođača Keysight (nekadašnji Agilent i Hewlett Packard) je kompatibilan sa vatmetrom Agilent E4419B. Uzevši u obzir sve njegove uticaje, MN bi bila 1,28 %, za iste merne uslove. U tom smislu, vsta senzora, odnosno merila koje ide uz senzor, može značajno promeniti MN.

Opisana metoda, pored određivanja faktora etaloniranja, ima veliki značaj i prilikom prenošenja sledljivosti komparacijom referentnog etalona za mikrotalasnu snagu i AC napon. Naime, kada je sledljivost nekog od ova dva etalona dovodena u pitanje

(usled onemogućenog etaloniranja u inostranim laboratorijama i Institutima), primenom referentnog AC/DC termopretvarača TOC-a u komparaciji, sledljivost se sa jednog etalona na drugi može preneti u frekvencijskom opsegu od 10 MHz do 1 GHz.

#### LITERATURA

- [1] "Expression of Uncertainty of Measurement in Calibration-E4/02", *European co-operation for Accreditation*, December 1999.
- [2] Neda Spasojević, "Merenje apsolutne vrednosti snage CW signala nivoa od 100 pW do 1 kW pri etaloniranju u Tehničkom opitnom centru", ETRAN 2017.
- [3] Predrag Rakonjac, Magistarski rad: "Merni sistem za automatizovano etaloniranje senzora mikrotalasne snage u frekvencijskom opsegu od 50 MHz do 26,5 GHz", Niš 2010.
- [4] "Operation Manual", Precision DC Source/Calibrator Model 523, Krohn-Hite Corporation 2014.
- [5] "Service Manual", Multimeter 3457A, Hewlett Packard 1988.
- [6] "Operating and Service Manual", Thermal Converters Model 11049A, 11050A, 11051A, Hewlett Packard 1967.
- [7] "Function/Arbitrary Waveform Generator 33250A" Data Sheet, Keysight, 2015.
- [8] "Service Manual", Measurement receiver FSMR26, Rohde&Schwarz
- [9] "Revisiting mismatch uncertainty with the Rayleigh distribution", Agilent 2011.
- [10] "Radno uputstvo za etaloniranje AC napona voltmetra" TOC C.41.035, Oktobar 2018.

#### ABSTRACT

This paper describes a method for determining the power sensor calibration factors using an AC/DC thermal converter and a DC calibrator as a reference standard. The presented method is applied in the calibration laboratory of the Technical Test Center for frequencies up to 10 MHz, while in frequency range above 10 MHz, the method of direct comparison with the reference microwave power transfer standard is used. The paper also gives a calculation of the measurement uncertainty for described method.

#### Determination of power sensor calibration factor at frequencies up to 10 MHz

Neda Spasojević, Ivica Milanović, Miša Markuš

# Uticaj izbora početnog trenutka konverzije na procenu efektivne vrednosti signala

Marina Subotin, Dragan Pejić, Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Marjan Urekar i Bojan Vujičić

**Apstrakt**— U ovom radu je istražen kvalitet izračunavanja procene efektivne vrednosti napona primenom pravougaonog, trapeznog, prvog i drugog modifikovanog Simpsonovog pravila u zavisnosti od izbora periode. Uvođenjem modifikacija kod Simpsonovih pravila je prevaziđen zahtev u pogledu broja tačaka nad kojima se vrši numerička analiza. U istraživanju je obuhvaćen sažet teorijski pristup izračunavanju procene efektivne vrednosti napona pomoću ovih metoda i sprovedena je simulaciona analiza. Pokazano je da procena efektivne vrednosti napona i njena merna nesigurnost zavise od izbora periode. Za svaku od metoda je ustanovljen najpogodniji izbor periode u cilju poboljšanja mernih performansi.

**Ključne reči:** efektivna vrednost; numerička integracija; pravilo pravougaonika; pravilo trapeza; modifikovano Simpsonovo 1/3 pravilo; modifikovano Simpsonovo 3/8 pravilo;

## I. UVOD

Digitalni instrumenti koriste A/D konvertore radi prevođenja vrednosti analogne veličine u digitalan zapis. Kako se posle A/D konverzije više ne raspolaže analitičkim zapisom zavisnosti signala od vremena, nego samo odbircima te funkcije u ekvidistantno raspoređenim trenucima dobijenih u procesu odmeravanja, neophodno je primeniti numeričke metode kako bi dobili procenu efektivne vrednosti signala.

Klasična rešenja numeričke integracije koja susrećemo u praksi jesu pravilo pravougaonika i pravilo trapeza. Pored standardnih, prikazane su i modifikovane verzije postojećih metoda numeričke integracije koje se u praksi retko susreću zbog njihove ograničene primene. Ove unapređene metode su univerzalne i ne zahtevaju dodatno investiranje u resurse hardvera. One omogućavaju poboljšanje performansi postojećeg uređaja direktnim izmenama u samom firmveru za procenu efektivne vrednosti signala.

## II. NUMERIČKE METODE

Efektivna vrednost periodičnog napona sa periodom  $T$  primenom analogne elektronike određuje se pomoću izraza (1).

Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [marina.bulat@uns.ac.rs](mailto:marina.bulat@uns.ac.rs)).

Dragan Pejić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [pejicdra@uns.ac.rs](mailto:pejicdra@uns.ac.rs)).

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [mirkovicst@uns.ac.rs](mailto:mirkovicst@uns.ac.rs)).

Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [manjagazivoda@uns.ac.rs](mailto:manjagazivoda@uns.ac.rs)).

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (1)$$

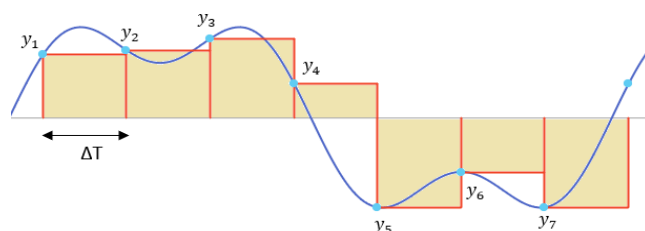
Posle analogno-digitalne konverzije, analogni napon je preveden u skup diskretnih vrednosti, što zahteva da se prilagodi izraz (1). Ovo prilagođavanje se vrši putem numeričke integracije različitim metodama na osnovu odbiraka koje dobijamo u procesu odmeravanja.

### A. Pravilo pravougaonika

Pravilo pravougaonika predstavlja postupak numeričke integracije koji koristi konstantnu funkciju za procenu date veličine između svaka dva susedna odbirka. Geometrijska interpretacija ove metode je površina pravougaonika.

Na slici 1 je prikazana ilustracija pravila pravougaonika. Posmatran je složenoperiodičan signal koji je reprezentativan uzorak realnog signala, a odabiran je u  $n=7$  tačaka, čija perioda je određena uzastopnim prolaskom rastućeg napona kroz nultu vrednost. Kako je primer realnog signala koji se susreće u praksi, ovakav signal je korišćen u čitavom radu u svrhu prikaza primene numeričkih metoda.

Aproksimirane vrednosti određenog integrala  $P$  i efektivne vrednosti napona  $U_{eff}$  nad datom periodom su predstavljeni u izrazima (2) i (3), respektivno.



Sl. 1. Pravilo pravougaonika

$$P \approx \Delta T (y_1 + y_2 + \dots + y_n) = \Delta T \sum_{i=1}^n y_i \quad (2)$$

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs)).

Bojan Vujičić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [bojanvuj@uns.ac.rs](mailto:bojanvuj@uns.ac.rs)).

$$U_{eff} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u^2(i\Delta T)} = \sqrt{\frac{1}{n} [1 \ 1 \ \dots \ 1 \ 1]} \cdot \underline{U} \quad (3)$$

gde je

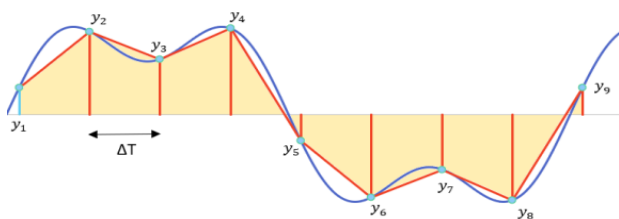
$$\underline{U} = [u^2(\Delta T) \ u^2(2\Delta T) \ \dots \ u^2((n-1)\Delta T) \ u^2(n\Delta T)]^T.$$

U izrazu (3),  $\underline{U}$  je vektor od  $n$  elemenata koji predstavljaju kvadrate nad odbircima dobijenim u okviru periode. Oznaka  $\underline{U}$  omogućava jednostavniji, praktičniji i razumljiviji prikaz izraza u ovom radu.

### B. Pravilo trapeza

Ova metoda predstavlja postupak numeričke integracije koji pomoću linearne funkcije daje aproksimaciju vrednosti između svaka dva susedna odbirka, a njena geometrijska interpretacija je površina pravouglog trapeza. Na slici 2 je prikazana ilustracija pravila. U okviru intervala integracije dobijeno je osam odbiraka, što rezultuje procenom vrednosti određenog integrala koja je manja od stvarne. Stoga je neophodno uzeti i naredni odbirak čija je vrednost bliska vrednosti prvog odbirka, te je ukupan broj odbiraka koje uzimamo u razmatranje  $n = 9$ .

Estimirane vrednosti određenog integrala  $P$  i efektivne vrednosti napona  $U_{eff}$  nad datom periodom nalaze su u izrazima (4) i (5), respektivno.



Sl. 2. Pravilo trapeza

$$P \approx \Delta T \left( \frac{y_1 + y_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} y_i \right) \quad (4)$$

$$U_{eff} \approx \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=2}^{n-1} u_i^2 + \frac{u_1^2 + u_n^2}{2} \right)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \frac{1}{2} \ 1 \ \dots \ 1 \ \frac{1}{2} \right]} \cdot \underline{U} \quad (5)$$

### C. Modifikovano Simpsonovo 1/3 pravilo

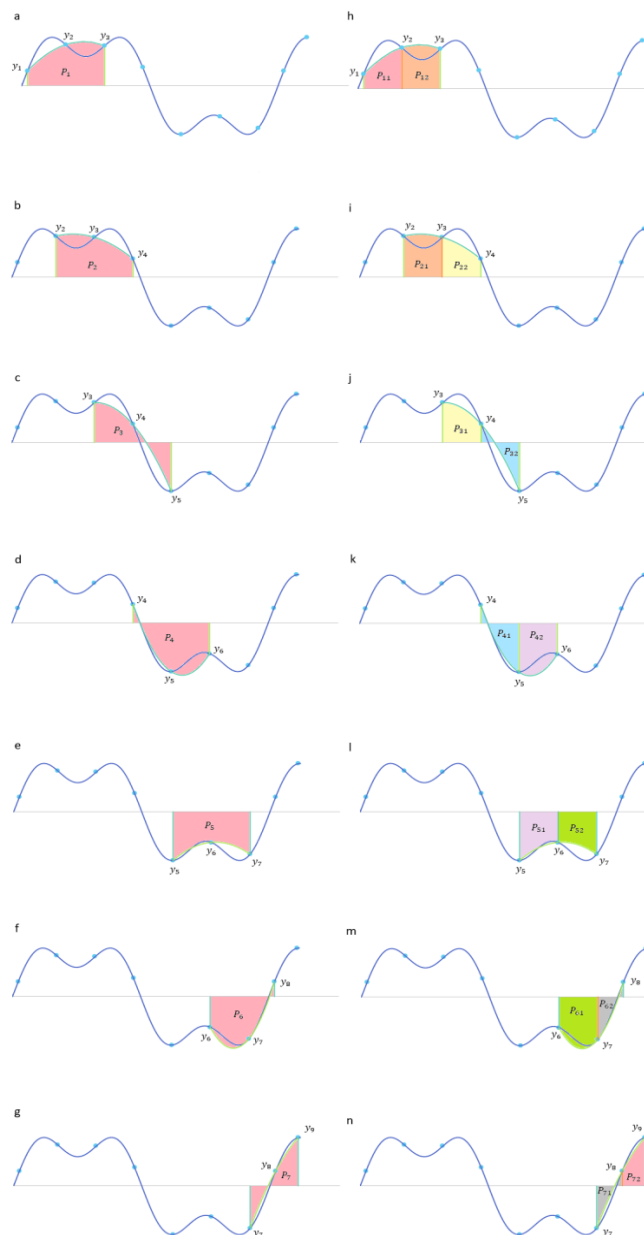
Simpsonova pravila zahtevaju određeni broj odbiraka dobijenih u okviru periode. Kako je ukupan broj odbiraka koji će se dobiti u procesu diskretizacije nepoznat, ove metode se u praksi vrlo retko koriste. Broj odbiraka po periodu zavisi od učestanosti odabiranja, učestanosti signala, ali i od momenta kada počinje proces odabiranja. Taj broj je nekad za jedan veći, a nekad za jedan manji od celobrojne vrednosti količnika te dve učestanosti.

Da bi se pronašlo rešenje ovog fenomena i metoda učinila univerzalno primenljivom, autori ovog rada predlažu modifikacije Simpsonovih pravila. U daljem tekstu, fokus će

biti na modifikovanim Simpsonovim pravilima. Više o Simpsonovim pravilima se može pronaći u [7].

Simpsonovo 1/3 pravilo (SR1/3) predstavlja postupak numeričke integracije koji koristi polinomijalnu funkciju drugog reda za svaka tri susedna odbirka u okviru periode. Ova metoda je primenljiva u slučaju kada je ukupan broj odbirka u okviru periode neparan. Modifikacija ove metode nazvana je Modifikovano Simpsonovo 1/3 pravilo (MSR1/3).

MSR1/3 je predstavljeno na slici 3. Podintervali se dobijaju na osnovu svaka tri susedna odbirka pomoću polinoma drugog reda u okviru intervala integracije, što je prikazano na grafiku na slici 3, od 3a do 3f: prvi podinterval ( $P_1$ ) je određen na osnovu prva tri susedna odbirka ( $y_1, y_2, y_3$ ), podinterval  $P_2$  na osnovu naredna tri odbirka ( $y_2, y_3, y_4$ ) i, analogno tome,  $P_3$  ( $y_3, y_4, y_5$ ),  $P_4$  ( $y_4, y_5, y_6$ ),  $P_5$  ( $y_5, y_6, y_7$ ) i  $P_6$  ( $y_6, y_7, y_8$ ).



Sl. 3. Modifikovano Simpsonovo 1/3 pravilo

Ako podelimo površinu  $P_1$  (slika 3a) na dve disjunktne površine  $P_{11}$  i  $P_{12}$  (slika 3h), i površinu  $P_2$  (slika 3b) na površine  $P_{21}$  i  $P_{22}$  (slika 3i), može se uočiti da su površine  $P_{12}$  i  $P_{21}$  formirane nad istim odbircima, ali su dobijene pomoću različitih parabola, te se njihove vrednosti ipak razlikuju. Međutim, ako uzmemo u obzir da je ta razlika dovoljno mala, i da je u daljem proračunu  $P_{i,2} = P_{i+1,1}$  za  $i=1,2,3,4,5$ , dobijamo da se u sumi površina od  $P_1$  do  $P_6$  sve podpovršine  $P_{i,2}$ , za  $i=1,2,3,4,5$  javljaju po dva puta, a  $P_{11}$  i  $P_{62}$  samo jednom. Iz ovog razloga je neophodno uzeti i dva naredna odbirka van periode ( $y_8$  i  $y_9$ ), kako bi ovakvom aproksimacijom dobili duplo veću ukupnu površinu od one koja nam je potrebna. Vrednosti dodatih odbiraka su bliske vrednostima  $y_1$  i  $y_2$ , te se na ovaj način dobijaju podpovršine  $P_{71}$  i  $P_{72}$  (nastale na osnovu odbiraka  $y_7, y_8, y_9$ ) bliske po vrednostima podpovršinama  $P_{62}$  i  $P_{11}$ , respektivno. Deljenjem ovako estimirane ukupne površine sa dva, dobija se aproksimacija određenog integrala nad periodom.

Na slici 4, u uokvirenom delu, je dat prikaz površina i njihovih disjunktних podpovršina dobijenih na osnovu periode. Podpovršine koje su bliske po vrednostima su obeležene istim bojama. Dodavanje semplova  $y_8$  i  $y_9$  rezultiralo je stvaranjem površine  $P_7$ , što je omogućilo procenu određenog integrala  $P$  nad periodom.

$P_1 =$	$P_{11}$	$+$	$P_{12}$
$P_2 =$	$P_{21}$	$+$	$P_{22}$
$P_3 =$	$P_{31}$	$+$	$P_{32}$
$P_4 =$	$P_{41}$	$+$	$P_{42}$
$P_5 =$	$P_{51}$	$+$	$P_{52}$
$P_6 =$	$P_{61}$	$+$	$P_{62}$
$P_7 =$	$P_{71}$	$+$	$P_{72}$

Sl. 4. Modifikovano Simpsonovo 1/3 pravilo

Procene određenog integrala  $P$  i  $U_{eff}$  primenom modifikovanog Simpsonovog 1/3 pravila nad periodom date su u izrazima (6) i (7).

$$P \approx \Delta T \left( \frac{y_1 + y_n}{6} + \frac{5}{6}(y_2 + y_{n-1}) + \sum_{i=3}^{n-2} y_i \right) \quad (6)$$

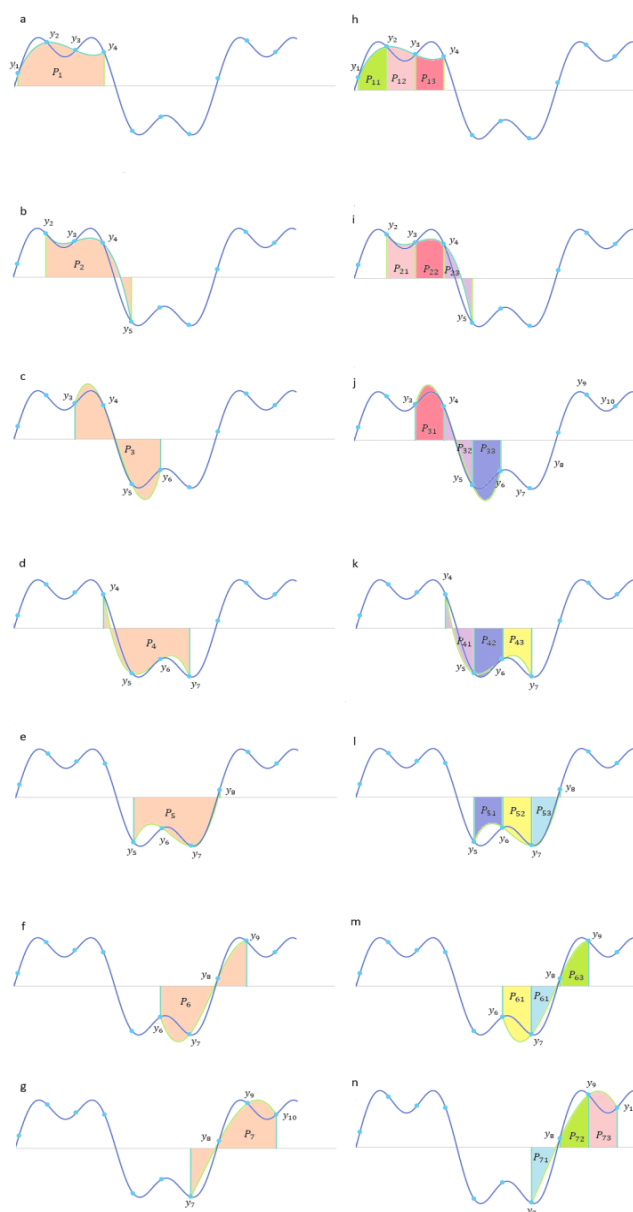
$$U_{eff} \approx \sqrt{\frac{1}{n-2} \left[ \frac{1}{6} \quad \frac{5}{6} \quad 1 \quad \dots \quad 1 \quad \frac{5}{6} \quad \frac{1}{6} \right] \cdot \underline{U}} \quad (7)$$

#### D. Modifikovano Simpsonovo 3/8 pravilo

Ovaj metod predstavlja modifikovano Simpsonovo 3/8 pravilo (MSR3/8), predloženo od strane autora ovog rada. Modifikacija omogućava eliminaciju ograničenja Simpsonovog 3/8 pravila u pogledu broja odbiraka u okviru

periode koji iznosi  $3k + 1$  za  $k \in N$ . Postupak modifikovanja je sličan onom koji se koristi za dobijanje MSR1/3, sa tom razlikom da su potrebna tri naredna odbirka pored dobijenih odbiraka u okviru periode. Slika 5 ilustruje MSR3/8.

Podintervali su dobijeni na osnovu svaka četiri uzastopna odbirka pomoću kojih je određena kubna funkcija. U sumi svih površina definisanih na osnovu osnovne periode, površine  $P_{11}$  i  $P_{53}$  se javljaju jednom. Kako su  $P_{12} \approx P_{21}$  i  $P_{43} \approx P_{52}$ , površine  $P_{12}$  i  $P_{43}$  se javljaju po dva puta. Sve ostale površine se pojavljuju po tri puta u izrazu za sumu svih površina nad periodom. Kako su vrednosti  $P_{63}$  i  $P_{72}$  bliske vrednosti površine  $P_{11}$ , i vrednosti površina  $P_{21}$  i  $P_{73}$  bliske vrednosti površine  $P_{12}$ , suma svih površina na ovako definisanoj periodi je tri puta veća od one koja nam je potrebna. Ovo uslovljava procenu određenog integrala i efektivne vrednosti nad datom periodom na način koji je prikazan u izrazima (8) i (9), respektivno.



Sl. 5. Modifikovano Simpsonovo 3/8 pravilo



$$P \approx \Delta T \left( \frac{y_1 + y_n}{8} + \frac{1}{2}(y_2 + y_{n-1}) + \frac{7}{8}(y_3 + y_{n-2}) + \sum_{i=4}^{n-3} y_i \right) \quad (8)$$

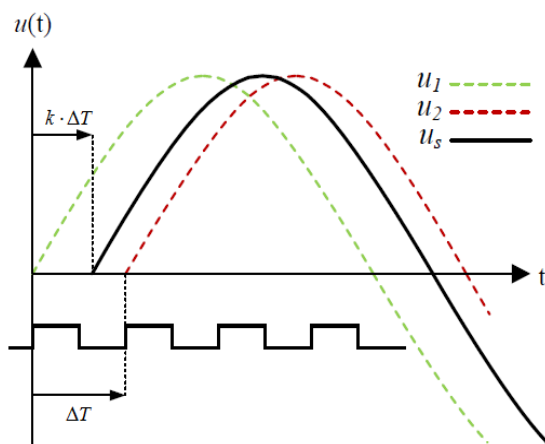
$$U_{eff} \approx \sqrt{\frac{1}{n-2} \left[ \frac{1}{8} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{7}{8} \quad 1 \quad \dots \quad 1 \quad \frac{7}{8} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{8} \right] \cdot U} \quad (9)$$

Modifikacije Simpsonovih pravila se ogledaju u dodavanju naredna dva, odnosno tri odbirka na one dobijene u okviru periode. Na ovaj način je postignuta univerzalna primenljivost modifikovanih metoda jer njihova primena više nije ograničena brojem odbiraka u okviru intervala integracije.

### III. SIMULACIJE

Ulazni parametar za algoritam semplovanja predstavlja period  $\Delta T = 1/f_s$ , gde je  $f_s$  učestanost odabiranja. Trenutak kada započinje semplovanje je definisan pojavom rastuće ivice periodične povorke pravougaonih impulsa (slika 6).

Merni sistem može da bude u dva različita stanja. Jedno je stanje u kojem signal ima nultu vrednost u momentu semplovanja ( $u_1(t)$  i  $u_2(t)$  na slici 6), a drugo ono u kojem signal ima vrednost koja je između dva uzastopna trenutka semplovanja ( $u_s(t)$ ). Vremenski interval između trenutka kada signal dosegne nultu vrednost i sledećeg trenutka semplovanja može da ima vrednost od 0 do  $\Delta T$ . Uvođenjem koeficijenta  $k$ , čija je vrednost iz intervala od 0 do 1, definišemo trenutak kada signal dostiže svoju nultu vrednost.



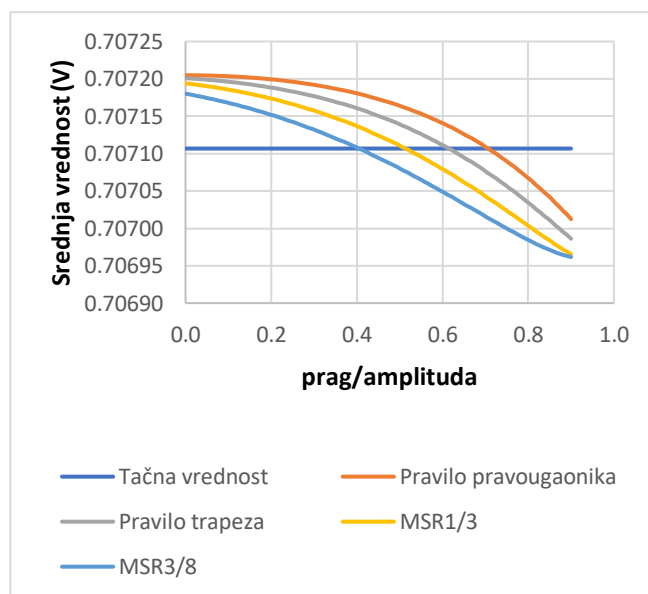
Sl. 6. Merni sistem i stanja u kojima on može da bude

Simulacije koje su sprovedene u ovom istraživanju imaju zadatak da pokažu kako vrednost napona (prag) na osnovu kojeg je određivan početak i kraj periode utiče na procenu efektivne vrednosti napona, u slučaju kada su primenjene četiri metode: pravilo pravougaonika, pravilo trapeza, MSR1/3 i MSR3/8 na primeru prostoperiodičnog napona amplitude 1 V i učestanosti 50 Hz. U tu svrhu je korišćen LabVIEW softver, koji je izabran jer može da se koristi i za realna merenja koja će biti sprovedena u daljem istraživanju značaja izbora praga periode.

### IV. REZULTATI SIMULACIJA

Simulacionim putem je proveravano ponašanje izračunate efektivne vrednosti po četiri numeričke metode, za fiksiran odnos učestanosti odabiranja i učestanosti osnovnog harmonika napona 25,6. Menjana je vrednost praga u rasponu od 0 do 0,9 od vrednosti amplitude. Svaka situacija je ponavljana 100 puta za nasumične vrednosti koeficijenta  $k$ . Za dobijeni skup vrednosti određena je srednja vrednost i standardna devijacija. Za potrebe ovog rada uzet je jedan reprezentativan slučaj  $f_s/f$ , i ova dimenzija problema nije analizirana zbog ograničenosti opsega rada.

Na slici 7 je prikazano ponašanje srednje vrednosti napona za sve četiri numeričke metode u zavisnosti od praga. Sva četiri grafika pokazuju da postoji sistematsko odstupanje, usled kojeg se za male vrednosti praga dobija veći rezultat, odnosno za veće vrednosti praga dobija manji rezultat od očekivane tačne vrednosti. Tačna vrednost je određena matematičkim putem na osnovu definicije efektivne vrednosti i poznavanja talasnog oblika napona. Za svaku od metoda postoji optimalna vrednost praga kada nema sistematske greške. Kao što je predočeno u [6], očekivana vrednost za pravougaonu metodu je jednaka efektivnoj vrednosti napona. Pri primeni ostalih metoda, optimalna vrednost praga je manja nego kada se upotrebljava pravougaona metoda.

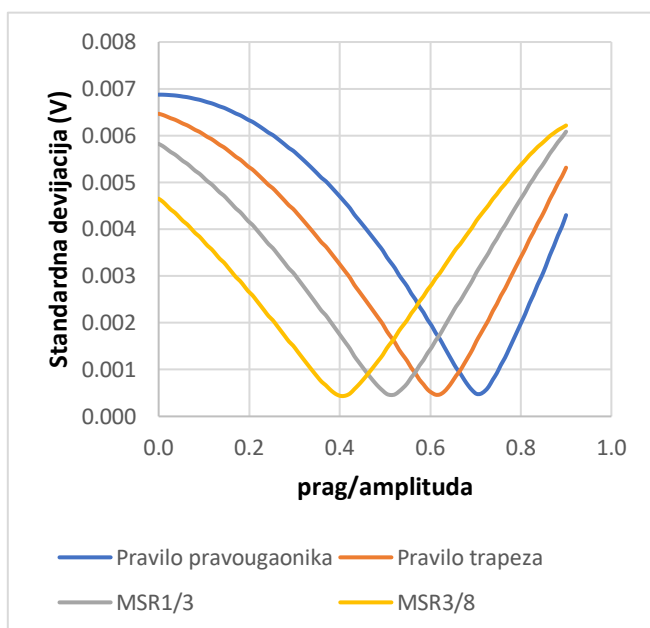


Sl. 7. Rezultati simulacija srednje vrednosti signala za odnos učestanosti odabiranja i učestanosti signala 25,6

Na slici 8 je prikazana zavisnost standardne devijacije četiri numeričke metode u zavisnosti od praga na osnovu kojeg se definiše perioda. Vidimo da uvek postoji rasipanje, odnosno slučajna greška koja zavisi od koeficijenta  $k$ , na koji ne možemo lako da utičemo. Za svaku od metoda se uočava da postoji minimum koji se javlja upravo za vrednost praga kada nema sistematske greške.

Najveća sistematska greška iskazana relativno nije veća od 0,015 %, dok najveća slučajna greška nije veća od 1 %. Dakle, prisutna je mnogo veća slučajna greška nego sistematska i to preko 60 puta. Ove vrednosti se dobijaju ukoliko se ne vodi računa o pragu na osnovu kojeg se definiše perioda. Ako se za

prag odabere optimalna vrednost, data u tabeli, onda se situacija značajno poboljšava. Sistematska greška postaje nula, a slučajna greška je približno 0,07%. Drugim rečima, odabiranjem optimalnog praga u potpunosti se eliminiše sistematska greška, a slučajna se smanjuje i do 15 puta.



Sl. 8. Rezultati simulacija standardne devijacije za odnos učestanosti odabiranja i učestanosti signala 25,6

Interesantno je primetiti da odabirom optimalnog praga za definisanje periode dobijamo istu vrednost za slučajnu grešku bez obzira na izbor numeričke metode kojom se određuje efektivna vrednost napona.

#### ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju, modifikovani su Simpsonovo 1/3 pravilo i Simpsonovo 3/8 pravilo čime je postignuta njihova univerzalna primenljivost. Ispitivane su performanse računanja procene efektivne vrednosti u odnosu na izbor periode. Simulacijama je potvrđeno da je pri primeni pravila pravougaonika optimalan izbor praga periode efektivna vrednost, dok se ta vrednost razlikuje kada se upotrebljavaju ostale metode. Pokazano je da se odabiranjem optimalnog praga u potpunosti eliminiše sistematska greška, a slučajna se znatno smanjuje. Ovo dovodi do zaključka o validnosti pretpostavke o uticaju izbora praga periode na određivanje procene efektivne vrednosti signala.

#### LITERATURA

- [1] S. Kosonocky, P. Xiao, "Analog-to-digital conversion architectures," in K. V. Madisetti and D. B. Williams (eds), Digital Signal Processing Handbook, pp. 106-119, Boca Raton, USA: Crc Press Llc, 1999.
- [2] V. Vujicic, "Generalized low-frequency stochastic true RMS instrument," "IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 50, no. 5, pp. 1089-1092, IEEE, October, 2001.
- [3] V. Vujicic, D. Pejic, "Accuracy limit of high-precision stochastic Watt-hour meter," "IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 49, no.3, pp. 617-620, IEEE, June, 2000.
- [4] M. Kampik, H. Laiz, M. Kolnz, "Comparison of three accurate methods to measure AC voltage at low frequencies," "IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 49, no. 2, pp. 429-433, IEEE, April, 2000.
- [5] P. Petrović, "New digital multimeter for accurate measurement of synchronously sampled AC signals," "IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 53, no. 3, pp. 716-725, IEEE, June, 2004.
- [6] P. Miljanic, "Definitions of the average and RMS values suitable for the measurement and descriptions of quasi steady state," "Electronics, vol. 5, no. 1-2, pp. 18-20, 2001.
- [7] S. P. Venkateshan, "Numerical Integration", in: S. P. Venkateshan and P. Swaminathan (eds.), Computational Methods in Engineering, 1st edition, pp 317-373. Oxford, UK: Academic Press, 2013.
- [8] Anon, HP 3458A Operating, Programming and Configuration Manual, 1988, Accessed 5 May 2020.

#### ABSTRACT

This paper explores the quality of the estimation of the root mean square (RMS) of the voltage signal using the rectangular method, trapezoidal rule, modified Simpson's 1/3 rule, and modified Simpson's 3/8 rule, respectively, depending on the selected period. Modified Simpson's rules do not require a particular number of samples for the numerical analysis purposes, which ensures their general applicability. The paper offers a concise overview of the approaches to the estimation of the RMS of the voltage signal using these methods. In addition, the simulation tests of their application are presented. It has been shown that both the estimation of the RMS and measurement results depend on the selection of the period. In order to improve measurement performances, the most adequate period was selected for each method. That has effected better results of the estimation of the RMS by making direct changes in the firmware without additional investment in the hardware.

#### The Impact of the Selection of the Starting Point of the Conversion on the Estimation of the RMS

Marina Subotin, Dragan Pejić, Stefan Mirković,  
Nemanja Gazivoda, Marjan Urekar i Bojan Vujičić

# Postupak etaloniranja mernih pretvarača AC struje i napona i električne otpornosti

Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić, Marina Subotin, Marjan Urekar, Platon Sovilj

**Apstrakt**—Ovaj rad opisuje postupak etaloniranja mernih pretvarača električne otpornosti, struje i napona u električnu struju u uslovima unutar metrološke laboratorije. Prikazane su najbolje mogućnosti merenja, opisana je priprema za merenje, navedena je merna oprema koja se koristi, opisani su postupci merenja koje treba sprovesti i prikazana je obrada dobijenih rezultata.

**Ključne reči**—merni pretvarač; etalonski otpornik; multimetar; etaloniranje; merna nesigurnost; budžet merne nesigurnosti; metrologija.

## I. UVOD

Ovaj rad ima cilj da prikaže jedan od načina na koji Laboratorija za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka (FTN) u Novom Sadu vrši etaloniranje mernih pretvarača struje, napona i otpornosti. Krajnji proizvod etaloniranja je dokument Uverenje o etaloniranju koje se izdaje klijentu saglasno dokumentovanom sistemu kvaliteta.

Postupak etaloniranja pokaznih mernih pretvarača određen je radnim uputstvom izrađenim od strane tima saradnika Laboratorije za metrologiju. U radnom uputstvu, svi termini i definicije su u skladu sa SRPS ISO/IEC 9000:2015, SRPS ISO/IEC 17025:2017 i Međunarodnim rečnikom osnovnih i opštih termina u metrologiji.

Merni pretvarači su uređaji koji pretvaraju energiju iz jednog oblika u drugi. Iako se termin pretvarač obično upotrebljava da označi senzor ili detektor, zapravo bilo koji uređaj koji konvertuje energiju može se smatrati pretvaračem. Pretvarači se npr. obilno koriste u mernim instrumentima i nazive dobijaju prema oblicima energije između kojih se obavlja transformacija. Tako npr. postoje termo-električni, hemijsko-akustički, tenzo-magnetski itd.

Opisane metode etaloniranja u ovom radu odnose se na merne pretvarače sa električnom strujom, naponom ili

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [mirkovicst@uns.ac.rs](mailto:mirkovicst@uns.ac.rs)).

Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [nemanjagazivoda@uns.ac.rs](mailto:nemanjagazivoda@uns.ac.rs)).

Bojan Vujičić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [bojanvuj@uns.ac.rs](mailto:bojanvuj@uns.ac.rs)).

Marina Subotina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [marina.bulat@uns.ac.rs](mailto:marina.bulat@uns.ac.rs)).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs)).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [platon@uns.ac.rs](mailto:platon@uns.ac.rs)).

električnom otpornošću na ulazu, i jednosmernom strujom na izlazu. Etaloniranje se vrši tako što se na ulaz mernog pretvarača dovede poznata veličina za koju je predviđen, zatim se meri odgovarajuća izlazna veličina, i vrši se poređenje empirijskih rezultata sa rezultatima na osnovu nominalnog faktora prenosa. Merenje se vrši na početku i kraju mernog opsega pretvarača i još u najmanje četiri tačke koje ekvidistantno dele opseg mernog pretvarača. Prenosna karakteristika mernog pretvarača mora biti označena na samom pretvaraču, a u slučaju da su označeni samo ulazni opseg vrednosti naizmenečne struje i izlazni opseg jednosmerne struje tada se podrazumeva da je prenosna karakteristika linearna, te da se za maksimalnu vrednost ulazne veličine dobija na izlazu maksimalna vrednost izlaza.

## II. MERNE MOGUĆNOSTI I MERNA OPREMA

U Tabeli I prikazane su merne mogućnosti etaloniranja.

TABELA I  
MERNE MOGUĆNOSTI

Veličina	Predmet etaloniranja	Opseg	Merna nesigurnost*
Naizmenečni napon	Merni pretvarač naizmenečnog napona	0 V do 250 V	0,02 %
Naizmenečna struja	Merni pretvarač naizmenečne struje	0 A do 6 A	0,1 %
Električna otpornost	Merni pretvarač električne otpornosti	0 $\Omega$ do 1 M $\Omega$	0,02 %

\*Merna nesigurnost je proširena merna nesigurnost, gde je standardna merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata  $k=2$ , što za slučaj normalne raspodele greške odgovara verovatnoći od približno 95 %.

### Merna oprema

TABELA II  
MERNA OPREMA

Naziv	Tip
Kalibrator	Time Electronics 5025
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Etalon otpornik	
Dekadna kutija otpornosti	

### III. ETALONIRANJE

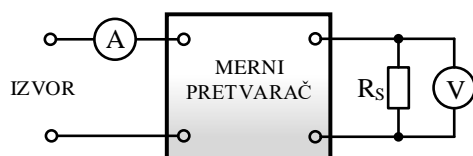
Priprema za etaloniranje u Laboratoriji podrazumeva vizuelni pregled objekta etaloniranja, konstataciju da je objekt pripremljen za etaloniranje i proveru referentnih uslova etaloniranja. Potrebno da objekt etaloniranja bude u Laboratoriji najmanje 12 sati pre početka etaloniranja, da bi se njegova temperatura izjednačila sa temperaturom okoline. Vizuelnim pregledom se utvrđuje opšte stanje objekta etaloniranja i konstatuju se eventualna oštećenja. Utvrđuje se, takođe, i postojanje dokumentacije o objektu etaloniranja, relevantne za etaloniranje. Referentni uslovi za merenje u Laboratoriji su:

Temperatura okoline:  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ;  
 Relativna vlažnost vazduha:  $(45 \pm 15) \%$ .

Referentni uslovi u Laboratoriji se održavaju stalno, i podrazumeva se ispunjenje navedenih zahteva neposredno pre merenja.

#### Merni pretvarači struje u struju

U slučaju etaloniranja mernih pretvarača struje, šema povezivanja je kao na sledećoj slici:



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača naizmjenične struje na ulazu, u jednosmernu struju na izlazu

Model izračunavanja greške  $G(I_{IN})$  merenja ulazne struje pretvaračem:

$$G(I_{IN}) = K_N \left( \frac{U_{OUT} + \delta U_{OUT}}{R_S + \delta R_S} \right) - (I_{IN} + \delta I_{IN}) \quad (1)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija zbog netačnosti merenja napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija otpornosti etalonskog otpornika;
- $I_{IN}$  Izmerena vrednost struje na ulazu pretvarača;
- $\delta I_{IN}$  Korekcija zbog netačnosti merenja struje na ulazu pretvarača;

Vrednost napona na izlazu pretvarača  $U_{OUT}$  meri se digitalnim multimetrom Fluke 8846A sa granicama greške

$G(U_{OUT})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Vrednost struje na ulazu pretvarača  $I_{IN}$  meri se digitalnim multimetrom Fluke 8846A sa granicama greške  $G(I_{IN})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta I_{IN}) = \frac{G(I_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(I_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (5)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(I_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (6)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(I_{IN})}{\partial \delta I_{IN}} = 1 \quad (6)$$

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja, odnosno greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(I_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta I_{IN})]^2} \quad (7)$$

Proširena merna nesigurnost  $U$  definisana je sa:

$$U = k \cdot u(I_{IN}) \quad (8)$$

Etaloniran je merni pretvarač naizmjenične struje dometa 5 A, u jednosmernu struju dometa 10 mA.

TABELA III  
 REZULTATI ETALONIRANJA

Ulazna struja	Izlazna struja	Greška	Merna nesigurnost*	Faktor obuhvata
$I_{IN}$ (A)	$I_{OUT}$ (mA)	$G(U_{OUT})$ (mA)	$U$ (mA)	$k$
0	0,000	0	10	2
1	2,070	35	10	2
2	4,060	30	10	2
3	6,000	0	10	2
4	7,950	-25	10	2

\*Merna nesigurnost je proširena merna nesigurnost, gde je standardna merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata  $k=2$ , što za slučaj normalne raspodele greške odgovara

verovatnoći od približno 95 %. Tabela V ujedno prikazuje i prilog uz Uverenje o etaloniranju koje izdaje Laboratorija.

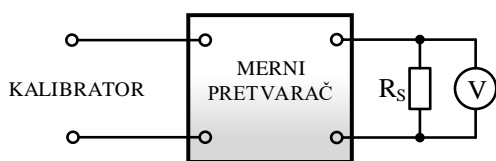
TABELA IV  
BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI ETALONIRANJA ZA ULAZNU STRUJU 5 A

Naziv veličine	Simbol	Ocena	Parcijalna nesigurnost	Tip nesigurnosti	Raspodela	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
Nazivna vrednost prenosnog odnosa	$K_N$	$\frac{5 \text{ A}}{10 \text{ mA}}$					
Izlazni napon	$U_{OUT}$	99,3 mV					
Korekcija izlaznog napona	$\delta U_{OUT}$	0 V	$5,8 \cdot 10^{-6} \text{ V}$	B	ravnomerna	$50 \Omega^{-1}$	$290 \cdot 10^{-6} \text{ A}$
Otpornost etalonskog otpornika	$R_S$	10 $\Omega$					
Korekcija otpornost etalonskog otpornika	$\delta R_S$	0 $\Omega$	$0,58 \cdot 10^{-3} \Omega$	B	ravnomerna	$-0,5 \text{ V} \cdot \Omega^{-1}$	$290 \cdot 10^{-6} \text{ A}$
Ulazna struja	$I_{IN}$	5 A					
Korekcija ulazne struje	$\delta I_{IN}$	0 A	$4,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$	B	ravnomerna	-1	$4,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
Greška merenja ulazne struje	$G(I_{IN})$	-0,035 A	Kombinovana merna nesigurnost				$4,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
			Proširena merna nesigurnost ( $k=2$ )				$8,8 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

Na veoma sličan način se vrši etaloniranje mernih pretvarača napona u struju i električne otpornosti u struju.

#### Merni pretvarači napona u struju

Tipična šema za etaloniranje mernog pretvarača napona data je na sledećoj slici:



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača napona na ulazu, u jednosmernu struju na izlazu

Model izračunavanja greške  $G(U_{IN})$  merenja ulaznog napona pretvaračem:

$$G(U_{IN}) = K_N \left( \frac{U_{OUT} + \delta U_{OUT}}{R_S + \delta R_S} \right) - (U_{IN} + \delta U_{IN}) \quad (9)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija zbog netačnosti merenja napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija zbog netačnosti merenja etalonske otpornosti;
- $U_{IN}$  Zadana/izmerena vrednost napona na ulazu pretvarača;
- $\delta U_{IN}$  Korekcija napona na ulazu pretvarača;

Vrednost napona na izlazu pretvarača  $U_{OUT}$  meri se digitalnim multimetrom sa granicama greške  $G(U_{OUT})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Vrednost napona na ulazu pretvarača  $U_{IN}$  meri se digitalnim multimetrom sa granicama greške  $G(I_{IN})$ , ili koristi uverenje o etaloniranju. Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{IN}) = \frac{G(U_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(U_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (13)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(U_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (14)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(U_{IN})}{\partial \delta U_{IN}} = 1 \quad (15)$$

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja, odnosno greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(I_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta U_{IN})]^2} \quad (16)$$

Merni pretvarači električne otpornosti u struju

Tipična šema za etaloniranje mernog pretvarača električne otpornosti data je na sledećoj slici:



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača električne otpornosti na ulazu, u jednosmernu struju na izlazu

Model izračunavanja greške  $G(R_{IN})$  merenja ulazne otpornosti pretvaračem:

$$G(R_{IN}) = K_N \left( \frac{U_{OUT} + \delta U_{OUT}}{R_S + \delta R_S} \right) - (R_{IN} + \delta R_{IN}) \quad (17)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija zbog netačnosti merenja napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija zbog netačnosti merenja etalonske otpornosti;
- $R_{IN}$  Zadana/izmerena vrednost otpornosti na ulazu pretvarača;
- $\delta R_{IN}$  Korekcija otpornosti na ulazu pretvarača;

Vrednost napona na izlazu pretvarača  $U_{OUT}$  meri se digitalnim multimetrom sa granicama greške  $G(U_{OUT})$ . Ako se smatra da greška merenja ima ravnomernu raspodelu, tada standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog multimetra određena je izrazom:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja etalonske otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja ulazne otpornosti  $G(R_{IN})$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja ulazne otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_{IN}) = \frac{G(R_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(R_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (21)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(R_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (22)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(R_{IN})}{\partial \delta R_{IN}} = 1 \quad (23)$$

Merna nesigurnost rezultata etaloniranja, odnosno greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(I_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta R_{IN})]^2} \quad (24)$$

#### IV. ZAKLJUČAK

Postupak etaloniranja mernih pretvarača električne otpornosti, struje i napona saglasno je dokumentovanom sistemu kvaliteta Laboratorije za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Merne nesigurnosti opisanih metoda zadovoljavaju zahteve većine korisnika usluga Laboratorije, pa samim tim se takve i implemetiraju. Dalja istraživanja i razvoj novih mernih metoda unutar Laboratorije su vizija budućeg rada.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

## LITERATURA

- [1] "Etaloniranje mernih pretvarača", Radno uputstvo, Q3.JIM.05, Laboratorija za metrologiju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008
- [3] "International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)", JCGM 200:2012
- [4] A. Dunjić, J. Pantelić-Babić, M. Pavićević, "Postupak etaloniranja ampermetara i kalibratora jednosmerne električne struje u dokumentovanom sistemu kvaliteta ZMDM", *Zbornik radova 50. Konferencije za ETRAN*, vol. III, Beograd, 2006.
- [5] "8845A/8846A Digital Multimeter Users Manual", Fluke Corporation, USA, July 2006

- [6] "ETALONIRANJE MERNIH PRETVARAČA", Radno uputstvo, Q3.JIM.05, Laboratorija za metrologiju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

## ABSTRACT

The paper describes the procedure for calibration of electrical resistance, current and voltage measuring transducers under conditions inside the metrology laboratory. The best measurement possibilities and measurement equipment are presented, the preparation for measurements and measurement procedures is described, and processing of the obtained results is shown.

## **Procedure for Calibration of AC Current and Voltage and Electrical Resistance Measuring Transducers**

Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić, Marina Subotin, Marjan Urekar, Platon Sovilj

# Postupak etaloniranja mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage

Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić, Marina Subotin, Marjan Urekar, Platon Sovilj

**Apstrakt**—Laboratorija za metrologiju (FTN) vrši etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage. Snaga koja se izmeri mernim pretvaračem poredi se sa ulaznom referentnom snagom, i na osnovu toga se određuje greška pretvarača. U radu su prikazane mogućnosti etaloniranja, postupak pripreme za etaloniranje, dokumentovana je merna oprema kao i postupci merenja. Prikazani su specifični rezultati etaloniranja praćeni odgovarajućim mernim nesigurnostima.

**Ključne reči**— merni pretvarač; aktivna snaga; reaktivna snaga; kalibrator; multimetar; etaloniranje; merna nesigurnost; budžet merne nesigurnosti; metrologija.

## I. UVOD

U Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu vrši se etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage, što je opisano u ovom radu. Kao krajnji proizvod etaloniranja Laboratorija izdaje dokument Uverenje o etaloniranju koje se izdaje klijentu saglasno dokumentovanom sistemu kvaliteta. Etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage, kao i sam postupak, određen je radnim uputstvom izrađenim od strane tima saradnika Laboratorije za metrologiju, na osnovu EURAMET-ovih saveta, kao i uputstava iz [1]. U radnom uputstvu laboratorije svi termini i definicije su u skladu sa SRPS ISO/IEC 9000:2015, SRPS ISO/IEC 17025:2017 i Međunarodnim rečnikom osnovnih i opštih termina u metrologiji.

Merni pretvarači snage koji na svom izlazu daju jednosmernu struju srazmernu električnoj snazi koja se razvija na njegovim ulazima su tema ovog rada. Nazivni opsezi ulaznih, odnosno izlazne veličine kao i klasa tačnosti označeni su najčešće na samom pretvaraču. Praksa je da se etaloniranje vrši korišćenjem mernih instrumenata čija tačnosti je najmanje pet puta veća od tačnosti overavanog pretvarača.

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [mirkovicst@uns.ac.rs](mailto:mirkovicst@uns.ac.rs)).

Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [nemanjagazivoda@uns.ac.rs](mailto:nemanjagazivoda@uns.ac.rs)).

Bojan Vujičić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [bojanvuj@uns.ac.rs](mailto:bojanvuj@uns.ac.rs)).

Marina Subotina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [marina.bulat@uns.ac.rs](mailto:marina.bulat@uns.ac.rs)).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs)).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [platon@uns.ac.rs](mailto:platon@uns.ac.rs)).

Overa se vrši u najmanje pet ekvidistantnih tačaka koje prolaze kroz ceo nazivni opseg ulaznih veličine uz napomenu da je fazni stav ulaznih veličina jednak nominalnoj vrednosti (ako je reč o pretvaraču aktivne snage  $\varphi = 0$  rad, odnosno ako je reč o pretvaraču reaktivne snage  $\varphi = (\pi/2)$  rad).

## II. MERNE MOGUĆNOSTI I MERNA OPREMA

Merne mogućnosti u vidu mernih nesigurnosti etaloniranja mernih pretvarača aktivne i reaktivne snage, raspoloživom opremom Laboratorije prikazane su u tabeli ispod.

TABELA I  
MERNE MOGUĆNOSTI

Veličina	Predmet etaloniranja	Opseg	Merna nesigurnost*
Aktivna snaga	Merni pretvarač aktivne snage	0 W do 1500 W	0,1 %
Reaktivna snaga	Merni pretvarač reaktivne snage	0 VAr do 1500 VAr	0,1 %

\*Merna nesigurnost je proširena merna nesigurnost, gde je standardna merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata  $k = 2$ , što za slučaj normalne raspodele greške odgovara verovatnoći od približno 95 %.

### Merna oprema

Oprema Laboratorije koja se koristi za etaloniranje prikazana je u Tabeli II.

TABELA II  
MERNA OPREMA

Naziv	Tip
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Digitalni multimetar	Fluke 8846A
Konvertor snage	MSP-1
Dvokanalni izvor funkcija	
Etalon otpornik	
Dekadna kutija otpornosti	

## III. ETALONIRANJE

Pre etaloniranja, vizuelnim pregledom objekta etaloniranja vrši se konstatacija da je objekat pripremljen za etaloniranje i

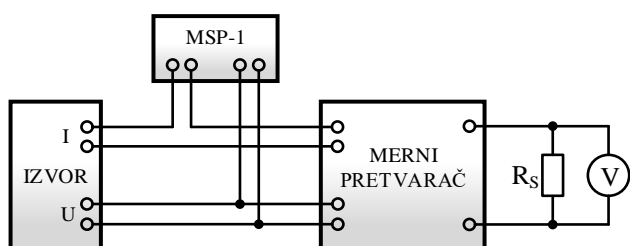


provera referentnih uslova etaloniranja unutar Laboratorije. Utvrđuje se opšte stanje objekta etaloniranja, konstatuju se eventualna oštećenja, kao i postojanje dokumentacije o objektu etaloniranja, relevantne za etaloniranje. Objekt etaloniranja mora da bude u Laboratoriji najmanje 12 sati pre početka etaloniranja, da bi se njegova temperatura izjednačila sa temperaturom okoline. Uslovi za merenje u Laboratoriji su:

Temperatura okoline:  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ;  
 Relativna vlažnost vazduha:  $(45 \pm 15) \%$ .

Ovi uslovi se održavaju stalno, i podrazumeva se ispunjenje navedenih referentnih uslova neposredno pre merenja.

### Merni pretvarač aktivne snage



Sl. 1. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača aktivne snage u jednosmernu struju

Model izračunavanja greške  $G(P_{IN})$  merenja ulazne aktivne snage:

$$G(P_{IN}) = K_N \frac{(U_{OUT} + \delta U_{OUT})}{(R_S + \delta R_S)} - (P_{IN} + \delta P_{IN}) \quad (1)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija otpornosti etalonskog otpornika;
- $P_{IN}$  Zadana/izmerena vrednost aktivne snage na ulazu pretvarača;
- $\delta P_{IN}$  Korekcija aktivne snage na ulazu pretvarača;

Vrednost ulazne snage  $P_{IN}$  meri se digitalnim vatmetrom MSP-1 sa granicama greške  $G(P_{IN})$ . Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim vatmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

$$u(\delta P_{IN}) = \frac{G(P_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Vrednost izlaznog napona  $U_{OUT}$  meri se digitalnim

voltmetrom sa granicama greške  $G(U_{OUT})$ . Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim voltmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(P_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (5)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(P_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (6)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(P_{IN})}{\partial \delta P_{IN}} = 1 \quad (7)$$

Merna nesigurnost određivanja greške  $G(I_{IN})$  je:

$$u(P_{IN}) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\delta U_{OUT})]^2 + [c_2 \cdot u(\delta R_S)]^2 + [c_3 \cdot u(\delta P_{IN})]^2} \quad (7)$$

Proširena merna nesigurnost  $U$  definisana je sa:

$$U = k \cdot u(P_{IN}) \quad (8)$$

Kao primer etaloniran je merni pretvarač aktivne snage dometa 1500 W, u jednosmernu struju dometa 10 mA.

TABELA III  
 REZULTATI ETALONIRANJA

Ulazna aktivna snaga	Izlazna struja	Greška	Merna nesigurnost*	Faktor obuhvata
$P_{IN}$ (W)	$I_{OUT}$ (mA)	$G(U_{OUT})$ (W)	$U$ (W)	$k$
0	0,000	0,000	1,5	2
300	1,970	-4,500	1,5	2
600	3,950	-7,500	1,5	2
900	5,970	-4,500	1,5	2
1200	8,020	3,000	1,5	2
1500	10,060	9,000	1,5	2

\*Proširena merna nesigurnost, gde je standardna kombinovana merna nesigurnost pomnožena faktorom obuhvata  $k=2$ , što za slučaj normalne raspodele greške

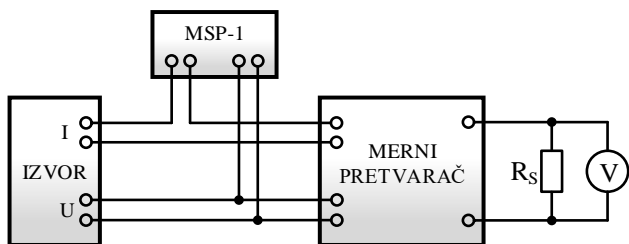
odgovara verovatnoći od približno 95 %. Tabela III ujedno Laboratorija prikazuje i prilog uz Uverenje o etaloniranju koje izdaje

TABELA IV  
BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI ETALONIRANJA ZA ULAZNU SNAGU OD 1200 W

Naziv veličine	Simbol	Ocena	Parcijalna nesigurnost	Tip nesigurnosti	Raspodela	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
Nazivna vrednost prenosnog odnosa	$K_N$	$\frac{1500 \text{ W}}{10 \text{ mA}}$					
Izlazni napon	$U_{OUT}$	80,2 mV					
Korekcija izlaznog napona	$\delta U_{OUT}$	0 V	$5,8 \cdot 10^{-6} \text{ V}$	B	ravnomerna	$15 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{V}^{-1}$	$290 \cdot 10^{-6} \text{ W}$
Otpornost etalonskog otpornika	$R_S$	10 $\Omega$					
Korekcija otpornost etalonskog otpornika	$\delta R_S$	0 $\Omega$	$0,58 \cdot 10^{-3} \Omega$	B	ravnomerna	$-120 \text{ W} \cdot \Omega^{-1}$	$70 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
Ulazna aktivna snaga	$P_{IN}$	1200 W					
Korekcija ulazne snage	$\delta P_{IN}$		0,75 W	B	ravnomerna	-1	$750 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
Greška merenja ulazne aktivne snage	$G(P_{IN})$	3 W	Kombinovana merna nesigurnost				$760 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
			Proširena merna nesigurnost ( $k=2$ )				1,5 W

### Merni pretvarač reaktivne snage

Kod etaloniranja mernih pretvarača reaktivne snage, šema povezivanja je identična kao u prethodnom slučaju.



Sl. 2. Blok šema etaloniranja mernog pretvarača reaktivne snage

Blok šema sa Sl. 2 identična je šemi sa Sl. 1, prema kojima se vrši etaloniranje. Izvor naizmenične struje i napona povezan je na referentni (etalonski) vatmetar MSP-1, kao i na ispitivani merni pretvarač. Ako bi se umesto MSP-1 koristilo merilo reaktivne električne snage, model računanja greške bi imao istu formu kao u prethodnom slučaju. Pošto se i kod merenja reaktivne snage koristi MSP-1 zbog svojih dobrih metroloških karakteristika, model za računanje greške dobija malo drugačiju formu.

Model izračunavanja greške  $G(Q_{IN})$  merenja ulazne reaktivne snage:

$$G(Q_{IN}) = K_N \frac{(U_{OUT} + \delta U_{OUT})}{(R_S + \delta R_S)} - (P_{IN} + \delta P_{IN}) \tan(\varphi + \delta\varphi) \quad (9)$$

gde je:

- $K_N$  Nazivna vrednost faktora prenosa;
- $U_{OUT}$  Izmerena vrednost jednosmernog napona na izlazu pretvarača;
- $\delta U_{OUT}$  Korekcija napona na izlazu pretvarača;
- $R_S$  Otpornost etalonskog otpornika;
- $\delta R_S$  Korekcija otpornosti etalonskog otpornika;
- $P_{IN}$  Zadana/izmerena vrednost aktivne snage na ulazu pretvarača;
- $\delta P_{IN}$  Korekcija aktivne snage na ulazu pretvarača;
- $\varphi$  Zadata fazna razlika između napona i struje izvora;
- $\delta\varphi$  Korekcija fazne razlike između napona i struje izvora;

Ulazna aktivna snaga  $P_{IN}$  meri se digitalnim vatmetrom MSP-1 sa granicama greške  $G(P_{IN})$ . Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim vatmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

$$u(\delta P_{IN}) = \frac{G(P_{IN})}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Vrednost izlaznog napona  $U_{OUT}$  meri se digitalnim voltmetrom sa granicama greške  $G(U_{OUT})$ . Gustina raspodele verovatnoće greške merenja digitalnim voltmetrom se smatra da ima ravnomernu raspodelu. Standardna merna nesigurnost koja potiče od digitalnog vatmetra je:

$$u(\delta U_{OUT}) = \frac{G(U_{OUT})}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Ako se smatra da maksimalna greška određivanja etalonske otpornosti  $G(R_S)$  ima ravnomernu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja otpornosti data izrazom:

$$u(\delta R_S) = \frac{G(R_S)}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Ako se smatra da se fazna razlika poznaje sa granicama greške  $G(\varphi)$ , gde raspodela greška ima uniformu raspodelu, tada je standardna merna nesigurnost poznavanja fazne razlike:

$$u(\delta\varphi) = \frac{G(\varphi)}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_1 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta U_{OUT}} = \frac{K_N}{R_S} \quad (14)$$

$$c_2 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta R_S} = \frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2} \quad (15)$$

$$c_3 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta P_{IN}} = \tan(\varphi) \quad (16)$$

$$c_4 = \frac{\partial G(Q_{IN})}{\partial \delta \varphi} = \frac{P_{IN}}{\cos^2 \varphi} \quad (17)$$

Merna nesigurnost određivanja greške mernog pretvarača reaktivne snage je:

$$u(Q_{IN}) = \sqrt{\left(\frac{K_N}{R_S}\right)^2 u^2(\delta U_{OUT}) + \left(\frac{K_N U_{OUT}}{R_S^2}\right)^2 u^2(\delta R_S) + \tan^2(\varphi) u^2(\delta P_{IN}) + \left(\frac{P_{IN}}{\cos^2(\varphi)}\right)^2 u^2(\delta \varphi)} \quad (18)$$

#### IV. ZAKLJUČAK

Etaloniranje mernih pretvarača aktivne i reaktivne električne snage saglasno je dokumentovanom sistemu kvaliteta Laboratorije za metrologiju. Pored raznih modulacija električnih šema povezivanja za etaloniranje, merne nesigurnosti i ovako opisanih metoda ispunjavaju većinu zahteva klijenata Laboratorije, kada su u pitanju konvencionalni merni pretvarači, koji se najviše i sreću kod klijenata i ispunjavaju njihove potrebe.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

#### LITERATURA

- [1] "Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008
- [2] "International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)", JCGM 200:2012
- [3] A. Dunjić, J. Pantelić-Babić, M. Pavićević, "Postupak etaloniranja ampermetara i kalibratora jednosmerne električne struje u

dokumentovanom sistemu kvaliteta ZMDM", *Zbornik radova 50. Konferencije za ETRAN*, vol. III, Beograd, 2006.

- [4] "8845A/8846A Digital Multimeter Users Manual", Fluke Corporation, USA, July 2006
- [5] "ETALONIRANJE MERNIH PRETVARAČA", Radno uputstvo, Q3.JIM.05, Laboratorija za metrologiju, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

#### ABSTRACT

The Laboratory for metrology (FTN) deals with active and reactive electrical power transducers calibration. The power measured with transducer is compared to the input reference power, and based on results of comparison, the transducer error is determined. The paper presents the possibilities of calibration, the procedure of preparation for calibration, and documented measuring procedures. Specific calibration results are presented, accompanied by appropriate measurement uncertainties.

#### Procedure for Calibration of Active and Reactive Power Transducers

Stefan Mirković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić, Marina Subotin, Marjan Urekar, Platon Sovilj

# Pouzdana detekcija grešaka očitavanja koda u pseudoslučajnom apsolutnom enkoderu

Goran Miljković, Dragan Denić, Milan Simić, Aleksandar Jocić

**Apstrakt**—Pseudoslučajni apsolutni enkodori se najčešće koriste u modernim servo sistemima radi pouzdanog određivanja pozicije i ugaone brzine. Enkoder u ovom radu ima na kodnom disku dve fazno pomerene pseudoslučajne binarne sekvence koje se serijski očitavaju. Različite nesavršenosti i zaprljanja kodne trake dovode do grešaka u procesu očitavanja koda, što onda uzrokuje pogrešne informacije o poziciji. U radu je predstavljena pouzdana metoda detekcije grešaka bazirana na formiranju glavne i kontrolne kodne reči na osnovu očitanih bitova sa dve različite pseudoslučajne kodne trake. Predstavljen je enkoder koji nakon pogrešno očitano bita ne daje pogrešnu informaciju o poziciji.

**Ključne reči**—detekcija grešaka, apsolutni optički enkodori, pseudoslučajne binarne sekvence

## I. UVOD

Obrotni pseudoslučajni apsolutni enkodori igraju važnu ulogu u modernim sistemima automatizacije, računarskim periferijama, teleskopima, itd. Ovi enkodori, za razliku od klasičnih apsolutnih enkodera, na disku imaju jednu pseudoslučajnu kodnu traku i sinhronizacionu traku. Kodne reči su sada raspoređene uzdužno na kodnoj traci, pri čemu se dve uzastopne kodne reči razlikuju samo u jednom bitu. Prozor dužine  $n$ -bita, koji klizi duž  $n$ -bitne pseudoslučajne binarne sekvence (PRBS), u bilo kom trenutku obezbeđuje jedinstvenu kodnu reč koja se koristi za određivanje apsolutne pozicije [1, 2]. U poređenju sa klasičnim apsolutnim enkoderima, pseudoslučajni enkodori mogu za očitavanje koda koristiti jednu ili dve senzorske glave. Pseudoslučajni apsolutni enkoder je sastavljen od sledećih komponenti: sistema za očitavanje koda [2, 3], konvertora pseudoslučajnog u prirodni kod [2, 4, 5], sistema za sinhronizaciju očitavanja koda [2, 4, 6] i sistema za detekciju grešaka u očitavanju koda [7, 8]. Sinhronizacija se može realizovati korišćenjem sinhronizacione trake ili dodatnim kodiranjem bitova koda. Konverzija pseudoslučajnog u prirodni kod može se izvršiti kao paralelna, serijska ili serijsko-paralelna. Metode paralelne konverzije su najbrže, ali zahtevaju veliku memoriju. Serijska konverzija je jednostavnija, ali sa dužim vremenom konverzije. Serijsko-paralelna konverzija je kompromisno

rešenje koje kombinuje jednostavnost serijske konverzije i brzinu paralelne konverzije. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda se može realizovati korišćenjem jedne glave za očitavanje koda plus dve glave za očitavanje sinhronizacione trake [2, 3]. Međutim, da bi se osigurao kontinuitet u formiranju kodnih reči prilikom promene smera rotacije, mnogo je bolje koristiti dve glave za očitavanje koda [2, 3]. Nedostatak serijskog očitavanja koda je potreba za inicijalnim kretanjem prilikom startovanja enkodera kako bi se formirala prva validna kodna reč. Očitavanje pseudoslučajnog koda se može realizovati i paralelno sa nizom fotodetektora.

Tačnost i pouzdanost pozicioniranja pomoću pseudoslučajnog enkodera je pod uticajem različitih tipova grešaka [9, 10]: greške u kvantizaciji, mehaničke greške (ekscentričnost, centriranost glava za očitavanje koda), greške u proizvodnji diska (eliptičnost, netačno odštampan kod na disku), različiti uticaji okoline (temperatura, vibracije, prašina, vlaga, udarci, itd.). Stoga je cilj rada predstaviti enkoder koji je otporniji na ove uticaje i koji bi bio pogodniji za visoko pouzdane aplikacije, na primer, u automobilskoj industriji, svemiru, avionima i vojnoj opremi. Pošto se sinhronizaciona traka koristi za definisanje trenutka očitavanja kodnih traka, brojne metode koje su razvijane od različitih autora za procenu i korekciju grešaka kod inkrementalnih enkodera se mogu primeniti kod pseudoslučajnog enkodera prilikom očitavanja sinhronizacione trake.

Različite varijante serijskog očitavanja pseudoslučajnog koda su opisane u prvom delu rada. Zatim je predstavljeno poboljšano rešenje očitavanja koje koristi dve glave za očitavanje pseudoslučajnog koda i dve fazno pomerene kodne trake. Dodatna glava za očitavanje koda i dodatna kodna traka su maksimalno iskorišćeni za povećanje pouzdanosti i fleksibilnosti enkodera, što je poboljšanje u odnosu na rešenja predstavljena u referencama [1, 2, 3]. Glavni deo rada je primena metode provere tačnosti očitavanja bitova koda, pri čemu, ako se javila greška enkoder neće dati pogrešnu informaciju o poziciji, nego će preći u drugi mod rada sa smanjenom pouzdanošću, ali sa tačnom informacijom o poziciji.

## II. SERIJSKO OČITAVANJE PSEUDOSLUČAJNOG KODA

Za razliku od klasičnih apsolutnih enkodera, pseudoslučajni kod omogućava serijsko očitavanje sa jednom ili dve glave za očitavanje koda. Inicijalno rešenje sa jednom glavom za očitavanje koda, slika 1, formira kodnu reč u pomeračkom registru (baferu), pri čemu je prilikom startovanja enkodera

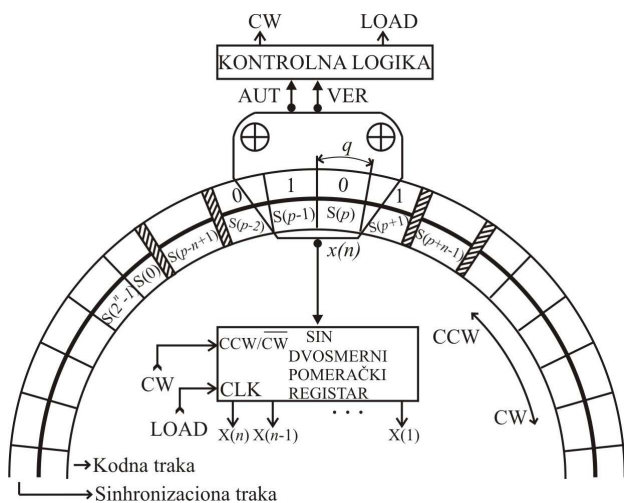
Goran Miljković – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs).

Dragan Denić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs).

Milan Simić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs).

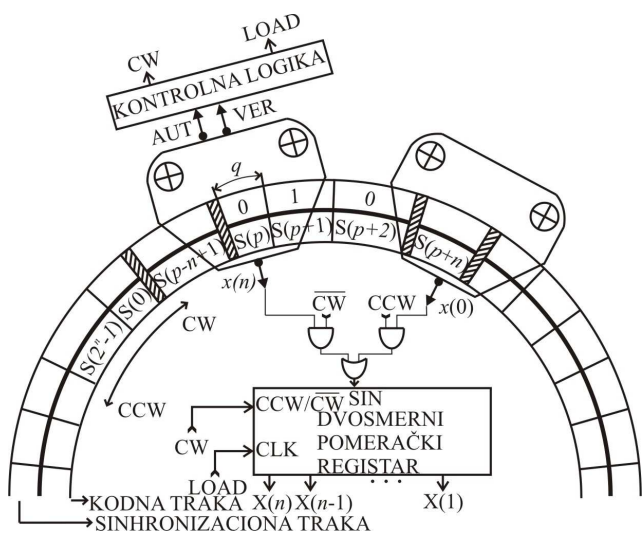
Aleksandar Jocić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aleksandar.jocic@elfak.ni.ac.rs).

potrebno pročitati prvih  $n$  bitova PRBS koda kako bi se formirala prva kodna reč [2, 6]. Svaka sledeća kodna reč formira se od prethodno pročitanih  $n-1$  bitova plus jedan novi pročitani bit pseudoslučajnog koda. Jedan od nedostataka serijskog čitanja sa jednom glavom za očitavanje koda je gubitak informacije o poziciji pri promeni smeru rotacije.



Sl. 1. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda sa jednom glavom za očitavanje.

Očitavanje pseudoslučajnog koda koje otklanja nedostatke prethodnog rešenja i pruža neke dodatne mogućnosti, zasnovano je na uvođenju druge glave za očitavanje koda [3]. U ovom rešenju se koriste dve glave za očitavanje koda na udaljenosti  $nq$ , gde je  $q$  korak kvantizacije koda na pseudoslučajnoj traci, slika 2.

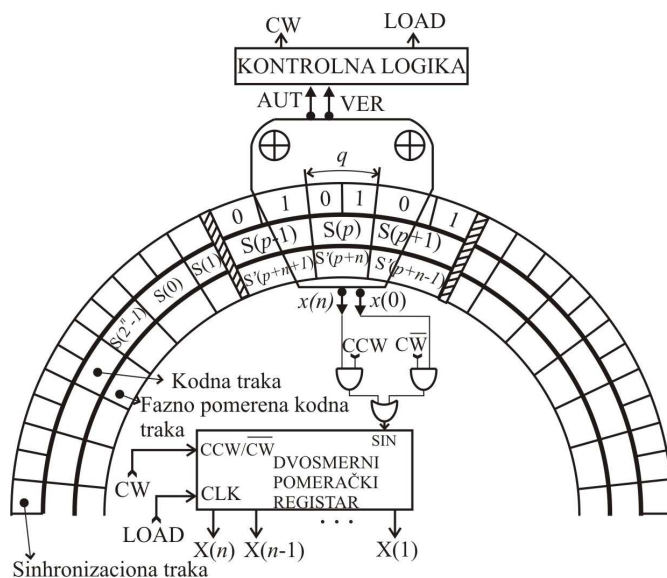


Sl. 2. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda sa dve glave za očitavanje.

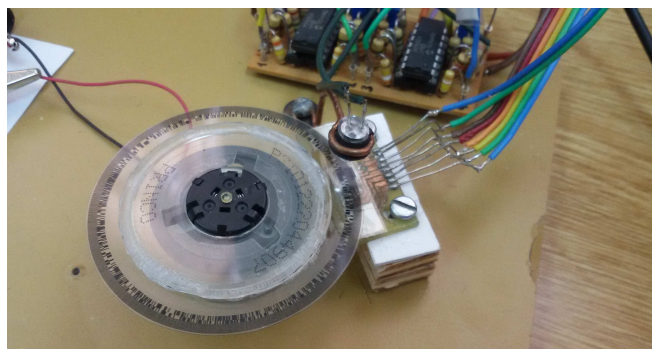
Ovo rešenje takođe ima sinhronizacionu traku sa dve glave za očitavanje AUT i VER koje se koriste za određivanje trenutka očitavanja pseudoslučajnog koda kao i za određivanje smeru rotacije enkodera. Kada je rotacija u smeru kazaljke na satu (CW), očitani bitovi pomoću glave  $x(n)$  se koriste za formiranje kodne reči, a kada je rotacija u smeru suprotnom

od kretanja kazaljke na satu (CCW), koristi se glava  $x(0)$ . Ovo rešenje ima kontinuitet u formiranju kodnih reči, odnosno informacija o poziciji se ne gubi prilikom promene smeru rotacije. U trenutku kada glava za očitavanje koda  $x(n)$  čita bit  $S(p)$ , tada glava za očitavanje koda  $x(0)$  čita bit  $S(p+n)$ . Takođe, ovo rešenje omogućava primenu stalne provere tačnosti očitavanja koda, pri čemu se koriste bitovi sa obe glave za očitavanje koda [7]. Glavni nedostatak ovog rešenja je praktična realizacija enkodera, jer je raspored glava za očitavanje koda na maloj razdaljini  $nq$ , koja je podložna promenama zbog uticaja temperature, vibracija, itd.

Skeniranje pseudoslučajnog koda koje će se primeniti u ovom radu se zasniva na upotrebi dve glave za očitavanje koda kao i dve kodne trake sa fazno pomeranim pseudoslučajnim binarnim sekvencama, slika 3. Dve glave za očitavanje koda su raspoređene na pravoj liniji koja prolazi kroz središte diska. Jedna glava za očitavanje koda očitava bitove  $S(p)$  sa prve kodne trake, a druga glava za očitavanje koda  $S'(p+n)$  sa fazno pomerene kodne trake. Sada je lakše centriranje glava za očitavanje koda, odnosno lakša je praktična realizacija sistema očitavanja koda. Ovaj enkoder ima jednu kodnu traku više od prethodnog rešenja, ali mnogo manje kodnih traka nego kod klasičnih apsolutnih enkodera.



Sl. 3. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda sa dve glave za očitavanje i dve pseudoslučajne kodne trake.



Sl. 4. Izgled diska enkodera i sistema očitavanja koda.



Predstavljeno rešenje rasporeda kodnih traka na disku enkodera, načina očitavanja koda sa kodnih traka i korišćenje detekcije grešaka očitanih bitova poboljšava pouzdanost i fleksibilnost pseudoslučajnog apsolutnog enkodera. Enkoder ima više modova rada, a promena moda rada enkodera se može zasnivati na osnovu zahteva krajnjeg korisnika ili kao odgovor na netačno očitavanje bitova sa kodne trake. Nedostatak ovakvih enkodera je potreba za inicijalnim kretanjem prilikom formiranja prve validne kodne reči nakon svakog startovanja enkodera, vremenski zahtevna konverzija pseudoslučajnog/prirodni kod, kao i manje pouzdana detekcija greške u trenutku promene smer rotacije.

#### IV. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran pseudoslučajni apsolutni enkoder sa očitavanjem pseudoslučajnog koda pomoću dve glave kojim se očitavaju dve fazno pomerene pseudoslučajne kodne trake. Primenjena je metoda za proveru tačnosti očitanih bita, pri čemu se značajno povećava pouzdanost predloženog rešenja enkodera. U slučaju pogrešno očitanih bita sa pseudoslučajne kodne trake, enkoder neće dati pogrešnu informaciju o poziciji, pošto je sposoban da to detektuje i da nastavi da radi u modu smanjene pouzdanosti korišćenjem bitova sa druge pseudoslučajne kodne trake. Predloženo rešenje enkodera je pouzdano i fleksibilno, pa se može koristiti u aplikacijama gde je bitna pouzdanost rada, kao na primer, u vojnoj industriji, avionima, svemiru, medicinskim aparatima, itd.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane, Pseudo-random sequences and arrays, Proceeding of IEEE, Vol. 64, No. 12, pp. 1715-1728, 1976.
- [2] E. M. Petriu, J. S. Basran, On the position measurement of automated guided vehicles using pseudorandom encoding, in IEEE Trans. IM, vol. 38, no. 3, pp. 799-803, 1989.
- [3] M. Arsić, D. Denić, New pseudorandom code reading method applied to position encoders, in Electron. Lett. vol. 29, pp. 893-894, 1993.
- [4] E.M. Petriu, J.S. Basran, F.C.A. Groen, Automated guided vehicle position recovery, in IEEE Trans. Instrum. Meas. vol. 39, pp. 254-258, 1990.
- [5] D. Denić, I. Stojković, Pseudorandom/natural code converter with parallel feedback logic configuration, in Electron. Lett. vol. 46, pp. 921-922, 2010.
- [6] D. Denić, G. Miljković, Code reading synchronization method for pseudorandom position encoders, in Sensor. Actuat. A-Phys. vol. 150, pp. 188-191, 2009.
- [7] D. Denić, M. Arsić, Checking of pseudorandom code reading correctness, in Electron. Lett. vol. 29, pp. 1843-1844, 1993.
- [8] D. Denić, G. Miljković, J. Lukić, M. Simić, Serial code reading correctness detection applied to pseudorandom absolute encoders, 11th International Conference „Research and Development in Mechanical Industry“ (RaDMI 2011), Sokobanja, Serbia, 15-18. September 2011, SaTCIP (Scientific and Technical Center for Intellectual Property), pp. 481-488, 2011, ISBN 978-86-6075-027-5.
- [9] G. Miljković, D. Denić, M. Simić, M. Dinčić, D. Živanović, Pseudorandom absolute position encoder implemented as a virtual instrument, Proceedings of the International Scientific Conference UNITECH 2015, Gabrovo, Bugarska, 20-21 November 2015, Technical University of Gabrovo, vol. 1, pp. 355-358, ISSN 1313-230X, <http://unitech.tugab.bg>.
- [10] M., R.; Molengraft, van de R.; Steinbuch, M, Error modeling and improved position estimation for optical incremental encoders by means of time stamping. In: Proceedings of the 2007 American Control Conference, New York City, USA, July 11-13, 2007, pp. 3570-3575.

#### ABSTRACT

Pseudorandom absolute encoders are most commonly used in modern servo systems to reliably determine position and angular velocity. The encoder in this paper has two phase-shifted pseudorandom binary sequences on the code disk that are read in series. Various imperfections and contamination of the code track lead to errors in the process of reading the code, which then causes incorrect position information. The paper presents a reliable method of error detection based on the formation of main and control code words based on reading bits from two different code tracks. An encoder is presented which, after a wrongly read bit, does not give incorrect position information.

#### **Reliable detection of code reading errors in a pseudorandom absolute encoder**

Goran Miljković, Dragan Denić, Milan Simić,  
Aleksandar Jocić

# Posture monitoring by PIC measurement system based on FSR sensor

Aleksandra Lojaničić, Tijana Đurkić and Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

**Abstract**—The aim of this project is to provide a system that detects benching of the back during sitting, the way of connecting and using hardware components needed for building it. First part of this paper includes description of a development board, a sensor and an actuator. The other part gives detailed explanation of a practical work, code implementation, as well as suggestions for further development of this system.

**Index Terms**—biomedical instrumentation, measurement methods, measurement-acquisition systems in biomedicine

## I. INTRODUCTION

The development of technology and modern lifestyle has led to innovations in computer science and mobile phones that have become vital part of our everyday life. Computers are used in schools, at universities, at work, including sitting too long in offices, while mobile phones represent a way of taking a break from daily activities. Using these devices for several hours repeatedly may lead to severe aches in back, shoulders, neck and spinal damage as a consequence of a bad posture while sitting, uncomfortable chairs, strained neck and rounded shoulders and back. This issue is most common among children as they grow up with high-tech gadgets like playstation, xbox while playing video games on PC and using social networks on their phones represent their way of socialising. All of this implies sitting and therefore bad back posture which may cause problems with their health in future. Spinal damage may lead to chronic headaches, anxiety, tiredness and other serious health problems such as tremor and complications in walking. The idea of this project is to design a device that will follow the position of the upper part of spinal cord and produce sound and vibration to warn a user to correct the posture if shoulders and back are bent too much. This system may represent simple, but very effective solution to an issue mentioned above, especially for the people who spend a lot of time in front of computers.

Aleksandra Lojaničić is with the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: [lojanicic.aleksandra@gmail.com](mailto:lojanicic.aleksandra@gmail.com)).

Tijana Đurkić is with the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: [tijana.djurkic@gmail.com](mailto:tijana.djurkic@gmail.com)).

Đorđe Novaković is with the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: [djordjenovakovic@uns.ac.rs](mailto:djordjenovakovic@uns.ac.rs)).

## II. THE PRINCIPLE OF THE DEVICE'S OPERATION

FSR sensor is posted on the upper back in order to record flexion of that part of spinal cord and servo motor is attached on hip to simulate vibrations of the device when changes in resistance of FSR sensor occur, caused by back slouching. The whole set-up is illustrated in Figure 1. An arrow 1 is pointed at the FSR sensor attached to the body with an elastic band. Servo motor is marked with an arrow 2.

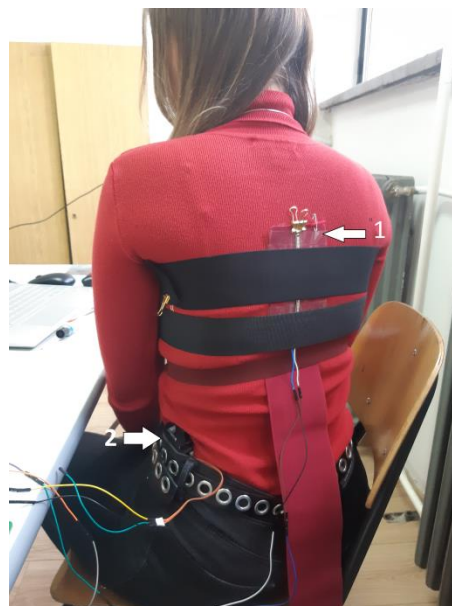


Fig. 1. Illustration of the FSR sensor and servo motor set-up

EasyPIC PRO v7 development board with default PIC18F87K22 microcontroller is used for system formation. Voltage divider made of one fixed and one variable resistor (FSR sensor) is connected to the port A. This way, it is enabled to register changes in resistance of FSR sensor that occur when bending as a change in voltage transmitted to the microcontroller.

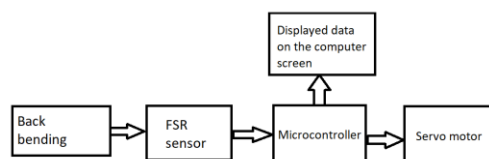


Fig. 2. Block scheme of the device



The threshold of the voltage that indicates slouched back is found experimentally. The person involved in an experiment was bending slowly and voltage values were sent to the computer and observed on the screen. After repeating the experiment for a few times, we agreed which values indicated bad back position. Servo motor is directly attached to the port D, receiving signal for activation from microcontroller. Piezo buzzer that is a part of development board generates audio signal activated when poor posture is detected. The sound was set on the frequency of 1000 Hz because it is unpleasant to human ear and makes a user to correct his/her posture immediately. To achieve proper functionality of the system, corresponding code is implemented in mikroC program.

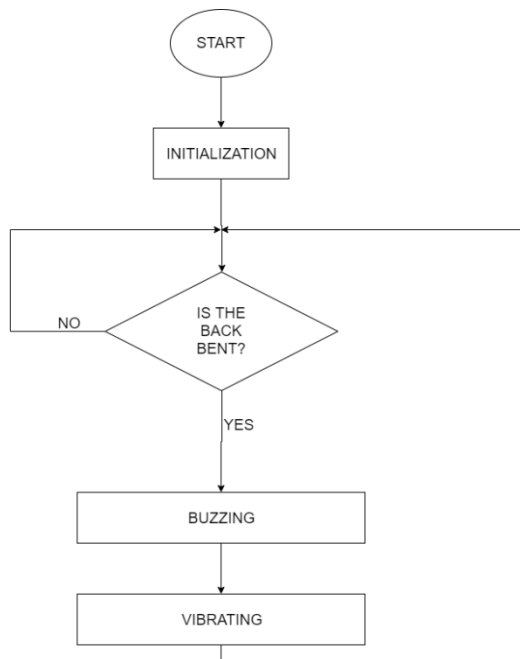


Fig. 3. Algorithm of the system

### III. DEVELOPMENT BOARD – EASYPIC PRO v7

EasyPIC PRO v7 development board used in this project is a product of MikroElektronika company and key features and functionalities will be described in the following paragraph. Power supply from 3.3 V to 5 V can be realised by USB cable, DC power adapter or additional screw terminals. Default microcontroller of this board is 8-bit PIC18F87K22. Other microcontrollers supported using MCU card placed into the MCU socket are available as well. In addition, 16 MHz crystal oscillator that provides clock frequency, USB communication lines and jumpers for adjusting USB communication and voltage range can be found on the MCU socket. Transfer of data and instructions between a computer and a microcontroller is possible with mikroProg programmer. Input/Output ports are organised in seven groups from A to J and they include tasters, LEDs, pins and switches with three states (enabling pull-up, pull-down or neither of the two mentioned states to be activated). Each mikroBUS socket contains power lines, GND, communication pins: Rx (UART Receive line), Tx (UART Transmit line) and others, as well as

few single pins from which PWM (pulse width modulation) was used in this project. Compatible Click Boards can be added to mikroBUS sockets. It is possible to use UART communication via USB or RS-232 connector and achieve connection between devices that support USB and Ethernet communication. Easy PIC PRO provides LCD, analog and digital temperature sensor, reset button, additional GND pins, button press level and piezo buzzer (that was used in this project). Piezo buzzer connects to RB6 pin which can produce PWM signal and buzzing. The frequency of the sound is between 2 kHz and 4 kHz.



Fig. 4. EasyPIC PRO v7 development board

#### A. PIC18F87K22 microcontroller

PIC18F87K22 is a microcontroller produced by Microchip Company implemented as a part of EasyPIC PRO v7 development board. It is high-performance 80-pin package. Operating voltage range is between 1.8 V and 5.5 V and maximal operating speed is 64 MHz. Flash Program Memory is up to 128 Kbytes, EEPROM 1,024 Bytes while Data Memory is 4 Kbytes and minimum of Erase/Write Cycle Flash Program Memory is 10 000. If the capacity of 128 KB is insufficient, there is an external memory bus of up to 2 MB. Also, this microcontroller incorporates three internal oscillators which can be used, among other things, for adjusting clock specifications such as speed, continued low-speed operation if a failure occurs, a stable reference source... One of significant highlights is 12-bit A/D convertor with 24 channels. LP Watchdog Timer includes a 22-bit prescaler enabling stable extended time-out range in case of prolonged operating. The CTMU is an analog module that measures time difference between impulses generated from different sources and asynchronous pulse generation. Another special feature is an external CCP module that incorporates up to seven Capture/Compare/ PWM modules. It is used for performing several different operations in the same time. In this project, PWM module was of great significance as it generates signal and sets its duration, i.e. duty cycle, based on the frequency requested by a user. Capture module detect rising or falling edges of impulse, therefore duration and Compare module

compares values. This microcontroller includes three ECCP (Enhanced CCP) as well as a calendar and real-time clock.

#### IV. ACTUATOR AND SENSOR

##### A. Servo motor

As an actuator we used a small, lightweight plastic servo motor. It usually works in the voltage range from 4.8 V to 6 V. It has a small torque of 2.5 kg/cm, but for the implementation of this project it is quite enough because it needs to touch the user weakly when the back is too bent. The angle of rotation ranges from 0° to 180° (90° in each direction). Figure 5 shows the servo motor used in this project. The brown wire connects this actuator to the ground (GND), and the red wire provides power to the servo motor (via the development board). The orange wire sends PWM signals from the microcontroller that drives the propeller. The computer code ensures that impulses are sent at appropriate times, when the back flexion threshold is exceeded.



Fig. 5. Servo motor

##### B. FSR sensor

To register the bad posture, a FSR sensor was used, which was attached between the user's shoulder blades, along the spine. We chose this sensor because it is cheap and easy to use. The full name-Force Sensitive Resistor, says that when we apply force on this sensor, its resistance changes. Most commonly, carbon-based piezoresistive ink is used for making this sensor. The action of force reduces the distance between the ink particles, and the conduction path and thus the overall resistance. In the case of our project, bending the back bends the FSR sensor, reduces the distance between the particles, and thus the resistance.



Fig. 6. FSR sensor

The voltage divider, implemented on the protoboard, whose electrical diagram is shown in Figure 7, detects the change in resistance of resistor R1, which is an FSR sensor, as a change

in voltage signal ( $V_{out}$ ) whose value is sent to the computer for further processing. In this way, it is possible for the resistance values of the FSR sensor to be used indirectly in computer code.

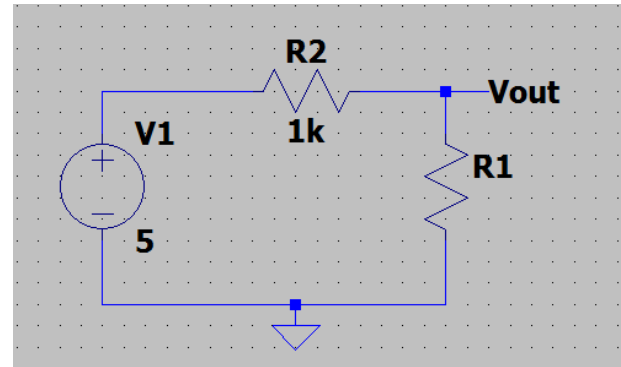


Fig. 7. Voltage divider

#### V. FIRMWARE

The code for implementing a routine interrupt is shown in Figure 8. The volatile variable is used when a variable can change values due to some external action (e.g. interrupt), regardless of program execution, which happens in this case. If an interrupt has occurred, i.e. if  $TMR0IF\_bit = 1$ , counter (cnt) is incremented by one.  $TMR0L$  is set to 5 because it represents the difference between the maximum value (255) and 250 (2000/23). Using PWM, we set that the period between the occurrence of two signal pulses is 20 ms, and that the interruption occurs every 500  $\mu s$ , so the counter is reset when it reaches 40 because it means that during one signal period the interrupt happened 40 times. Then the output pin connected to the actuator takes the opposite value. If  $cnt = duty\_cycle$ , the inversion of the pin value occurs again. The duty cycle represents the part of the interval in which the pulse is located, i.e. the ON part of the period generated by the PWM and determines the movement of the servo motor. Finally, we reset the  $TMR0$  flag.

```
volatile uint8_t cnt = 0;
volatile uint8_t duty_cycle = 2;

void interrupt(){
    if(TMR0IF_bit){
        TMR0L = 0x05;
        cnt++;

        if(cnt == 40){
            cnt = 0;
            LATD0_bit = ~LATD0_bit;
        }

        if(cnt == duty_cycle){
            LATD0_bit = ~LATD0_bit;
        }

        TMR0IF_bit = 0;
    }
}
```

Fig. 8. Implementation of a routine interrupt

The `initMain ()` function primarily specifies the port for the audio output (piezo buzzer) signal and initializes the UART for asynchronous serial communication, as can be seen in Figure 9. A delay of 100 ms is required to synchronize the UART. The interrupt settings were made below in the code. `GIE_bit` (Global Interrupt Enable) is set to 1 to enable interruption globally. `TMR0IE_bit` is used to approve a specific interrupt, while `TMR0IP_bit` is used to select priorities. `TRISD0_bit` is initialized as an output here. If `T08BIT_bit = 1`, it is an eight-bit timer, and `T0CS_bit = 0` indicates that the internal clock is used which is obtained by prescaling the oscillator. `PSA_bit = 0` means that the prescaler is on. `T0PS2_bit`, `T0PS1_bit`, `T0PS0_bit` determine the bits of the TPS prescaler. `TMR0ON_bit = 1`, turns on the timer.

```
static void initMain(){

    Sound_Init(&PORTB, 6);

    UART1_Init(9600);
    Delay_ms(100);

    UART1_Write_Text("Start1");

    GIE_bit = 1;
    TMR0IE_bit = 1;
    TMR0IP_bit = 1;
    TRISD0_bit = 0;

    T08BIT_bit = 1;
    T0CS_bit = 0;
    PSA_bit = 0;
    T0PS2_bit = 0;
    T0PS1_bit = 1;
    T0PS0_bit = 0;

    TMR0L = 0x05;
    TMR0ON_bit = 1;

}
```

Fig. 9. Initialization of the routine interrupt

In Figure 10, it can be seen that the reading of the voltage value due to the change in the resistance of the FSR sensor is done with the command `ADC_Read ()` which also performs A / D conversion of continuous voltage into the appropriate digital form suitable for processing on a computer. Also, the read value is converted (`IntToStr`) and the data are displayed or returned to the user.

If the read converted voltage value is less than the threshold that we determined experimentally, i.e. if the back is too bent there will be an audible signal via the piezo buzzer. The first parameter of `Sound_Play` function determines frequency and the second one represents duration of the sound. In addition, the interrupt allows us that when `duty_cycle = 2` the servo motor turns to one side and then when `duty_cycle` becomes 4 it turns to the other. Numbers 2 and 4 represent final positions of the servo motor (0° and 180°).

```
void main(){
    uint16_t adc_rd;
    char txt[7];
    uint8_t nulta_poz = 0;

    initMain();

    while(1) {
        adc_rd = ADC_Read(0);
        IntToStr(adc_rd,txt);
        ltrim(txt);

        UART1_Write_Text(txt);
        UART1_Write_Text("\r\n");
        Delay_ms(1000);

        if (adc_rd < 1735) {
            Sound_Play(1000, 1000);
            duty_cycle=2;
            Delay_ms(2000);
            duty_cycle = 4;
            Delay_ms(2000);
        }
    }
}
```

Fig. 10. Reading values and activation of the actuator

## VI. CONCLUSION

During the implementation of this device, there were problems with placing the sensor on the back, and how to place the sensor to be comfortable for the user. Since the FSR sensor does not have a high sensitivity, it is important that it is held stably and does not move. In future work, these difficulties could be overcome by sewing the sensor on clothing or connecting it to a vest that the user would wear. The device would be more precise if it was attached to different sizes of the vests so that it can be appropriate for both children and adults. Due to the difference in the size and width of the back of the person, a manual adjustment of the threshold could be set, i.e. each user can determine for himself the threshold that needs to be detected. This adjustment could be achieved with connecting it to a simple application on mobile phones via Wireless or Bluetooth. In addition, this app may have an option to track progress over time. Enabling this device to be used by young children is one of the most significant advantages as it could develop habit of sitting correctly from the early age which will prevent scoliosis, neck and head pain etc. in their future. Since these common issues affect a lot of people, it is important to be affordable. With Microchip's nanoWatt technology providing low-power consumption it is possible not to waste too much energy and use batteries as a source of power, reducing the size and the price of the device while prolonging its lifetime. After searching reviews on similar gadgets on the Internet, we came to conclusion that these devices only vibrate and people get used to it so they don't feel it anymore. Innovation in this project is irritating sound which will be considered unpleasant regardless to the time of usage.

## VII. REFERENCES

- [1] <https://www.mikroe.com/easypic-pro-v7>
- [2] <https://download.mikroe.com/documents/full-featured-boards/easy/easypic-pro-v7/easypic-pro-v7-manual-v101.pdf>
- [3] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39960d.pdf>
- [4] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ccpwm.pdf>
- [5] <https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview>
- [6] <https://components101.com/servo-motor-basics-pinout-datasheet>
- [7] [http://ww1.microchip.com/downloads/en/Market\\_Communication/nanowatt1jan03.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/Market_Communication/nanowatt1jan03.pdf)

# Uloga metrologije u tranziciji industrijske proizvodnje na koncept Industrije 4.0 u Srbiji

Marjan Urekar, *Member, IEEE*, Jelena Đorđević Kozarov, *Member, IEEE*, Ivan Gutai, *Member, IEEE*, Stefan Mirković, *Member, IEEE*, Marina Subotin, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

**Apstrakt**—Globalni koncept Industrije 4.0 predstavlja jedan od ključnih aspekata digitalizacije i unapređenja industrijske proizvodnje, pri čemu je pojam industrije shvaćen u najširem smislu. Rad predstavlja razmatranje uloge i zadataka metrologije (nauke o merenju) u ovom novom okruženju. Predložen je jasan i koncizan, ali i detaljan plan u deset tačaka koji definiše najvažnije aktivnosti metrologije koje će dovesti do uspešne tranzicije industrijske proizvodnje u koncept Industrije 4.0, na nivou Srbije. Predloženi plan takođe može biti upotrebljen kao skica za strategiju razvoja metrologije u konceptu Industrije 4.0 na globalnom nivou.

**Ključne reči**— Industrija 4.0; Metrologija; Laboratorija; IoT; 5G; Veštačka inteligencija; Smart tehnologija; Merenje.

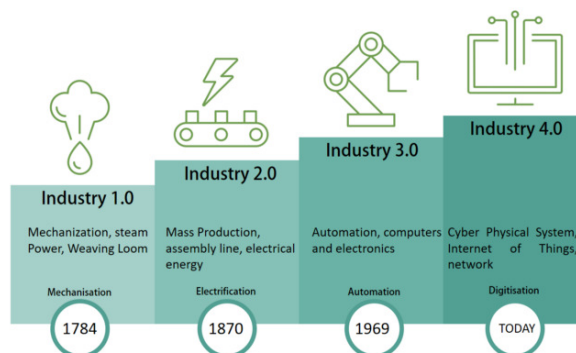
## I. UVOD

Industrija 4.0 (I4.0) je novi koncept unapređenja industrijskog razvoja, tzv. Četvrte industrijske revolucije, sa naglaskom na period od 2020. do 2030. godine. Pokrenut u Nemačkoj 2011. godine, kao industrijskom lideru, za svega nekoliko godina je prepoznat i usvojen širom razvijenog sveta i na svim kontinentima, kao esencijalan zahtev za tehnološkim i industrijskim digitalnim razvojem modernog *smart* društva [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Istorijski pregled industrijskih revolucija je predstavljen na sl. 1.

U periodu pre industrijskih revolucija, nije bilo širokog i sistematskog organizovanja proizvodnje, koja je bila uglavnom lokalnog karaktera, bez potrebe međusobnog usklađivanja jer nije bilo takvih zahteva na tržištu. Što se metrologije tiče, svodila se na merenje količina i veličina, ali u najboljem slučaju na nivou jedne države ili regije. Različito tumačenje jedinica mere dovelo je do problema u trgovini i razmeni. U samoj proizvodnji, merenja su se svodila na najjednostavniji oblik indikacije podložan individualnom osećaju i doživljaju: premalo, previše i dovoljno.

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs)). Jelena Đorđević Kozarov – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, 18000 Niš, Srbija (e-mail: [kozarov@elfak.ni.ac.rs](mailto:kozarov@elfak.ni.ac.rs)). Ivan Gutai – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [gutai@uns.ac.rs](mailto:gutai@uns.ac.rs)). Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [mirkovicst@uns.ac.rs](mailto:mirkovicst@uns.ac.rs)). Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [marina.bulat@uns.ac.rs](mailto:marina.bulat@uns.ac.rs)). Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [djordjenovakovic@uns.ac.rs](mailto:djordjenovakovic@uns.ac.rs)).



Sl. 1. Pregled industrijskih revolucija do sada, [7].

Prva industrijska revolucija je u kasnom 18. veku dovela do organizovane i široke upotrebe mehaničkih i parnih mašina, transporta i centralizovane organizacije proizvodnje usmerene ka što većoj produkciji sa manjim troškovima. Metrološki, dolazi do široke upotrebe mernih uređaja koji su merili u nestandardizovanim jedinicama, gde se uglavnom lokalno poredilo sa prethodno poznatim vrednostima (npr. temperatura kada voda ključa ili se zamrzava). Proizvodno, merenja su sada vršili jednostavni uređaji koji su umesto čoveka određivali da li je „premalo, previše ili dovoljno“. Ovo je donekle eliminisalo individualne varijacije, tj. ljudski faktor, ali i dalje nije postojao jasan i opšteprihvaćen standard po kojem se to određivalo.

Druga industrijska revolucija tokom kraja 19. veka uspostavlja koncept masovne proizvodnje konstantnog nivoa kvaliteta, uvodi električnu energiju kao pokretača mašina umesto vodene pare i manuelne snage. Električna energija dovodi do modernizacije merenja, masovno se koriste uglavnom elektro-mehanički uređaji koji su merili u jedinicama koje su sada standardizovane, te je uveden međunarodni sistem jedinica i etalona, uspostavljajući jasne definicije koje su omogućavale proizvodnju i trgovinu u mnogo širem obimu nego pre. Proizvodna merenja uvode pojam greške merenja, kao jasno kvantifikovanje problema koji je bio poznat od početka industrijske organizacije proizvodnje. Postalo je jasno da za kvalitetnije proizvode, mora da se obezbedi oprema koja ima manju grešku, kako bi tolerancije ostale u dozvoljenom nivou.

Najveći napredak u ovom polju se javio, očekivano, u vojnoj industriji, koja je uvela ratovanje u industrijsko doba,

što je rezultovalo mnogo efikasnijim oružjem, koje je uništavalo više i preciznije, po cenu više ljudskih života.

Treća industrijska revolucija dolazi u jeku Hladnog rata, gde sredinom 60-ih godina 20. veka, počinje da se uvodi automatizacija, elektronika, kompjuteri, roboti, ubrzo i digitalna tehnologija, smanjuje se potreba za neposrednim ljudskim radom.

Četrdesetak godina kasnije, svet industrije se našao u potpuno drugačijem okruženju. Dok se ranije razvoj industrije uvek mogao osloniti na među-blokovski sukob, nova realnost je naterala industriju da se okrene proizvodnji za komercijalnu široku potrošnju. Nove tehnologije, pogotovo sa pojavom Interneta, dovele su do nagle modernizacije svakodnevnog života, dok je sama proizvodnja te visoke tehnologije, tradicionalno, nekoliko koraka iza toga. Danas najznačajnije nove digitalne tehnologije koje se razvijaju velikom brzinom su: Internet of Things (IoT), Industrial Internet of Things (IIoT), Big Data, Virtuelna realnost (VR), Augmentovana realnost (AR), Veštačka inteligencija (AI), 3D štampa, Cloud, Smart, Sajber-fizički sistemi, 5G mreža, Mašinsko učenje...

Četvrta industrijska revolucija se bavi uvođenjem svih ovih naprednih *smart* tehnologija iz komercijalnog u industrijsko-proizvodni domen. Ovo nije trivijalan problem, jer je potrebno integrisati postojeće resurse sa novim, unaprediti stare i prilagoditi nove, odrediti benefite koje će primena nove tehnologije doneti proizvodnji, ali i rizike i mane koje će se neminovno javiti.

Prednosti novih tehnologija su mnogobrojne: visoki nivo kontrole, autonomije upravljanja, organizacije, udaljenog monitoringa i procesa proizvodnje, decentralizovano i samostalno donošenje odluka bez uticaja ljudskog faktora i dodatne asistencije, bolje korišćenje resursa, brzu adaptibilnost, velike mreže malih senzora, vezu i komunikaciju sa drugim sistemima i bazama znanja i podataka, veću efikasnost, bezbednost, pouzdanost, sigurnost, dugotrajnost.

Zemlje koje su posle Nemačke prepoznale ove prednosti su Kanada, Japan, Australija, Austrija, Švajcarska, SAD... 2019. godine Srbija se zvanično uključuje u ove tokove sa nacionalnom strategijom tehnološkog razvoja i usvaja Digitalnu platformu za Industriju 4.0, [8]. Za domaću industriju je ovo jedinstvena prilika da se uključi i posluje u okruženju tehnoloških lidera.

Koje su mane i rizici? Ovo je još neispitana teritorija, i svako prilazi ovom problemu sa oprezom. Zbog toga neke zemlje nisu još prihvatile I4.0 u većoj meri. Rizik je svakako cena i troškovi uvođenja novih tehnologija, isplativost na kraći i duži period, nestabilna svetska ekonomija, političke posledice. Mane su veliko oslanjanje na najmodernije tehnologije, što ograničava manje razvijene zemlje na velika ulaganja u uvoz. Pojedine zemlje se danas oslanjaju na masovnu manuelnu proizvodnju više nego pre 40 godina, kao na najjeftiniju sangu, i veliko je pitanje da li je moguće

ekonomski im opravdati ovakvu tranziciju. Nepouzdanost i nedostatak detaljnog i dužeg testiranja postavlja pitanje pouzdanosti ovih tehnologija. Potrošnja električne energije raste sa sve širom upotrebom elektronskih uređaja.

Činjenica je da razvijene zemlje usvajaju I4.0 i sve više je integrišu u svoje industrijske procese. Jasno je da će svi koji propuste priliku da se uključe, morati kasnije da izdvajaju velika sredstva kako bi imali na raspolaganju moderne tehnologije, dok će proizvodnja biti nekonkurentna na globalnom tržištu.

Važno je naglasiti i šta se danas podrazumeva pod "industrijom". I dalje vlada mišljenje da su u pitanju samo klasični pogoni teške industrije: čeličane i visoke peći, motori i betonski kompleksi sa ogromnim mašinama. Istina je zapravo drugačija, jer danas je skoro sve "industrija". Proizvodnja miliona ili samo pojedinačnih komada nečega. Komercijalno, nekomercijalno, eksperimentalno. Industrija mobilnih telefona, vazduhoplovna i auto industrija, medicinski monitori i ostali uređaji, hemija, hrana, oružje i vojna tehnologija, kućna elektronika, bela tehnika, rakete i sateliti, elektronski geđžeti, naftna industrija, lekovi, igračke i kompjuterske igre, nameštaj, građevinski materijal, bežične veze, kablovi, baterije, pametni gradovi, samovozeći automobili, elektrodistributivne mreže, roboti i roboti koji prave druge robote, audio-video uređaji, brodogradnja, podvodna i podzemna istraživanja i eksploatacija prirodnih resursa, veštački i bionički zamenski delovi ljudskog organizma, fizika, nuklearna energija...

Kada se ovako shvati pojam "industrije", postaje jasno zašto je njena važnost ogromna.

## II. METROLOGIJA

Metrologija kao nauka o merenju, važan je faktor u domenima nauke, tehnološkog razvoja i industrijske proizvodnje. Kratak pregled i sažetak osnovnih karakteristika dat je u zvaničnoj EURAMET brošuri [9].

Kao i sama industrija koja se našla u novim okolnostima, postavlja se pitanje kako metrologija treba da se postavi i pozicionira u novonastalom okruženju I4.0? Kako redefinisati ulogu i zadatke koje metrologija treba da ispunjava u ovom konceptu, kako bi ostala relevantan faktor? Brzina i dubina promena, naterali su svaku granu nauke da se sama snađe u novom okruženju, shvatajući da nema vremena da se čeka usaglašavanje i uređenje od strane nadležnih međunarodnih i lokalnih faktora, kojima vreme donošenja odluka i dalje parira vremenu mnogo manjih i sporijih promena.

Promene, ali i problemi koji su se javili na globalnom nivou, još jasnije su dali na značaju potrebi da se metrologija, barem na nacionalnom nivou, jasno postavi i odredi svoje prioritete i pravce razvoja. Globalna pandemija virusa COVID-19 i potresi na svetskom ekonomskom i industrijskom planu koji neminovno predstoje kao posledica ovih dešavanja, nametnuli su druge teme kao primarne, još više dajući na značaju opredeljenju da metrologija sama definiše trasu za svoju budućnost u okviru I4.0.

Ovaj rad daje pregled i predlog u deset jasnih tačaka šta su neophodni zadaci i koja je uloga metrologije u Srbiji u konceptu I4.0, u kontekstu brzih promena na ovom polju.

### III. ULOGA I ZADACI METROLOGIJE

Prva značajna obaveza metrologije je proširivanje svesti aktera u industrijskom razvoju o postojanju i značaju I4.0, što bi mogli navesti kao tačku “1 – *Podizanje svesti*”. Pružanje osnovnih informacija, približavanje problematike, ali i njeno demistifikovanje, su osnova koja omogućava da se proširi krug klijenata koji implementiraju nove tehnologije. Ovo je početni problem, na kojem može da se “zaglavi” celokupna priča. Industrija je poznata po tome da kasni za tehnologijom iz široke potrošnje (mobilni telefoni, kompjuteri, audio-video sistemi, konzole za igru, pametni geđzeti). Grane industrije koje nisu direktno uključene u lanac produkcije sredstava nove tehnologije, imaju vrlo pragmatičan stav kada je reč o uvođenju noviteta u proizvodnju. Dok je prosečnom korisniku bitno da ima najnoviji telefon koji se trenutno reklamira, on neće koristiti ni 10 % njegovih mogućnosti, i kada istekne radna garancija od dve godine, neće očekivati da uređaj i dalje ispravno radi, jer će svakako nabaviti novi, moderniji. U industrijskoj proizvodnji je drugačija investiciona filozofija: gleda se optimalna funkcija odnosa korist/cena. Ukoliko uređaj star 30 godina zadovoljava sve potrebe proizvodnje, radi ekonomično, ima rezervne delove i očekivani radni vek još 20 godina, proizvodi škart u procentu ispod dozvoljene granice, ima zadovoljavajući kvalitet i potrošnju energije – tada će taj deo opreme da se koristi do sledeće procene optimalnosti funkcije korist/cena. Ovo je razlog za pojavu koja je poznata mnogim inženjerima koji se nalaze u proizvodnji, da se naizgled zastareli uređaji i dalje masovno koriste, ne zbog nedostatka finansija, već zbog toga što rade “dovoljno dobro”. Drugi nivo ovog problema je uverenje ljudi koji vode proces proizvodnje da su sve nove stvari neproverene, bacanje para, da su lošije nego stare i da treba sačekati 5-10 godina da se bilo koja novotarija ispita u praktičnim uslovima eksploatacije, da bi se pokazale sve eventualne mane. Nažalost, oni su često i u pravu!

Jasno je da je prvo potrebno korisnicima približiti ceo problem, jasnim i njima razumljivim rečnikom objasniti značaj i benefite koje donosi I4.0. Ovo nije izjava koja omalovažava korisnike u industriji, već uočena pojava da metrolozi imaju naučni pristup (često nefleksibilan), da se koristi strogo stručna terminologija, nepoznata širem auditorijumu. Ovo proizvodi probleme u komunikaciji, što nekada dovodi i do antagonizama, pa se svaka ideja o unapređenju unapred odbacuje, jer korisnici ne razumeju, a nerazumevanje stvara strah vlasnika i investitora da proces proizvodnje može biti ugrožen neispitanom tehnologijom. Odavde možemo definisati drugu značajnu tačku kao “2 – *Komuniciranje*”, gde bi bilo potrebno proučiti gde nastaju problemi u komunikaciji, i po potrebi “prevesti na srpski” sve što je uočeno da je percipirano kao nerazumljivo. Takođe, bitan je i način kako se te informacije prenose. Generacijske i

kulturološke razlike mogu dovesti do toga da je nekima bolje dati informaciju u obliku PowerPoint prezentacije, dok nekima kao štampanu informaciju na tabli.

Kada se uklone prethodno navedene početne prepreke, postavlja se pitanje “Šta vam je potrebno?”. Na samoj organizaciji je da definiše svoje potrebe i želje za postizanjem boljih i optimalnijih rezultata, ali da li je istovremeno i u mogućnosti da oceni šta joj je potrebno da to postigne? Da li je potrebno unaprediti ceo sistem, ili samo delove? Da li je moguće neke uređaje i dalje koristiti, a neke unaprediti (npr. novim komponentama, modulima, IoT komunikacijom)? Za koje delove procesa se moraju nabaviti novi uređaji? Koje nivoa tačnosti? Da li je potrebno nabaviti “najbolji” komad opreme dostupan na tržištu, što je sigurno poboljšanje, ali da li je i najoptimalnije? Da li je proces potrebno monitorisati sa digitalnim mernim uređajem koji ima 3 ½, 4 ½, 5 ½ ili 6 ½ cifara? Ako je za potrebe rada dovoljno da je merna nesigurnost voltmetra 1 mV, ne postoje ekonomski isplativi razlozi nabavke uređaja sa greškom 10 µV. Jasno je da možemo definisati sledeću tačku kao “3 – *Snimanje stanja i potreba*”. Moramo prvo snimiti trenutno stanje i nivo metroloških karakteristika sistema, da bi znali sa čime organizacija raspolaže. Ovo bi moglo da se nazove postavljanje *bejzljajna* (eng. *baseline*), početne poredbene vrednosti (u analogiji sa standardnom energetske efikasnosti ISO 50001), na osnovu koje će se praviti svi dalji planovi i procene. Sledeći među-korak je faktorisanje potreba organizacije za unapređenjem, čime bi se dobila kompletna slika početnog i krajnjeg stanja posmatranog proizvodnog procesa u organizaciji. Kada se sakupe sve potrebne i relevantne informacije, moguće je pristupiti realizaciji sledeće tačke, “4 – *Planiranje realnih opcija poboljšanja*”. Realizacija prelaska sa početnog na željeno krajnje stanje sistema često nije jednoznačan proces. Uvek postoji više opcija, sa različitim prednostima i manama, cenom, kvalitetom, performansama, radnim vekom, mogućnošću daljeg poboljšavanja ili ekspanzije. Zadatak metrologije je da utvrdi minimalne uslove za željeni cilj, međutim, potrebno je naći i ostale mogućnosti, koje nude neke dodatne mogućnosti, čijih prednosti organizacija nije možda bila svesna u početku. Postavljanje više rešenja na sto, daje mogućnost jasne slike i prave odluke. Kada jasno postavite solucije, npr. minimum, optimum, napredna verzija 1, 2 i 3, najbezbednija i najpouzdanija verzija, skuplja ali sa mogućnošću nadogradnje, jeftinija ali sa ograničenjima u garanciji, tada rešenja koja su se činila jasna sa metrološkog stanovišta, prestaju da budu apstraktna ostalim učesnicima, pa je još jedna prepreka uklonjena.

Kada se nova oprema instalira i proces unapredi, potrebno je stalno vršiti nadzor nad izlazima iz svakog dela procesa i na vreme ukazati na probleme, ukoliko se dogode. Ova tačka je poznata u svakom industrijskom procesu kao “5 – *Monitoring*”. Ono što je prednost I4.0 je da se taj monitoring vrši u mnogo više tačaka u toku celokupnog procesa, minijaturizacija i autonomija senzora, bežično umrežavanje i prenos podatka, olakšavaju nadzor svakog aspekta procesa i ukoliko dođe do nepredviđenih ishoda, oni će biti otkriveni

mного ranije i tek u početnim stadijumima, što smanjuje štetu i olakšava mitigaciju problema. Još jedan bitan faktor I4.0 u ovom delu je isključivanje čoveka kao neophodnog faktora u nadzoru i donošenju odluka. AI se može obučiti da donosi mnogo pouzdanije i brže odluka na osnovu mnogo više parametara nego što je sposoban bilo koji čovek. Ovime se dobija samostalan sistem koji nadzire i svoje funkcionisanje i uklanja probleme, često bez ikakve potrebe za prekidanjem procesa rada, bez uključivanja ljudi u otklanjanje manjih kvarova, i naizgled samostalno funkcionise bez potrebe za spoljašnjim intervencijama, osim u slučajevima velikih ili katastrofalnih kvarova ili grešaka. Ujedno, ovim se podiže i bezbednost rada ljudskih operatera, jer se smanjuje vreme koje je potrebno da provode u proizvodnom delu, čime se smanjuje verovatnoća povrede na radu. U slučajevima velikih kvarova, sistem samostalno preduzima sve radnje da se omogući bezbedan pristup operaterima, i ukoliko to nije moguće, obaveštava ih da se proces rada prekida, dok se ne steknu uslovi za bezbedan pristup ljudima i/ili bezbedan rad po okolinu (ukoliko kvar dovede do povećanja zagađenja). Ovo je jako bitna osobina, npr. kod hemijske i naftne industrije, gde bi veliki broj malih senzora višestruko nadzirao sve osetljive delove sistema, i ukazao na pojavu problema, mnogo pre nego što dođe do pogubnih posledica. Setimo se samo tragičnih industrijskih incidenata poput *Exxon Valdez-a* na Aljasci, *Deepwater Horizon-a* u Meksičkom zalivu, tragedije u Bopalu u Indiji, koji bi današnjom tehnologijom mogli biti sprečeni, ili barem ublaženi.

I sledeći bitan korak je poznat u svakoj industriji, “6 – Kontrola kvaliteta”. Činjenica da se svaki korak proizvodnje nadzire i prati, još uvek ne znači da je krajnji proizvod zadovoljavajućeg kvaliteta. Suma delova nije uvek jedna celina, i to postaje jasno svakom ko se nađe u industrijskom okruženju. Međutim, uloga metrologije u industriji nije samo u otkrivanju škarta, već i razloga zašto do toga dolazi i šta učiniti da se to popravi. Analizom grešaka u krajnjem izlazu iz procesa, moguće je analitičkim i ostalim metodama utvrditi gde je nastala greška, kako se ona prostire dalje po sistemu i na šta još utiče što nije trenutno vidljivo, a može vremenom da dovede do daljih problema. Jednostavna analogija je česta pojava u proizvodnji da se mala pukotina na crevu za vodu zanemari jer “kaplje samo malo”. Osim što dovodi do gubitaka vode, efikasnosti rada sistema, kao i mogućnosti da se rupa poveća ili dovede do potpunog pucanja creva, primer širenja greške po sistemu bi bilo višegodišnje skupljanje vode u podlozi mašine, gde bi svojim korozivnim svojstvima uticala na materijal podloge, armaturu, ugrađene instalacije poput metalnih cevi ili bakarnih provodnika, što bi daljim zanemarivanjem dovelo do mnogo većih i skupljih posledica. Ovde veliku ulogu igra iskustvo metroloških eksperata u praktičnom radu u industrijskom okruženju, jer isključivo laboratorijska primena merenja ne može da ukaže na probleme koji se javljaju na terenu. Timovi koji rade na implementaciji I4.0 moraju imati teorijsko, laboratorijsko i praktično iskustvo kako bi mogli da sagledaju kompletnu sliku sistema i sve probleme koji se mogu javiti.

Saradnja sa industrijom i ljudima iz svih nivoa organizacije,

od rukovodstva do neposrednih operatera mašina, je nezamenljivi deo prikupljanja podataka i snimanja stanja sistema u toku procesa rada. Kada se utvrdi postojanje problema, nije dovoljno da postoji samo povratna informacija o tome, jer često nije poznato šta uraditi sa tom informacijom. Inženjeri metrolozi tada moraju izaći na teren i neposredno pratiti šta se dešava tokom procesa. To je jedini način da se uoče greške, izmere karakteristike, utvrde tačke gde je potrebno dodatno uvesti monitoring, iako pre toga nisu bile uočene i prepoznate kao mogući izvor problema. Zatim, potrebno je utvrditi adekvatnost sve opreme koja se koristi, i stare i nove, jer moguće da sva oprema pojedinačno radi ispravno ali da neke postojeće (ili nedokumentovane) karakteristike uređaja dovode do kolizije sa tokom procesa. Ovo je moguće da se dogodi i sa starom opremom koja nije u potpunosti kompatibilna sa unapređenim modulima u proizvodnji, ali i sa novom opremom čije manje značajne osobine mogu dovesti do nekompatibilnosti sa starijim analognim/mehaničkim delovima sistema koji rade potpuno stabilno i ispravno, ali nisu bili predviđeni za umrežavanje u digitalno okruženje. Ovo samo ukazuje na potrebu redovnog uključivanja metrologa i metrologije u sve procese rada u sistemu. Ovo je put do sledeće tačke, “7 – Projektovanje i dizajn”. Naizgled je nelogično da se projektovanje i dizajn sprovode tek u ovom kasnom delu, ali potrebno je sagledati realno stanje. Svi postojeći proizvodni programi su nastali pre prelaska u koncept I4.0, i tek posle njegove implementacije, testiranja i vremenske verifikacije, moguće je pristupiti definisanju novih mogućnosti koje nisu bile dostupne sa starom opremom i dizajnu novih proizvoda na bazi toga. Međutim, i ovde želje mogu da budu van okvira stvarnih mogućnosti, pa je potrebno metrologiju uključiti kao *rijaliti ček* (eng. *reality check*), jer usled nepotpunog poznavanja svih ograničenja i implikacija nove opreme, moguće je da već u fazi dizajna proizvoda, u njega budu ugrađeni mehanizmi koji dovode do neželjenih rezultata. Kao primer ovoga bi mogli navesti samovozeće automobile koji zavise od bežičnih komunikacija i veze sa Internetom ili nekom specifičnom mrežom. U nastojanju da se eliminiše ljudski faktor kao izvor najvećeg broja nesreća u saobraćaju, došlo je do intenziviranja problema informacione bezbednosti, gde neželjeni spoljni pristupi komunikacijama i sistemu upravljanja automobila (hakerski napad, krađa podataka, prisluškivanje), mogu dovesti do teških posledica. Upravo ovo je razlog da se trenutno, kod razvoja samovozećih automobila, najviše radi na uspostavljanju bezbednosti informacija i komunikacija, pored očiglednog rada na bezbednosti samog sistema za vožnju. Deo tačke sa projektovanjem se odnosi na projektovanje budućeg razvoja sistema proizvodnje. Metrologija treba da ukaže na sve moguće pravce daljeg unapređenja postojećeg sistema, kako bi se dobile realne procene mogućnosti razvoja. Poznata je praksa organizacija da kada jednom ulože resurse (novac, vreme, trud) u unapređenje sistema, često imaju odbojnost prema ponovnom angažovanju stručnjaka (“Bacanje para”, “Možemo to i sami”), pa dalje razvijaju sistem “na svoju ruku”, što često dovodi do komplikacija koje je posle teško i skupo



(finansijski i/ili vremenski) otkloniti. Ovo je poznato u IT industriji, gde se posle planske nabavke modernizovane kompjuterske opreme, u jednom trenutku, bez konsultacija sa stručnjacima, uradi prelazak na novu verziju operativnog sistema ili na drugi anti-virus program, što je više puta izazvalo velike posledice po veliki broj korisnika.

Sledeća tačka, čije izostavljanje je jedan od osnovnih razloga neuspeha mnogo tehnološki naprednih proizvoda u ovom milenijumu, je "8 – Testiranje". Usled želje da se bude prvi na tržištu sa novim uređajem, skraćuje se ili preskače proces detaljnog testiranja uređaja pre puštanja u prodaju. Ovo može da dovede do velikih gubitka: povlačenja cele produkcije sa tržišta, odštetnih zahteva korisnika, loše reklame, loše prodaje, itd. Ovo je karakteristično za auto-industriju, gde se svakih nekoliko meseci saznaje da je serija automobila povučena sa tržišta zbog nepouzdanog, ali jeftinog, minornog dela čijom ugradnjom se uštedelo 0.01 %, ali je dovelo do bezbednosnih problema u kočionom sistemu ili sa vazдушnim jastucima. Poznat je i primer iPhone 4 modela telefona, za koji je razvijena posebna, tada najnaprednija elektromagnetna komora za testiranje i simulaciju rada. Da bi se model plasirao pre konkurencije, očigledno je preskočen test praktične upotrebe, jer je tek naknadno otkriveno da je antena uređaja postavljena upravo na mestu gde prosečan korisnik drži kažiprst tokom telefoniranja, što je dovodilo do kapacitivnog uzemljavanja antene i gubitka prijema. Ovo, naravno, nije bilo moguće istestirati u komori, jer se odnosi na neposredni ljudski faktor i realnu upotrebu. Posle prve sugestije "Nemojte tu držati prst" i loše reakcije korisnika, izdat je gumeni dodatak koji je sprečavao držanje prsta na tom mestu, kao privremeno rešenje. Aparat je uskoro redizajniran i lokacija antene premeštena, ali je jasno da detaljno testiranje proizvoda, u realnim uslovima rada, nema zamenu. Ovaj proces je uveliko olakšan i učinjen efikasnijim uvođenjem I4.0 tehnologija (manje potreba za ljudskom kontrolom i više opcija za simulaciju rada). Kombinacija AI i sajber-fizičkih sistema u potpunosti može da zameni čoveka u praktičnim testiranjima uređaja navedenog tipa.

Nivo koji zanima svaku organizaciju je aspekt koji se razmatra u sledećoj tački, "9 – Legislativa". Zakonska metrologija je jedna od tri osnovna tipa metrologije, pored industrijskih i laboratorijskih (naučnih) merenja, [9]. Etaloniranje i ostala zakonska merenja, mogu se znatno unaprediti uvođenjem koncepta I4.0. Isključivanje ili smanjenje uticaja ljudskog faktora na rad u laboratoriji, automatizacija, paralelizacija, stvaranje povezanih baza podataka, poboljšanje merne nesigurnosti, samo su od neke od mogućnosti koje bi se ostvarile sa I4.0, što prevazilazi okvire ovog rada. Ono što je inovativni aspekt je mogućnost pozitivnog uticaja metrologije na legislativu putem informacija od značaja. Čest je slučaj da se organizacije žale na zakonske i podzakonske odredbe, na nivo i obim obaveznih zahteva koje moraju da ispune, da su ti zahtevi nerealni, nemogući i neprimenljivi u njihovom slučaju. Pažljivom primenom svih prethodnih tačaka, ostvario bi se značajan napredak u shvatanju i mogućnosti ispunjavanja ovih odredbi

od strane organizacija, uz pomoć metrologije. Međutim, novina je što ova saradnja može da se ostvari i u suprotnom smeru. Visok stepen automatizacije, kvantifikovanja delova sistema, organizovane baze strateški bitnih podataka, omogućavaju da metrologija bude izvor više nego značajne statistike o realnom stanju u industriji u okviru države, kao i o njihovim mogućnostima. Iako su organizacije te kojima je u interesu da prenesu svoje želje i zahteve zakonodavcu, metrologija je ta koja može obezbediti uspešnost te komunikacije detaljnim, nepristrasnim i jasnim statističkim podacima. Zakonodavcu će biti mnogo lakše da donese odluke o potrebnim izmenama u legislativi kada bude imao tačnu sliku stanja na terenu, šta su realne mogućnosti i dometi sadašnje industrije u pojedinačnim oblastima. Veliki broj podataka prikupljenih tokom monitoringa i ostalih faza realizacije, može obezbediti statistike po raznim opcijama, vrstama, oblastima, regionima, veličini organizacija, što bi omogućilo donošenje specifičnih zakona prema jasnim potrebama koje postoje, čiji uticaj se vidi u statističkim izveštajima. Ova povratna informacija bi se stalno pratila i menjala u zavisnosti od izvedenih promena. Kratkoročni i dugoročni efekti zakonskih promena na neposrednu proizvodnju bi se mogli odmah videti, što bi olakšalo dalje promene i validaciju. Ovo je jedinstvena osobina I4.0 koja bi omogućila posrednu komunikaciju privrede i zakonodavca putem nepristrasnog posrednika koji bi snabdevao obe strane podacima o realnom stanju na terenu, kakvo god ono bilo. Ovi podaci bi takođe omogućili razvoj i izmene u ostalim granama i strategiji razvoja privrede. Uočena tendencija da se pojedini regioni ili gradovi brže razvijaju u nekom privrednom aspektu, mogu da doprinesu donošenju odluka da se za te potrebe planira razvoj infrastrukture (voda, struja, putevi), primene mera zaštite životne sredine i kod najmanjeg povećanja obima zagađenja, proširenje telekomunikacionih resursa za specifične potrebe, itd. Istovremeno, jasna slika organizacije o sopstvenim mogućnostima ispunjenja postojećih zakonskih, tehničkih, tehnoloških i ostalih normi, omogućava rukovodstvu bolje planiranje i alociranje resursa radi poboljšanja u narednom periodu (u analogiji sa standardom ISO 9001). Ovaj proaktivni uticaj metrologije omogućava da se skрати vreme od uočavanja potrebe za izmenom, pa do same izmene, eliminiše nepotrebne troškove usled pogrešnih prognoza i planova, te povećava konkurentnost samih organizacija i atraktivnost države kao uspešnog partnera i dobre destinacije za investiranje u industriju.

Konačno, metrologija mora da ulaže u budućnost, a to su mladi inženjeri kojima će I4.0 biti normalno radno okruženje, već tokom ove decenije. "10 – Edukacija novih kadrova", je ključni deo ove priče. Ukoliko nemamo kadrove koji znaju da rade u pametnom okruženju I4.0, koji mogu da savladaju izazove koje donosi stalni napredak tehnike i tehnologije, i koji su sposobni da projektuju, izrade, instaliraju, upotrebljavaju i održavaju sisteme I4.0, tada napredak neće biti moguć. Koncept I4.0 podrazumeva autonomiju mašina, ali ne treba se zavaravati da su stručnjaci ti koji jedini to mogu da omoguće na ispravan i ekonomičan način. Jedino tako će

sistemi postići svoj pun kapacitet. Isto tako, konstantno planiranje unapređenja mora da dolazi iz izvora koji poznaje i teoriju i praksu, čije znanje omogućava objedinjavanje svih parametara u jedinstveni cilj. Ono što je važno naglasiti je da je novu generaciju inženjera za I4.0 potrebno početi edukovati već SADA. Studenti koji su ove godine upisali tehničke fakultete, za 4-5 godina će zateći industriju koja je nepojmljivo unapređovala, eksponencijalno više nego ona od pre pet godina do sada. Kurikulume na fakultetima je potrebno menjati u skladu sa vremenom i brzo promenljivim zahtevima tržišta i razvojem tehnologije.

Jedan primer razmatranja i prilagođavanja budućih kurikuluma novim zahtevima, vidljiv je kod planiranih inovacija predmeta Katedre za električna merenja Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, [10]. Kako je ta promena zakonski i finansijski teško, skoro nemoguće izvodljiva tako da prati brzi razvoj I4.0, potrebno je prilagoditi postojeće obrazovne sadržaje i izmeniti ih u manjoj meri koliko je zakonski moguće, ali dovoljno da nove generacije inženjera budu osposobljene za rad u novim uslovima. Četvrte industrijske revolucije koja se upravo dešava. Naglasak na suštinske delove teorije i praktičnu primenu na realnim primerima, zadatak je metrologije u narednom periodu na polju obrazovanja.

Katedra za električna merenja je prepoznala značaj I4.0 i uključila se u njeno izučavanje i praktične aspekte primene, od samog početka. Brojni naučni radovi i tehnička rešenja Katedre, objavljeni tokom prethodnog perioda u raznim stručnim časopisima i na konferencijama, [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], pokazuju jasno opredeljenje Katedre za električna merenja i Laboratorije za metrologiju na FTN da je I4.0 koncept budućnosti, kako u Srbiji, tako i u celom svetu.

#### IV. ZAKLJUČAK

Uloga metrologije u strateški bitnoj tranziciji industrijske proizvodnje na koncept Industrije 4.0 se može sažeti u deset tačaka: 1. Podizanje svesti, 2. Komuniciranje, 3. Snimanje stanja i potreba, 4. Planiranje realnih opcija poboljšanja, 5. Monitoring, 6. Kontrola kvaliteta, 7. Projektovanje i dizajn, 8. Testiranje, 9. Legislativa, 10. Edukacija novih kadrova.

Svaka od tačaka zahteva detaljno analiziranje svih aspekata teorije i prakse, kao i primenu inovativnih metoda kako bi se ostvario osnovni metrološki cilj – spoznaja stanja stvari u ovom trenutku da bi mogli učiniti korak ka sledećem. Uticaj metrologije na industriju, privredu, društvo i državu je dodatni razlog da se u sledećem koraku, Industriji 4.0, ova nauka još više prepozna i uključi kao važan činilac naučne i tehnološke inovacije, kao i unapređenja digitalnog društva.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

#### LITERATURA

- [1] C. J. Bartodziej, *The Concept Industry 4.0*, Springer Gabler, 2017.
- [2] *Industry 4.0, Study*, Directorate General for Internal Policies, European Parliament, 2016.
- [3] M. Urekar, et al., *Značaj merenja i metrologije u konceptu Industrije 4.0*, MIT2019, FTN Novi Sad, 2019.
- [4] M. Urekar, *Projektovanje industrijskih memih sistema za Industriju 4.0 i pametne distributivne mreže*, MIT2019, FTN Novi Sad, 2019.
- [5] *How to manufacture a smarter factory*, Welcome to Industry 4.0, k3syspro, 2015.
- [6] *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*, World Economic Forum, 2015.
- [7] <https://medium.com/@winix/industry-4-0-the-digital-technology-transformation-b23ba02a7dd2>
- [8] <https://novaekonomija.rs/vesti/pri%C4%8De-i-analize/usvojena-digitalna-platforna-za-industriju-40>
- [9] *Metrologija – ukratko*, 3. izdanje, EURAMET, Zavod za mere i dragocene metale, Srbija, 2008.
- [10] M. Urekar, N. Gazivoda, Đ. Novaković, S. Mirković, M. Subotin, D. Pejić, J. Đ. Kozarov, *Značaj obrazovanja iz oblasti metrologije i merno-informacionih sistema u savremenom konceptu Industrije 4.0, XXVI Skup Trendovi razvoja: "Inovacije u modernom obrazovanju"*, Kopaonik, Srbija, 16-19.02.2020.
- [11] Urekar M., Gazivoda N., Pejić D., *The Core for High-Precision Stochastic Smart Grid Meter Based on Low-Resolution Flash ADC*, IEEE Trans. on Instr. and Meas., 2019, DOI: 10.1109/TIM.2018.2886868.
- [12] Urekar M., Pejić D., *Low Resolution Stochastic Flash ADC for High Precision Energy and RMS Voltage Measurements for Smart Grid*, CPEM 2018, Paris, 2018, DOI: 10.1109/CPEM.2018.8501106
- [13] Urekar M., Pejić D., Vujičić V., Avramov-Zamurović S., *Accuracy improvement of the stochastic digital electrical energy meter*, Measurement, Vol. 98, Elsevier, 2017, DOI: 10.1016/j.measurement.2016.11.038
- [14] Urekar M., Sovilj P., *EEG dynamic noise floor measurement with stochastic flash A/D converter*, Biomedical Signal Processing and Control, Vol. 38, Elsevier 2017, DOI: 10.1016/j.bspc.2017.07.006
- [15] Urekar M., Gazivoda N., Đorđević-Kozarov J., *Stochastic Flash ADC in Hardware Correlator for Very Long Baseline Interferometry*, IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace 2018, Rome, 2018, DOI: 10.1109/MetroAeroSpace.2018.8453574
- [16] M. Urekar, *Stochastic approach for controllable measurement uncertainty in Industry 4.0 applications*, IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, Rome, Italy, June 3-5, 2020.

#### ABSTRACT

The global concept of Industry 4.0 is one of the key aspects of digitalization and improvement of industrial production, where the concept of industry is understood in the broadest meaning of the word. The paper presents a review of the role and tasks of metrology (the science of measurement) in this new environment. A clear and concise, but also a detailed ten-point plan has been proposed, which defines the most important metrology activities that will lead to a successful transition of industrial production to the concept of Industry 4.0, at the level of Serbia. The proposed plan can also be used as a sketch for the metrology development strategy in the Industry 4.0 concept at the global level.

#### **The role of metrology in the transition of industrial production to the concept of Industry 4.0 in Serbia**

Marjan Urekar, Jelena Đorđević Kozarov, Ivan Gutai, Stefan Mirković, Marina Subotin, Đorđe Novaković

# Algoritam za skladištenje informacija u sistemu za merenje parametara životne sredine u konceptu Industrije 4.0

Ivan Gutai, *Member, IEEE*, Aleksandra Gutai, Marina Subotin, *Member, IEEE*, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Marjan Urekar, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

**Apstrakt** — U Industriji 4.0 se često dešava da se korisnici uređaja zasipaju nepotrebnim podacima i može se desiti da im promakne nešto što je bitno ili da im se prosledi pogrešan podatak. U merno akvizicionom sistemu u kom se merenje vrši preko DHT22 senzora, tačnosti  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , nema smisla prikazivati trenutnu temperaturu u obliku  $23.46^{\circ}\text{C}$  iz dva razloga, koja će biti detaljno opisana u ovom radu. Prvi razlog je što nije metrološki korektno prikazivati korisniku nešto što je suprotno sa specifikacijom proizvođača. Drugi razlog je nepotrebno trošenje prostora u EEPROM-u (Electrically erasable programmable read-only memory, npr. skladištenje celog broja zauzima jedan bajt, dok upotreba broja sa pokretnim zarezom (eng. floating point) zauzima bar četiri bajta. Takođe će biti opisan algoritam koji omogućava zapis podataka 24/7, na svakih 20 minuta u 4 KB EEPROM-a, sa akcentom na robusnosti i metrološkoj ispravnosti skladištenih podataka. Sistem test je vrlo važna disciplina i u ovom radu je odnos pisanja koda i testiranja sistema u srazmeri 1:3.

**Ključne reči**— Arduino, DHT22, Algoritam, EEPROM, Metrologija, Industrija 4.0, Sistem test, robusnost

## I. UVOD

Moderni softverski inženjer čim čuje pojam skladištenje podataka odmah razmišlja o poslovnim (eng. enterprise) korisnicima, bazama podataka i farmi servera čija cena prelazi nekoliko hiljada eura. Da bi se u jednom merno-informacionom sistemu informacija automatski skladištila, potrebno je malo manje od jednog procenta navedene vrednosti za nabavku hardvera za ovu namenu. Kod otvorenog hardvera sve je nekako dostupno i modularno, pa se sa dodatnim zahtevima i sistem može proširivati. Još jedna motivacija za korišćenje EEPROM-a kao memorije za skladištenje je robusnost, kako proizvođač navodi [1], to je milion ciklusa upisivanja. Pored toga što je hardver robusan, u radu je opisano nekoliko testova celog sistema koji su omogućili da i firmver kojim se omogućava zapisivanje vrednosti u EEPROM, ni u jednoj situaciji ne prepíše izmerenu vrednost u toku istog dana. Takođe, testiran je i scenario kada dođe do prekida napajanja, a rezultat je da u memoriji samo ne postoje vrednosti iz perioda u kom nije

Ivan Gutai – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gutai@uns.ac.rs).

Aleksandra Gutai – Novi Sad, Srbija (e-mail: aleksandra.gutai@gmail.com).

Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marina.bulat@uns.ac.rs).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marjanurekar@gmail.com).

Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

bilo napajanja. Uređaj se napaja baterijski sa 5 V, a RTC (Real Time Clock) ima svoju CR2032 bateriju od 3V.

## II. ALGORITAM

Algoritam se oslanja na funkciju *dayOfTheWeek* iz biblioteke [2]. Svaki dan u nedelji ima svoj broj, a u navedenoj biblioteci dani počinju od nedelje, a brojanje, naravno od nule. Npr. u tom slučaju petak ima broj pet, primenom *dayOfTheWeek* funkcije. Ovakvim brojanjem se memorija od ukupno 4096 bajta, tj. memorijske lokacije od 0 do 4095 mogu izdeliti na sedam plus jedan jednakih delova, sedam za dane u nedelji, a jedan za kontrolnu logiku, što je i prikazano u “(1)”.

$$\text{adresa} = \text{dan\_u\_nedelji} * 504 + \text{dnevni\_brojac} * 7 \quad (1)$$

Mapiranje memorije na čipu AT24C32 je prikazano u Tabeli I.

TABELA I  
MAPIRANJE MEMORIJE NA ČIPU AT24C32

dan u nedelji	kontrolna logika	oznaka	memorijske lokacije
nedelja	/	0	0-503
ponedeljak	/	1	504-1007
utorak	/	2	1008-1511
sreda	/	3	1512-2015
četvrtak	/	4	2016-2519
petak	/	5	2520-3023
subota	/	6	3024-3527
/	da	/	3528-4095

32 u nazivu sugerise da čip ima 32 Kb, što je dobro za marketnig, ali često zbunjuje korisnika. Nama je praktičnije da podelimo vrednost sa brojem 8 i da izrazimo tu memoriju kao 4 KB, tj. 4096 memorijskih lokacija. Primenom “(1)”, prvi zapis koji će biti napravljen u npr. petak 6.3.2020. u 0:00 je biti zapisan u memorijskoj lokaciji  $5*504 + 0*7$ , tj. u memorijskoj lokaciji 2520. Zapis koji će biti napravljen na kraju sedmodnevnog merenja koje je započeto subotom u 0:00 će se nalaziti na memorijskoj lokaciji  $6*504 + 71*7$ , tj. na lokaciji 3521. Vrednosti promenljive *dnevni\_brojac* se inkrementuju nakon svakog očitavanja, a mogu biti u opsegu od 0 do 71. U sedam dana se napravi po 72 merenja što je ukupno 504. Svaki od sedam dana ima svoju memorijsku lokaciju za *dnevni\_brojac*. Više brojača za istu namenu se koristi samo zato što je jedini slučaj kad se brojač postavlja na

nulu, onaj momenat kada se u jednom danu izvrši 72 merenja. Namerno je izostavljeno vraćanje na nulu u svim ostalim slučajevima, zbog scenarija sa gubitkom napajanja sistema od 5V. Na memorijskim lokacijama između 3528 i 4095 se nalazi kontrolna logika na kojima se nalaze promenljive kao što su *dnevni brojac* i sve ostale koje omogućavaju funkcionisanje programa. Pored RTC-a, vreme se meri i unutrašnjim 16-bit tajmerom i na svaki sekund se inkrementuje promenljiva *upTime*. Interesanto je što je kompleksnost upotrebe tajmera obrnuto proporcionalna sa bit-nošću, pa su o onim razvojnim sistemima koji ih poseduju, najjednostavniji za korišćenje 32-bit tajmeri. Većina razvojnih sistema ima nekoliko tajmera, npr. Arduino Nano ima tri tajmera, od kojih su dva 8-bit. Na navedeni način se omogućuje praćenje koliko je premena prošlo od uključivanja uređaja (eng. *uptime*), a zatim se na svaki minut, to vreme i prikazuje. U prototipu uređaja za akviziciju parametara životne sredine, navedeni podatak je čisto informativnog karaktera, dok neki proizvođači hardvera upravo ovakve stvari mogu koristiti za maliciozan kod. Npr. nakon šesnaest uključivanja uređaja i ukupnog *uptime*-a od petsto devedeset časova promeni se vrednost jednog kontrolnog bita i firmver postane dosta sporiji ili prestane da radi. Neko od developera to zove greškom (eng. *bug*), a neko to zove funkcionalnost (eng. *feature*). Ova mogućnost ostavlja projektantu da omogući nesmetan rad uređaja npr. u garantnom roku ili probnom periodu, a zatim sledi održavanje.

Prilikom svakog merenja se zapisuju četiri vrednosti: izmerena temperatura, izmerena vlažnost vazduha, 32-bitni vremenski žig i izračunata vrednost toplotnog indeksa (eng. *heat index*). Ukupan broj bajta koji se koristi pri svakom zapisu iznosi sedam. Da je bilo potrebe za dodatnom štednjom memorijskog prostora, ne bi bila upisivana vrednost toplotnog indeksa, koja bi mogla biti izračunata na drugom kraju uz pomoć formule, koja je data u referenciranoj biblioteci. Iako EEPROM podržava milion zapisa, u startu se izbegava višestruko uzastopno zapisivanje. Brži je upis, lakše je pratiti na kojoj memorijskoj lokaciji se nalaze podaci i umesto četiri uzastopna zapisa u ovom slučaju se vrši po jedan zapis za svako merenje.

Ukoliko mi, kao neko ko je sastavio ovaj merno-akvizicioni sistem, proglasimo da je tačnost našeg uređaja  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , imamo i više nego dovoljno prostora da koristimo celobrojno (programersko) zaokruživanje. Krajnjem korisniku je omogućeno da letimično pogleda displej i da vidi celobrojnu vrednost, a ne da razaznaje  $23.48^{\circ}\text{C}$  sobne temperature. Usled tačnosti senzora navedena decimalna informacija je pogrešna, samo zbog viška decimala. Zbog celobrojnog zaokruživanja i deklarisanja da naš uređaj ima tačnost  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , sa punim pravom možemo reći da je  $23^{\circ}\text{C}$  za navedenu vrednost u potpunosti ispravno. Drugi pozitivni ishod je što se zbog kompatibilnosti i uštede prostora celobrojna vrednost smešta u *int8\_t* format koji zauzima jedan bajt umesto bar četiri koliko bi zauzeo broj sa pokretnim zarezom. Po jedan bajt se koristi za smeštanje vrednosti izmerene temperature, izmerene vlažnosti vazduha i izračunate vrednosti toplotnog indeksa. Za skladištenje informacije o vremenskom žigu se koristi nešto što se smatra dobrom praksom u programiranju, a to je tzv. „Unix timestamp“ [3]. Iako nije najkraći format zapisa, definitivno je najpraktičniji za dalju obradu. Npr. kada želimo da očitamo vrednosti sa senzora i da ih prikazemo u internet pretraživaču, nema potrebe za bilo kakvom konverzijom. Postoje i rešenja

za zapisivanje vremena koje iznose po nekoliko bita, ali uvođenjem takvih „prečica“ znatno se smanjuje period u kom uređaj može samostalno i ispravno da funkcioniše, tj. povećava se učestalost „redovnog održavanja“, što je pre svega i loša programerska praksa.

### III. NAČIN PISANJA KODA

Kod koji čini jedan firmver mora da bude napisan na takav način, da je uredan i jasan. Čak i u nekim slučajevima da bude opisno napisan, da ne mora da sadrži ni jedan komentar. U vremenu kada u većini slučajeva koristimo OOP (objektno orijentisano programiranje), kada nam neko spomene struktarno programiranje, prva asocijacija je tzv. špageti kod. Zaboravljamo da su ljudi koji su napravili OOP zapravo dugi niz godina koristili struktarno programiranje i ukoliko je dobro napisan ne mora da bude objektno orijentisan. Potrebno je da se podsetimo da i dalje možemo puno da uradimo i dosta toga da naučimo iz struktarnog programiranja. Špageti kod je opšte prisutan i pravi se sa copy/paste metodom bez previše razmišljanja. Jedno od važnih pravila je da se ne prave tzv. super funkcije koje rade petnaest stvari istovremeno, nego da se za svaku funkcionalnost izdvaja logika u posebnu funkciju. Nazivi funkcija moraju biti smisleni kao što su *readFromDHT22* ili *readAddressFromEEPROM*. Grupisanje koda se vrši gde je to moguće, a jedan od primera su vrednosti merenja prikazane na slici 1.

```
typedef struct {
    uint32_t timestamp;
    int8_t dhtTemperature;
    int8_t dhtHumidity;
    int8_t dhtCalculatedHeatIndex;
} dhtData;
```

Slika 1. Vrednosti merenja grupisane u strukturi

### IV. SISTEM TEST

Testiranje sistema je vrlo bitna disciplina i često se dešava da posle pet sati pisanja firmvera treba petnaest sati da se sve testira, uključujući i granične slučajeve, koji će se desiti npr. u jedan posto slučajeva. Bitna razlika je između testiranja i testiranja sistema je u tome što kod sistem testa složenost raste sa N komponentata, na N i bitno je da možemo da sagledamo širu sliku. Često se desi da pet komponentata zasebno radi u potpunosti ispravno, ali kada se dođe u fazu sastavljanja, kako broj komponentata raste, tako se češće dešavaju nepredviđene stvari. U industriji to ne sme da se dešava i iz tog razloga je bitno da znamo šta se dešava u unutrašnjosti onoga što testiramo, tzv. *white box testing*. Potpuno ista pravila važe i za hardver i za softver, a dobra praksa je da pored projektanta, testira i neko ko taj sistem prvi put vidi, upravo zbog graničnih slučajeva.

Algoritamsko razmišljanje i programerske veštine definitivno omogućavaju da se neki repetitivni poslovi automatizuju. Npr. ukoliko se oslanjamo na izvršavanje nekih aktivnosti u određeno vreme, nećemo provesti 24 h sa papirom i olovkom i testirati šta se kad desilo. Upotrebom bukvalno dve *for* petlje koje se nalaze jedna ispod druge gde prva broji od nula do dvadeseti tri a druga od nula do pedeset

devet, može se simulirati kompletan dan. Prototip modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine je testiran na više načina. Nakon višednevnog testiranja od po nekoliko sati, sedmodnevni test je započet u sredu 29.1.2020. u 16:20, a završen je 5.2.2020 u 16:20. Takođe, vrednost promenljive *dnevni\_brojac* namerno nije vraćena na nulu, već je ostala na vrednosti 65, od ranijih testiranja. Sa ovakvim podešavanjima, vrednost iz memorijske lokacije 1512 je ona koja je nastala u 21:40. Sa merenjem u 23:40 se završava merenje za taj dan. Nakon te vrednosti u memoriji se nalaze one od početka dana, itd. Prilikom pregleda zapisa u memoriji može se primetiti da je na lokaciji 2009 za sredu zapisana vrednost koja je izmerena u 21:20. Na navedeni način je omogućena robusnost, tj. u toku istog dana neće doći do prepisivanja zapisa. Detaljno analiziranje gde je šta zapisano je bilo potrebno samo zbog testiranja robusnosti, a krajnje korisnika se to ne tiče. Podaci su spremni da se šalju sa sistema u JSON (JavaScript Object Notation) formatu, što na drugom kraju omogućava olakšano parsiranje. Postoji niz mogućnosti kako poslati ove podatke dalje u sistem, a dva najlogičnija su slanje preko serijskog porta, a zatim i dodavanjem Wi-Fi adaptera u sistem. Popularna komponenta koja dodaje Wi-Fi na Arduino razvojne sisteme je ESP-07 proizvođača AiThinker [4], koji je zasnovan na ESP8266 [5] čipu.

#### KONTROLA VREMENA

U prototipu modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine, kontrola vremena se vrši na dva načina. Prvi je RTC, a drugi je tajmer. Koristi se samo jedan tajmer, iako postoji mogućnost za istovremenu upotrebu više. Matematička operacija moduo „%“ se koristi da se odredi kada je 20, 40 ili 60 minut svakog sata. Proverava se kada je moduo od 20 jednak 0. Ove vrednosti su birane zbog preglednosti, a u sistemu koji npr. ne bi imao tačno vreme, moglo je da se sa tajmerom broje sekunde i da se računa relativno vreme u odnosu na to kada je sistem dobio napajanje. Često se spominje i upotreba RTOS-a (Real Time Operating System) kao vida za paralelno izvršavanje nekoliko zadataka, iako ta potreba u navedenom scenariju zaista ne postoji. Npr. ukoliko je potrebno da se prati nešto na 3, 5 i 19 minuta, ukoliko to ne može da se reši upotrebom različitih provera, uvek postoji opcija da se oslonimo na ostale tajmere koje razvojni sistem poseduje, a najpopularniji imaju između 3 i 9. Kao što se upotrebom 16-bitnog tajmera broj 1 na Arduino Nano računa koliko je minuta prošlo od pokretanja sistema, druga dva tajmera, tajmere 0 i 2 možemo upotrebiti za neki vid paralelnog izvršavanja. Koliko god se trudimo da pratimo trendove, uvek moramo voditi računa o tome da ne komplikujemo život sebi, ali ni korisnicima naših uređaja. Još jedna stvar o kojoj treba voditi računa je upravljanje vremenom potrebnim za razvoj. Nema odlaganja i čekanja da uređaj bude savršen i nagomilavanja nepotrebnih funkcionalnosti. Korisnik je nestrpljiv i zahtevan i očekuje da uređaj radi ispravno. Iz navedenih razloga dobra praksa je da se naprave iteracije koje mogu minimalno trajati dve nedelje i kako faze projektovanja odmiču, tako se uključuje i korisnik kojem je lakše da sagleda funkcionalnost uređaja. Iako je većina ovakvih uređaja projektovana da radi samostalno, ljudski faktor je tu najbitniji kod testiranja.

#### ZAKLJUČAK

Sada je vreme kada marketing službe mnogo češće pišu tehničke specifikacije uređaja u odnosu na inženjere i često možemo pomisliti da je taj i taj proizvod neke kompanije baš onaj koji nam je potreban. Kod otvorenog hardvera postoji niz naprednijih i modernijih razvojnih sistema čija je cena slična uređaju Arduino Nano, ali po jednoj stvari ne mogu ni približno da se porede. Broj primera za „starije“ i oprobane razvojne sisteme je dosta veći, pa se iz velike mase može izdvojiti nekoliko kvalitetnih. Uređaj većinu stvari radi samostalno, ali moramo voditi računa da je i ljudski faktor vrlo bitan u industriji. U verziji 0.1 prototipa modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine, svi podaci se prikupljaju automatski, a jednom nedeljno je potrebno da ih čovek preuzme, pošto će zbog namerno ostavljene manje količine memorije doći do prepisivanja na nedeljnom nivou.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

#### LITERATURA

- [1] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0336.pdf>
- [2] <https://github.com/adafruit/RTClib>
- [3] [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global\\_Objects/Date](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Date)
- [4] [http://wiki.ai-thinker.com/\\_media/esp8266/a018ps01.pdf](http://wiki.ai-thinker.com/_media/esp8266/a018ps01.pdf)
- [5] <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>

#### ABSTRACT

In Industry 4.0 it is very common that users are overwhelmed with unnecessary data and sometimes they can miss something relevant or bad data can be forwarded. In a measuring-acquisition system that uses a DHT22 sensor, which has an accuracy of  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , there is no point for showing temperature as  $23.46^{\circ}\text{C}$  for two reasons, which would be described in this paper. The first reason is metrological incorrectness for showing to end-user something that is not in compliance with manufacturer specifications. The second reason is the unnecessary wasting of space in EEPROM. For example, storing integer value takes 1 byte and storing floating-point value takes 4 bytes. The algorithm which uses 4 KB of EEPROM as a storage for data acquisition every 20 minutes, 24 hours a day, 7 days a week will be described. The accent is on robustness and metrological validity for storing data. The system test is a very important discipline, and in this paper, writing code and system tests have a 1:3 ratio.

#### **The algorithm for storing measured environmental parameters in EEPROM in the Concept of Industry 4.0**

Ivan Gutai, Aleksandra Gutai, Marina Subotin, Platon Sovilj, Marjan Urekar, Đorđe Novaković

# Pametani uložak za cipele u konceptu Industrije 4.0

Aleksandar Kostovski, Igor Popadić, Đorđe Polovina, Igor Milijašević i Marjan Urekar, *Member, IEEE*

**Apstrakt** – U ovome radu je predstavljena ideja razvoja pametnog uložka za cipele koji bi pomogao deci da u najranijem dobu svog života nauče da hodaju pravilno. Pametni uložak se sastoji iz tri FSR senzora koji mere sile kojima dete deluje na uložak. Podaci o silama se šalju na mobilni telefon koji mora biti uz dete. Ukoliko dođe do nepravilnog hodanja, telefon emituje glasovnu poruku roditelja kojom oni opominju dete da hoda pravilno.

**Ključne reči**- Pametan uložak; Industrija 4.0; Metrologija; FSR senzor;

## I. Uvod

Velikim napretkom u oblasti nauke, fizike, matematike i medicine, dostignut je veliki razvoj tehnologije koji omogućava ubrzani napredak u društvu, pa samim tim omogućava i lakši život. U ovom radu je predstavljen način kako da se ispravi hod kod dece kako ne bi imali problema u kasnijem dobu života.

Deformacija stopala kod dece se javlja u dva slučaja. Jedan broj dece se rađa sa deformitetima stopala, a kod drugih je on stečen u nekoj od razvojnih faza. Izražene deformacije se uočavaju odmah po rođenju i uz primenu fizikalne terapije bivaju uspešno korigovane. Deformitet može da bude prisutan samo na jednoj ili na obe noge. Ukoliko se ništa ne preduzme ili se ne istraje u primeni vežbi, dete će prohodati sa stopalima u nepravilnom položaju što će dovesti do loše šeme hoda koja ostaje za čitav život. Isto će se dogoditi ukoliko do pojave deformiteta dođe kasnije. Sve ovo ima za posledicu narušenu statiku čitavog tela, svih zglobova iznad stopala (skočnih, kolena i kukova) kao i kičmenog stuba [1].

Kako bi se sprečile deformacije u kasnijem dobu, u ovom radu je predstavljena ideja kako obezbediti uređaj koji će dete usmeravati da pravilno hoda. Uređaj nosi naziv „Pametani uložak za cipele“ kako bi se detetu još u ranom dobu života pokušao korigovati hod. Na taj način bi se popravila statika čitavog tela. U samom ulošku je predviđeno da se nalaze FSR senzori, koji mere kolikim silama dete deluje stopalom na njih. Unutar uložka se nalazi i mikrokontroler koji prikuplja podatke sa FSR senzora i pomoću Bluetooth - a te podatke o silama šalje aplikaciji na mobilnom telefonu. U aplikaciji postoji mogućnost da se unese trenutna masa deteta i da se na osnovu baze podataka (koja se nalazi u sklopu aplikacije) odredi koji opseg sila je prihvatljiv za dete. Aplikacija nudi mogućnost da beleži koliko je pravilnih i nepravilnih koraka dete realizovalo. Na taj način se daje mogućnost roditeljima i lekarima da prate

napredak na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou. Ukoliko dete ne napravi dva pravilna koraka zaredom, telefon emituje glasovnu poruku roditelja kako opominje dete da se potruži da popravi hod. Cilj jeste da dete stekne rutinu kako pravilno da hoda kako bi ispravilo svoje držanje. Što manje opomena bude bilo, to je znak da se dete trudi i da ostvaruje napredak.

Aleksandar Kostovski – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: kostovski.aleksandar12@yahoo.com)

Igor Popadić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorpop96@hotmail.com)

Đorđe Polovina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: polovina.djordje@yahoo.com)

Igor Milijašević – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorm994@gmail.com)

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs)

## II. Uticaj metrologije na Industriju 4.0

Da bi se osiguralo da su svi delovi spojeni i da rade pravilno, neophodno je izvršiti proveru. Metrologija je pored medicine najstarija nauka u svetu i primenjuje se u svim naukama baziranim na praktičnim merenjima. Metrologija je nauka o merenjima i rešava tri osnovna zadatka:

1. Definisavanje mernih jedinica,
2. Realizacija mernih jedinica naučnim metodama (etaloni),
3. Ustanovljavanje lanca merne sledivosti uz dokumentovanje mernih nesigurnosti.

Nauka o merenju nije namenjena samo za načelnike, već je od životne važnosti za sve nas:

- Ekonomski uspeh nacije zavisi od sposobnosti proizvođača i trgovine da precizno naprave i testiraju proizvodne komponente,
- Zdravlje ljudi zavisi od tačne dijagnoze i pouzdanih merenja parametara leka [2].

Prilikom proizvodnje ne treba razmatrati samo cenu projekta, nego i tačnost, pouzdanost i brzinu izrade. Industrija 4.0 donosi porast proizvodnje pametnih tehnologija koje same po sebi daju nove i raznolike složenosti u procesu ispitivanja. Cilj je razviti efikasniju proizvodnju koja omogućava prilagođavanje proizvoda. Proizvodnja se ostvaruje u Pametnim fabrikama (Smart factories) koje su opremljene

industrijskim robotima i automatizovanim rukovanjem materijalima. Oslanjaju se na automatizovane upravljačke sisteme izgrađene na pravovremenim verifikacijama i povratnim informacijama. Industrija 4.0 se u velikoj meri oslanja na tehničku i organizacionu povezanost. Kako bi se ostvarila tehnička i organizaciona povezanost, neophodno je obezbediti bolji i brži protok podataka, kao i jednostavniji pristup tim podacima.

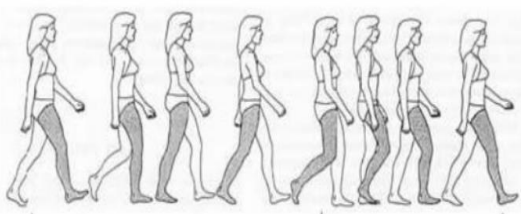
Beskontaktna metrologija (koja uključuje lasere i skenere) od presudnog je značaja za pametne fabrike. Omogućeno je skeniranje visokom rezolucijom, kao i upravljanje mernim uređajima na velike daljine [3]. Za potrebe ovog rada nije potrebna velika daljina između uređaja i telefona jer bi se podaci slali preko bluetooth-a.

### III. Tehničko rešenje sistema

U samom uložku je predviđeno da se nalazi otpornik osetljiv na silu pritiska (Force – sensing resistor – FSR), čija je uloga da meri silu kojom dete svojim stopalom deluje (vrši pritisak) na podlogu (slika 1). Što je veće delovanje sile na osetljivi deo, smanjuje se otpornost senzora [4]. Pravilno hodanje treba da bude kao na slici 2.

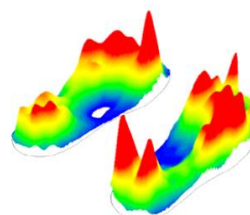


SI. 1. FSR otpornik osetljiv na pritisak [4]



SI. 2. Proces pravilnog hodanja [5]

Pritisak stopala prilikom kretanja se raspoređuje na 3 dela: centralni deo pete, spoljašnji deo stopala (metatarzalna kost) i deo do nožnog palca. Značajan deo tereta nosi prednja noga, a najveći pritisak je smešten u centralnom delu pete. Medijalni (unutrašnji) deo preuzima veoma mali deo tereta zbog koštane strukture stopala [6] i ne predstavlja nam veliki značaj za ispitivanje. Na slici 3 se nalazi raspored pritiska stopala prilikom hoda, gde crvena boja predstavlja deo gde je pritisak najveći.



SI. 3. Raspodela pritiska stopala prilikom hoda [6]

Postoji veliki izbor FSR senzora i potrebno je pronaći odgovarajući. U radu koji je objavila Juliette van der Pas na sajtu Arduino Project Hub [7], koriste se FSR 406, koji je postavljen na peti i FSR 402, koji je postavljen na spoljašnji deo stopala i deo do prstiju (slika 4).



SI. 4. Uložak u kojem su postavljena 3 FSR senzora [7]

Prilikom odabira FSR-a potrebno je obratiti pažnju na rezoluciju i koliku grešku pravi senzor. Rezolucija senzora je od značaja zato što predstavlja sposobnost mernog sistema da detektuje i da ukaže na promene u karakteristikama rezultata merenja [8]. Na slici 5 se nalaze karakteristike senzora FSR 402 za silu od 100 N.

Feature	Condition	Value*	Notes
Actuation Force		0.1 Newtons	
Force Sensitivity Range		0.1 - 10.0 <sup>2</sup> Newtons	
Force Repeatability <sup>3</sup>	(Single part)	± 2%	
Force Resolution <sup>3</sup>		continuous	
Force Repeatability <sup>3</sup>	(Part to Part)	±6%	
Non-Actuated Resistance		10M W	
Size		43.69 x 43.69mm	
Thickness Range		0.2 - 1.25 mm	
Stand-Off Resistance		>10M ohms	Unloaded, unbent
Switch Travel	(Typical)	0.05 mm	Depends on design
Hysteresis <sup>3</sup>		+10%	(R <sub>fs</sub> - R <sub>fo</sub> )/R <sub>fs</sub>
Device Rise Time		<3 microseconds	measured w/steel ball
Long Term Drift		<5% per log <sub>10</sub> (time)	35 days test, 1kg load
Temp Operating Range	(Recommended)	-30 - +70 °C	
Number of Actuations	(Life time)	10 Million tested	Without failure

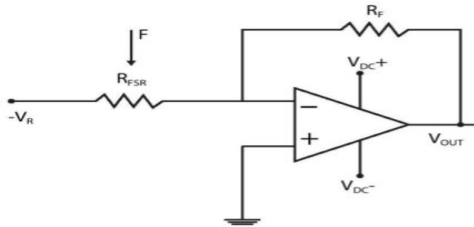
SI. 5. Karakteritike FSR 402 senzora [9]

#### IV. Slanje rezultata merenja i princip obradivanja rezultata

##### 1) Pretvarački blok, formule i grafički prikaz

Kako rezultati merenja i očitavanja nisu moguća na samim FSR sensorima, svi krajevi senzora se dovode na poseban pretvarački blok. U pomenutom bloku se sile pretvaraju u napone i mikrokontroler pomoću svojih analognih ulaza očitava napone.

Pretvarački blokovi, koji su malopre spomenuti, služe kako bi rešili problem koji se javlja kod ovih FSR senzora. Utvrđeno je da otpornost ne opada linearno sa povećanjem sile i taj problem se rešava pomoću šeme na slici 6. Kolo se sastoji od operacionog pojačavača na koji smo priključili FSR i dovodimo napon. Delovanjem sile na senzor, otpornost senzora se smanjuje i struja teče kroz kolo [10]. Na izlazu se dobija napon  $V_{out}$  koji se šalje dalje mikrokontroleru. Na slici 7 je prikazan grafik gde se jasno uočava koliko se otpornost linearno smanjuje sa povećanjem sile [11].

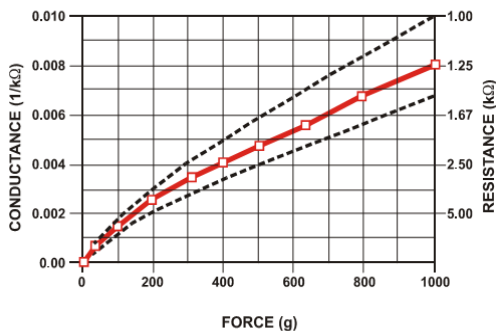


Sl. 6.  $R_{FSR}$  povezan sa operacionim pojačavačem [10]

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_{FSR}} = V \cdot \frac{1}{R_{FSR}} = V \cdot G_{FSR} = k \cdot F \quad (1)$$

$$V_{out} = R_F \cdot I = R_F \cdot k \cdot F = k_2 \cdot F \quad (2)$$

Jednačina (2) jasno ukazuje da se izlazni napon povećava srazmerno sili pritiska.



Sl. 7. Grafik uticaja sile na linearno smanjenje ili povećanje otpornosti [11]

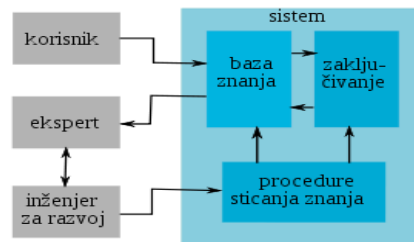
##### 2) Ekspertski sistem

**Ekspertski sistemi** se koriste za rešavanje komplikovanih zadataka koji su primereni visoko obučanim ekspertima. Mogu se definisati kao računarske aplikacije koji rešavaju probleme visokog stepena složenosti [12]. Osnovu ekspertskog sistema čini poseban softver koji modeluje elementne čovekovog rešavanja problema za koje se smatra da čine čovekovu inteligenciju: zaključivanje, prosuđivanje, odlučivanje na osnovu nepouzdatih i nepotpunih informacija. Ekspertski sistemi poseduju sposobnost da direktno obaveštavaju korisnika, koji postavlja pitanja. Sastoji se od više delova:

- Dela za rešavanje problema (baze znanja, mehanizam zaključivanja, globalna baza podataka),
- Okruženja.

Najvažniji element okruženja je korisnički interfejs, koji korisniku nudi sledeće mogućnosti:

- Sredstva za otkrivanje grešaka u razvoju sistema,
- Grafičke mogućnosti prikaza rezultata,
- Postavljanje pitanja pomoću slike [13].



Sl. 8. Blok šema ekspertskog sistema [14]

##### 3) Uticaj I4.0 tehnologije

Današnja tehnologija daje mogućnost da pomoću aplikacije na mobilnom telefonu korisnik upravlja uređajima u svom domu ili da nadgleda proces rada. Pomenuta tehnologija nosi naziv **Internet of Things** i služi da "opameti" hardver i promeni sve sfere našeg života. U grupu IoT tehnologije spadaju: Pametni gradovi, Pametno zdravlje, Pametna kuća... [15]. Upravo FSR senzori mere sile kojima dete deluje na uloške, ti podaci se šalju mikrokontroleru i pomoću Bluetooth mreže šalju podatke na mobilni telefon koje dete mora imati uz sebe.

Pri pokretanju aplikacije postavlja se pitanje: „Kolika je masa deteta?“. Nakon unosa mase, aplikacija bira opseg koji je pogodan za tu masu i taj podatak se preko Bluetooth-a šalje mikrokontroleru. Zbog izuzetno velike količine podataka (Big Data) koje senzori prikupljaju u realnom vremenu, oni se skladište i obrađuju na *cloudu*. Pošto se deca brzo razvijaju, aplikacija na svakih sedam dana postavlja pitanje o trenutnoj masi deteta kako bi se opseg prilagodio novoj masi. U aplikaciji



postoji opcija gde se nalaze grafički prikazi koliko je pravilnih i nepravilnih koraka dete napravilo u toku jednog dana na svakih sat vremena (slika 9) i ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka za jednu nedelju (slika 10).



Sl. 9. Ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka na svakih sat vremena



Sl. 10. Grafički prikaz pravilnih i nepravilnih koraka za 7 dana

Merenje počinje onog momenta kada senzor detektuje prvi pritisak stopala na uložak i kada se pokrene aplikacija. Na slici 9 se nalazi ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka deteta na svakih sat vremena. Imajući u vidu da je merenje počelo u 6:15, konačni rezultati pravilnih i nepravilnih koraka je predstavljeno u 7:15. Prednost ove aplikacije je mogućnost da roditelji i lekar sa svog mobilnog telefona mogu prijaviti na nalog deteta. Na taj način je omogućen detaljan uvid u napredak ili nazadovanje.

Kako bi se dodatno smanjio broj nepravilnih koraka, u aplikaciji postoji posebna opcija gde se beleže isključivo nepravilni koraci. Cilj je da se dobiju podaci na kom delu stopala je najveće odstupanje prilikom hoda. Prikazana je Tabela 1 kada je dete napravilo nepravilan korak. Tabela se sastoji od tri parametra:

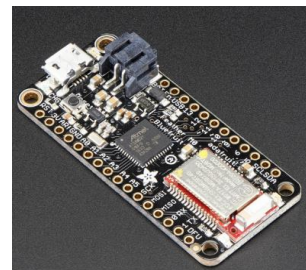
1. izmerene sile na stopalu
2. vremena kada se nepravilan korak desio
3. trenutne mase deteta.

Odstupanje	Peta	Spoljni deo	Deo do prstiju	Vreme [s]	Masa [kg]
Sila [N]	317	367	387	13:23:12	40

Tabela 1. Prikaz rezultata detetovog hoda u aplikaciji

Crvenom bojom je obeleženo na kom delu stopala je dete ostvarilo odstupanje, kao i vreme kada se desilo.

Prikupljanje podataka sa senzora i slanje tih podataka pomoću Bluetooth mreže, omogućeno je odgovarajućim mikrokontrolerom. Za potrebe Pametnog uložka koristi se Adafruit Feather M0 Bluefruit LE mikrokontroler. Reč je o najnovijem Bluetooth Low Energy protokolu niske potrošnje u frekventnom opsegu od 2.4 GHz. To je jedini bežični protokol koji može da se koristi sa iOS operativnim sistemom bez potrebe sa posebnom dozvolom, a podržavaju ga i svi moderni pametni telefoni. To ga čini odličnim za upotrebu u prenosnim projektima koji će koristiti iOS ili android telefon ili tablet. Napajanje mikrokontrolera može da se vrši pomoću 3.7 V litijumske polimer baterije ili preko USB konektora. Zahvaljujući AT komandnom setu, korisniku je omogućeno da ima potpunu kontrolu nad uređajem, uključujući mogućnost definisanja i upravljanja karakteristikama uređaja [16].



Sl. 11. Adafruit Feather M0 Bluefruit LE mikrokontroler [16]

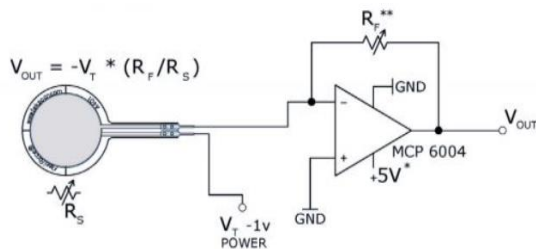
Sve prethodno pomenuto nema smisla ukoliko ne bi postojao način kako da se dete primora da hoda pravilno. Roditelj treba da instalira aplikaciju i pomoću bluetooth - a uspostavi komunikaciju sa uloškom. Tada u sklopu aplikacije postoji opcija da se snimi glasovna poruka takvog sadržaja da skrene detetu pažnju da ne hoda pravilno. Poruka bi se automatski aktivirala posle svaka 2 nepravilna koraka.

Jedan od problema može da bude činjenica da dete ne želi da pristane da nosi uložak. Ukoliko dete 7 dana ne reaguje na upozorenja koja dobija i svesno pravi greške, tada je roditelj u obavezi da kontaktira lekara i da ga obavesti o nastaloj situaciji i da se detetu dodeli termin kada će morati pod nadzorom pedijataru da radi vežbe radi unapređenja hoda. Na taj način bi se dete motivisalo da nosi uložak za cipele kada je predviđeno, kako ne bi morao da svoje slobodno vreme provodi po domovima zdravlja.

## V. Diskusija

Pametan uložak za cipele predstavlja primer upotrebe novih tehnologija u službi medicine. Na osnovu prikazanih razmatranja, predložena je konkretna priamna u ispravljanju hoda kod dece. Dalje istraživanje bi omogućilo dodatna unapređenja kako bi se razvio operativni prototip uređaja.

Osnovni problem je izbor adekvatnog FSR senzora. U primeru predstavljenom u ovom radu, upotrebljen je FSR 402, koji se koristio u projektu Arduino Project Hub. Nedostatak senzora jeste njegov maksimalni merni opseg sile od 100 N (ekvivalentno masi od 10 kg), što je malo za praktične potrebe ovog projekta. Jedan od senzora na koji može da se deluje većom silom je FSR A401, opsega sile od 0 do 3 175 kg. U tom slučaju, potrebno je prilagoditi vrednosti otpornosti  $R_F$  i napona  $V_T$  u pojačavačkom bloku, kako bi se podesilo potrebno pojačanje pri merenju sile ovim senzorom (slika 12) [17].



Slika 12.  $R_S$  ili FSR A401 povezan sa operacionim pojačavačem [17]

Jedan od problema svakako jeste „Sa koliko godina dete može da nosi uložak?“. U novinskom članku „Gait abnormalities in children“ [18] postoji objašnjenje da prve naznake bolesti stopala nastaju već u trećoj godini života. U Scholastic novinskom članku [19] se nalazi objašnjenje da dete postaje svesno tek u sedmoj godini. Prema rečima psihoterapeuta Dane Dorfman, pomenuti oblik svesnosti se naziva „Age of Reason“ i odnosi se na kognitivni, emotivni i moralni stadijum u razvoju u kojem deca postaju sposobnija za racionalnu misao, internalizuju savest i imaju bolju sposobnost za kontrolu impulsa. Najveći problem nastaje sa decom između treće i sedme godine, kako im prilagoditi uložak i kako ih naterati da slušaju upozorenja roditelja. Audio poruka sa glasom roditelja je početna ideja kako dete motivisati da se trudi i da koristi Pametan uložak.

Kako bi mikrokontroler mogao da prepozna koji korak je ispravan, potrebne su referentne vrednosti. Treba imati u vidu da ne mogu sva deca imati podjednaku masu, pa su samim tim i referentne vrednosti drugačije. Zato je potrebno da se sprovede ispitivanje dece u rasponu od treće do osamnaeste godine, a da su pritom i različitih konstitucija. U radu „Analysis of the plantar pressure distribution in children with foot deformities“ [20] predstavljeno je kako je vršeno ispitivanje mladih i starijih osoba, kako bi se utvrdilo koliki je maksimalni pritisak koji se ostvaruje kada stopalo dodirne površinu i određivanje srednje vrednosti pritiska stopala. Raspodela pritiska stopala merena je tokom hodanja po trkačkoj stazi pri individualnoj normalnoj brzini hoda (NBH). NBH je određena hodaњem subjekta tokom 12 minuta. Ukupna udaljenost je podeljena sa vremenom hodanja da bi se odredio pojedinačni

NBH. Početna brzina na trkačkoj stazi je iznosila 1.29 km/h (0.8 mph) i povećavala se na svakih 30 sekundi po 0.32 km/h (0.2 mph) dok se normalna brzina kretanja nije uskladila. Nakon utvrđene brzine, ispitanici su tako hodali 6 minuta. Rađena je analiza na 100 koraka (50 levo i 50 desno) i na osnovu toga se može utvrditi koliki se pritisak ostvaruje i na taj način odrediti referentne vrednosti za određenu masu.

U prethodnih 15 godina počela su brojna ispitivanja i razmišljanja kako unaprediti hod. Prvi sistem je koristio žicu za prenos podataka sa senzora na karticu za prikupljanje podataka na PC sa 96 % tačnosti identifikacije (slika 13) [21]. Potom se pojavila potreba za sistemom koji može priuštiti bežičnu vezu u realnom vremenu i pouzdan rezultat za merenje pritiska stopala.



Slika 13. Prenos podataka o hodu preko žice [21]

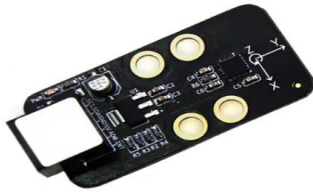
U radu „In-shoe plantar measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array“ [22] predstavljen je uložak koji meri silu kojom se deluje na njega i šalje podatke putem bluetooth-a. Na slici 14 se vidi da je oko članka postavljen wireless senzorski sistem koji šalje podatke na računar.



Slika 14. Prenos podataka o hodu preko bluetooth modula [22]

Prednost „Pametnog uložka za cipele“ u odnosu na „In-shoe plantar measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array“ je mogućnost da se bluetooth sistem nalazi u samom uložku. Glavni razlog je da se spreči uništenje wireless senzorskog sistema ukoliko dete slučajno udari nogom o neki predmet. Svakako je dodatna prednost i aplikacija na mobilnom telefonu koja detaljno prikazuje napredak hoda.

U drugom poglavlju je objašnjeno da je pravilan korak onaj gde se pritisak stopala prilikom kretanja raspoređuje sledećim redosledom: centralni deo pete, spoljašnji deo stopala (metatarzalna kost) i deo do nožnog palca. Tako je uređaj isprogramiran da detektuje pravilan korak upravo pomenutim redosledom. Međutim, kako uređaj da prepozna pritisak koji se stvara kada dete trči, stoji na jednoj nozi ili ako hoda na prstima ili na petama? Trenutno rešenje leži u postavci 3 – osnog akcelerometarskog i žiroskopskog senzora (slika 15) koji omogućava prepoznavanje vrste hodanja poput trčanja, stajanja na jednoj nozi i hodanje na prstima ili na petama [23]. Trenutno ne postoji dovoljno objašnjenja na koji način radi senzor i kako bi mogao da razlikuje pomenute vrste hoda. Potrebno je posebno ispitati rad 3 – osnog akcelerometarskog i žiroskopskog senzora u ulošku i ispisati kod kako da uređaj samostalno prepozna da li je korak ispravan ili nije.



Slika 15. 3 – osni akcelerometarski i žiroskopski senzor [24]

### Zaključak

Ovaj rad nudi rešenje kako da se unapredi hod deteta i kako podstaći dete da to realizuje. Internet of Things, kao deo Industrije 4.0 nudi mogućnost slanja rezultata i monitoring. Za tu potrebu koriste se FSR senzori, mikrokontroler i Bluetooth mreža koja šalje rezultate na aplikaciju mobilnog telefona. Glasovna poruka sa zvukom roditelja, koju telefon emituje, igra značajnu ulogu kako bi se dete motivisalo da hoda pravilno.

### Zahvalnica

U ime svih autora, zahvaljujemo se na velikoj pomoći i podršci pri izradi ovog rada celoj Katedri za električna merenja na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

### Literatura

- [1] <https://www.centarsm.co.rs/saveti-primaknuto-stopalo.html>.
- [2] V. S. Jokić, Metrologija, Novi Sad: Fakultet Tehničkih Nauka.
- [3] <https://eileymet.com/2018/10/12/the-place-of-metrology-in-industry-40/>.
- [4] <https://solarbotics.com/product/50803/>.

- [5] N. Igić, Kineziološka analiza hoda, Novi Sad: Medicinski fakultet Novi Sad, Katedra za medicinsku rehabilitaciju, Kineziologija, 2015.
- [6] J. Pauk, K. Daunoraviciene, M. Ichnatouski, J. Griskevicius and J. V. Raso, "Analysis of the plantar pressure distribution in children with foot deformities," Januar 2010..
- [7] J. v. d. Pas, "A DIY Smart Insole to Check Your Pressure Distribution," Arduino Project Hub, 2018.
- [8] <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section4/mpc451.htm>.
- [9] <https://cdn.sparkfun.com/assets/8/a/1/2/0/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>.
- [10] V. Aleksovski, Force resistive sensor, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2014.
- [11] [www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/frsguide.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/frsguide.pdf).
- [12] B. Nikolić and D. Bojić, Zbirka zadataka iz ekspertskih sistema.
- [13] [www.raf.edu.rs/citaliste/svastara/2461-ekspertni-sistemi-1-1](http://www.raf.edu.rs/citaliste/svastara/2461-ekspertni-sistemi-1-1).
- [14] [https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Ekspertski\\_sistemi](https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Ekspertski_sistemi).
- [15] P. Sovilj, Internet of Things, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [16] <https://www.adafruit.com/product/2995>.
- [17] <https://electronics.stackexchange.com/questions/281640/what-is-the-maximum-force-that-a-fsr-sensor-can-detect>.
- [18] D. H. Willacy, "Gait abnormalities in children," *Patient*, 2019.
- [19] P. D. Dorfman, "Age of reason," *Scholastic*.
- [20] M. J. Hessert, M. Vyas, J. Leach, K. Hu, L. A. Lipsitz and V. Novak, "Foot pressure distribution during walking in young and old adults," 19 May 2005.
- [21] F. Yong, G. Yunjian and S. Quanjun, "A Human Identification Method Based on Dynamic Plantar Pressure Distribution," in *Proceeding of 2011 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, Shenzhen, China, 2011.
- [22] L. Shu, T. Hua, Y. Wang, Q. Li, D. Feng and X. Tao, "In-shoe plantar pressure measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array," 2009.
- [23] <https://www.microcontrollertips.com/orientation-sensor-combines-3-axis-gyroscope-and-3-axis-accelerometer/>.
- [24] <https://www.digikey.com/catalog/en/partgroup/me-3-axis-accelerometer-and-gyro-sensor/72722>.
- [25] <https://www.adafruit.com/product/2995>.

### Abstract

This paper introduces the idea of developing a smart insole for shoes that would help children in the earliest period of their life to learn how to walk properly. Smart insole consist of 3 FSR sensors that measures the force with which the child acts on insole. Force data are sent to a mobile phone which must be with a child. If there is improper walking, the phone emits a voice message from the parent warning the child to walk properly.

### Smart insole for shoes in the concept of Industry 4.0

Aleksandar Kostovski, Igor Popadić, Đorđe Polovina, Igor Milijašević, Marjan Urekar

# Pametni košarkaški rukav za šutiranje

Igor Popadić, Aleksandar Kostovski, Đorđe Polovina, Igor Milijašević i Marjan Urekar, Member, IEEE

**Apstrakt** – U ovome radu je predstavljena ideja razvoja pametnog košarkaškog šuterskog rukava koji bi pomogao košarkašima prilikom treniranja i trenerima da pomoću aplikacije bolje isprate napredak igrača koje treniraju. Pametni šuterski rukav bi se sastojao iz tri povezana dijela, senzora na rukavu, senzora na košu i web aplikacije.

**Ključne riječi**- Košarka; IOT; Senzori; WEB aplikacija;

## I. UVOD

Zadnjih godina u košarci je preovladao trend po kome igračeva vrijednost usko zavisi od preciznosti njegovog šuta. Za razliku od 2000-ih, 90-ih i ranijih godina kada su dobri šuteri većinom bili niži igrači na perimetru, danas to nije slučaj i bez obzira na poziciju i visinu od igrača se zahtijeva da ima pouzdan šut.

Treneri nastoje da objasne djeci na treningu kako se pravilno šutira lopta, pod kojim uglom, na kojoj visini i slično. Ali treneri nisu uvijek tu pa djeca imaju tendenciju da izvode nepravilne pokrete koji im se čine lakšim. Kasnije se javlja problem kada treba ispraviti ono što je pogrešno uvježbano. U nastavku ovoga rada biće dato objašnjenje pravilnog šuta, primjer košarkaškog šuterskog rukava koji već postoji na tržištu i ideja kako bi se taj šuterski rukav mogao unaprijediti.

Igor Popadić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorpop96@hotmail.com)

Aleksandar Kostovski – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [kostovski.aleksandar12@yahoo.com](mailto:kostovski.aleksandar12@yahoo.com))

Đorđe Polovina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: polovina.djordje@yahoo.com)

Igor Milijašević – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [igorm994@gmail.com](mailto:igorm994@gmail.com))

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs)

## II. OBJAŠNJENJE PRAVILNOG ŠUTA

Koristeći se matematičkim formulama mogu se izračunati optimalni uglovi pri kojima je najveća vjerovatnoća pogotka. Koš je fiksiran na visinu od 3.05 m, a uglovi prilikom izbačaja lopte su različiti u zavisnosti od toga da li je igrač bliže košu pa izvodi slobodno bacanje koje se nalazi na udaljenosti od 4.90 m od koša ili je dalje od koša pa šuta trojku koja se nalazi na 6.75 m od koša (slika 1.). Da bi se postigao ugao ulaska lopte u koš od 48°, pri kome je najveća vjerovatnoća pogotka, optimalan ugao koji ruka zaklapa prilikom šuta kod slobodnog bacanja je 51°, a prilikom šuta za tri poena je 45°.[1]. Ako uzmemo u obzir i visinu igrača dolazimo do sledećih proračuna za slobodna bacanja:

- Igrač visine 162 cm treba izvoditi slobodno bacanje pod uglom od 52.2°
- Igrač visine 172 cm treba izvoditi slobodno bacanje pod uglom od 51.5°
- Igrač visine 182 cm treba izvoditi slobodno bacanje pod uglom od 50.8°
- Igrač visine od 192 cm treba izvoditi slobodno bacanje pod uglom od 50.1°
- Igrač visine od 202 cm treba izvoditi slobodno bacanje pod uglom od 49.4°
- Igrač visine od 212 cm treba izvoditi slobodno bacanje pod uglom od 48.7°

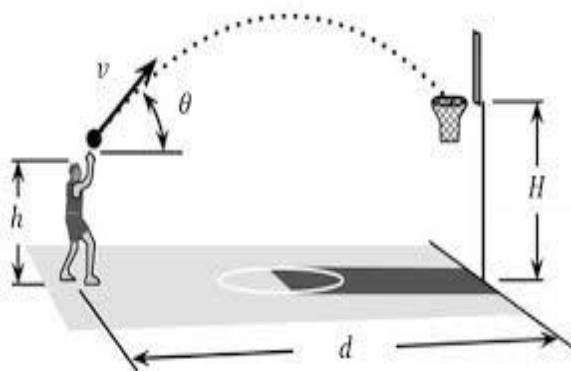
Na slici 1. je prikazan igrač koji izvodi slobodno bacanje. H označava visinu koša, h visinu igrača, d rastojanje između koša i slobodnog bacanja,  $\Theta$  ugao, v je početna brzina i g je gravitaciona konstanta [2]. Početna brzina se računa prema formuli:

$$v = \frac{x}{\cos \theta} \sqrt{\frac{g/2}{x \tan \theta + h - H}} \quad (1)$$

Minimalni ugao potreban za postizanje koša se računa prema formuli:

$$\tan \theta_{min} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{-1/2} + \frac{2(H-h)}{d} \quad (2)$$

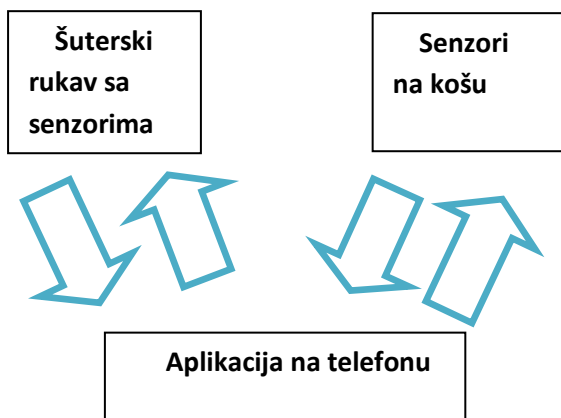
R je poluprečnik obruča i iznosi 0.23 m, r je poluprečnik lopte i iznosi 0.12 m.



Sl. 1. Šutiranje slobodnog bacanja

### III. SKLOP PAMETNOG KOŠARKAŠKOG RUKAVA ZA ŠUTIRANJE

Pametni košarkaški rukav za šutiranje koji se već nalazi na tržištu se sastoji od senzora u rukavu koji su povezani preko bluetooth-a sa aplikacijom na telefonu. Poboljšana verzija rukava bi se sastojala od senzora u rukavu koji bi bili povezani sa aplikacijom pomoću wi-fi i od senzora na košu koji bi bili povezani sa aplikacijom takođe preko wi-fi (slika 2.).



Sl. 2. Strelicama je naznačen smjer komunikacije između dijelova



Sl. 3. Izgled običnog šuterskog rukava

Na slici 3. je prikazan izgled običnog šuterskog rukava, čija je prvobitna uloga da štiti ruku od povreda, u kome bi bili smješteni senzori i napajanje.

### IV. ŠUTERSKI RUKAV SA SENZORIMA

Kao što je ranije naglašeno glavni dijelovi u šuterskom rukavu koji se već nalazi na tržištu su 3 grupe senzora (senzori na šaci, na podlaktici i na bicepsu). Senzori na šaci rade zajedno sa sensorima na podlaktici detektujući da li je ručni zglob pravilno podešen pri izbačaju. U novijoj verziji ti senzori se zadržavaju kao i njihov način rada koji će biti objašnjen kroz par sledećih rečenica, ali umjesto preko bluetooth-a, senzori bi slali podatke preko wi-fi. Nakon što se uporede sa formulom za pravilan šut i pravilnim položajem ruke prilikom šutiranja lopte, pokazuju da li se lopta samo gura pomoću šake ili zglob pravilno prati putanju lopte. Senzori na podlaktici u saradnji sa sensorima na bicepsu šalju informacije o položaju lakta, na osnovu čega se može zaključiti da li se lakat nalazi u pravilnom položaju u odnosu na ostatak ruke ili je previše pomjeren u stranu. Novija verzija rukava bi sadržala mjerač pulsa i zvučnik koji bi emitovao zvuk kada korisnik ne izvede pravilno šut, kao i led diode koje bi zasvijetlile u zelenoj boji ako je šut pravilno izveden, odnosno u crvenoj ako nije. Mjerač pulsa je dodat na originalni rukav iz razloga što djeca mogu biti u kući, navući rukav, uzeti loptu i samo izvoditi pokrete iste kao prilikom šutiranja bez da trener može da provjeri da li su oni stvarno bili napolju i trenirali. Zbog postojanja senzora za mjerenje pulsa na aplikaciji bi se prikazalo koliko se ko umorio i koliko je intezivan trening bio. Još jedna prednost mjerenja pulsa je što u saradnji sa zvučnikom može stvoriti realniji prikaz utakmice. Kada se korisnik dovoljno umori mjerenjem pulsa će to biti prepoznato i to će biti signal zvučniku da krene sa simulacijom buke navijača, što dodatno ometa korisnika da pravilno izvede šut. Zvučnik sa diodama takođe služi da obavijesti korisnika da je završio sa vježbanjem. U aplikaciji prije početka korisnik unese broj šuteva koji želi i kad uputi

zadnji šut diode i zvučnik to jave. Na košu bi bio smješten infracrveni senzor, koji bi javljao da li je lopta prošla kroz obruč. Kada lopta prođe kroz koš a infracrveni snop se prekine, na aplikaciji bi se upisao postignut koš. Razlog za ovaj infracrveni senzor na košu je što su svi ljudi specifični na svoj način i svakome odgovara neka tehnika šuta. Nekome će odgovarati idealna tehnika za njegovu visinu, a nekome položaj ruke neće biti u potpunosti pravilan. Zahvaljujući podacima koliko je lopti prošlo kroz obruč i podacima koliko je puta pravilno šut izveden moći će se uporediti podaci na kraju mjeseca i vidjeti šta svakome više odgovara.

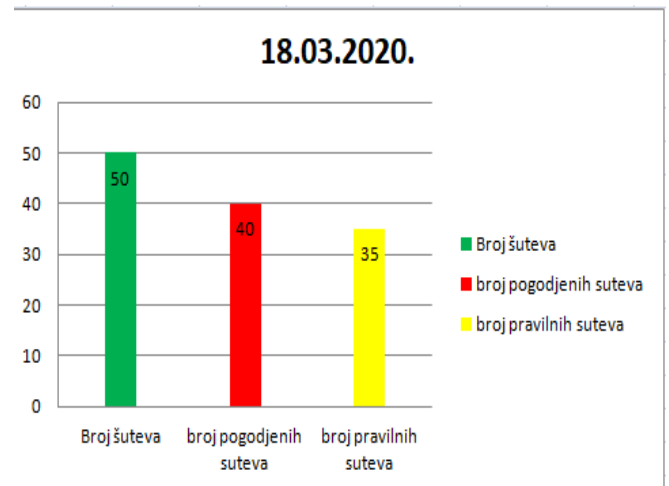
## V. APLIKACIJA NA TELEFONU

Šuterski rukav sa senzorima ne može sam da ponudi povratnu informaciju o pravilnosti izvedenog šuta. Da bi ponudio tu povratnu informaciju potrebno je da šuterski rukav bude povezan preko wi-fi sa aplikacijom koja se nalazi na telefonu ili tabletu. Aplikacija bi se sastojala od dva korisnička naloga. Jedan korisnički nalog koristi igrač koji trenira, a drugi korisnički nalog koristi trener koji bi imao evidenciju svih korisnika rukava. Potrebno je da igrač u svoj korisnički nalog unese odgovarajuće podatke kao što su njegova visina, vrsta treninga koji želi da odraditi, broj šuteva koji želi da izvede tog dana. Na osnovu podataka o visini, vrsti treninga koje korisnik unese, formule o pravilnom šutu i pravilnom položaju ruke prilikom šutiranja lopte koji se već nalaze u aplikaciji izračuna se optimalni ugao šutiranja. Pomenuti senzori prilikom šutiranja šalju prikupljene podatke koji se uporede sa formulama i uglovima koje ponudi aplikacija i na osnovu toga se dobije povratna informacija. Aplikacija bi na mjesečnom nivou obavještavala korisnika gdje je najviše napredovao, a gdje je potrebno povećati intenzitet treninga. Na slici 4. je dat prikaz početnog ekrana aplikacije koju koriste igrači.

Datum:		18.03.2020		
Ime	Prezime	Visina	Vrsta treninga	Broj šuteva
Igor	Popadić	190 cm	Slobodna bacanja	50
Puls	Broj pravilnih šuteva	Broj pogodenih šuteva		
60	35	40		
Procenat pravilnog šuta	Procenat pogodenih šuteva			
70%	80%			

Sl. 4. Početni ekran aplikacije

Kao što se vidi na slici korisnik unese ime i prezime kako bi otvorio personalni nalog koji će moći pogledati i trener, zatim unese svoju visinu i iz opadajućeg menija odabere vrstu treninga kako bi aplikacija mogla izračunati optimalne uglove. Na kraju još unese broj šuteva koji želi da šutne za taj dan i trening može da počne. Nakon što led diode i zvučnik označe kraj treninga, korisnik može da pogleda broj pogodenih šuteva i broj šuteva koje je pravilno šutnuo.

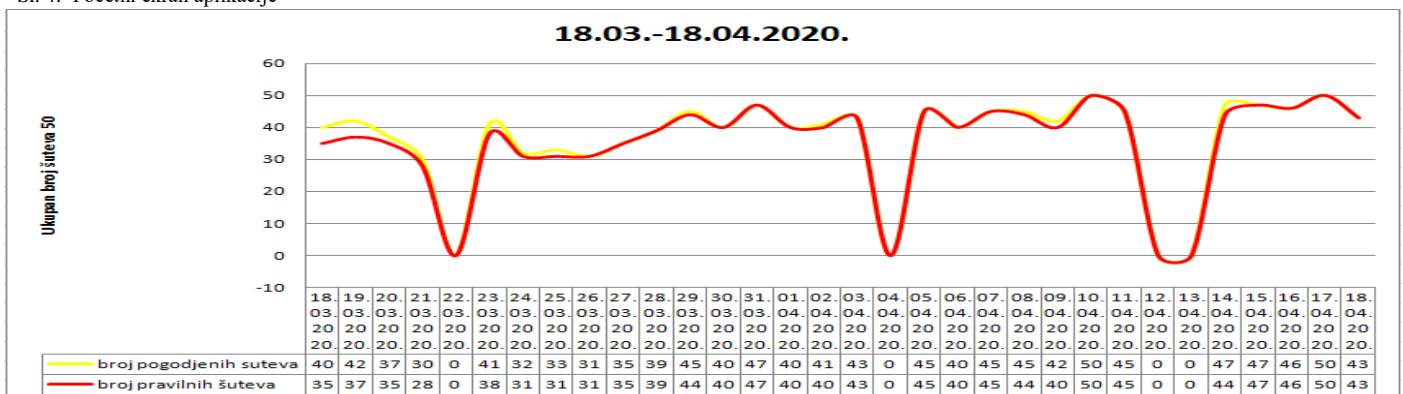


Sl. 5. Prikaz broja šuteva za određeni dan



Sl. 6. Prikaz procenta šuteva za određeni dan

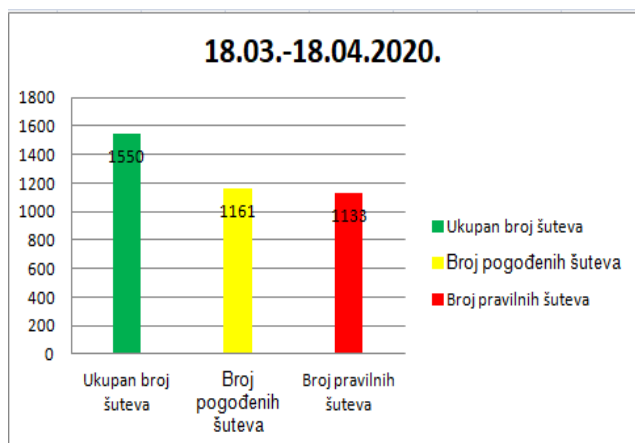
Na slici 5. je prikazan drugi dio menija koji grafički prikazuje broj pogodenih šuteva i broj pravilnih šuteva.



Sl. 7. Prikaz šuteva za mjesec dana

Slika 6. pokazuje odnos tih šuteva i ako je nakon dužeg vremenskog perioda odnos pogođenih šuteva veći od odnosa pravilno izvedenih šuteva, aplikacija će sama napraviti korekcije u svojim formulama dok ne dođe do načina šutiranja koji najbolje odgovara korisniku.

Na slici 7. je prikazano kakav se odnos pogođenih slobodnih bacanja i pravilno šutnutih slobodnih bacanja očekuje nakon mjesec dana korištenja rukava. Sa grafika se može primjetiti da na početku treniranja postoji razlika između pravilno šutnutih bacanja i pogođenih. Onda se broj pogođenih bacanja smanjuje postepeno ali je sve sličniji broju pravilno šutnutih bacanja jer korisnik počinje da razmišlja o formi svog šuta. Pri kraju mjeseca broj pogođenih bacanja je porastao i skoro je identičan broju pravilno izvedenih bacanja. Iz razloga što se trenira napolju, pa radi kiše ili nekih drugih razloga se trening ne može održati, u nekim danima je stavljeno da je broj šuteva 0 jer korisnik nije trenirao.



Sl. 8. Prikaz broja šuteva za mjesec dana



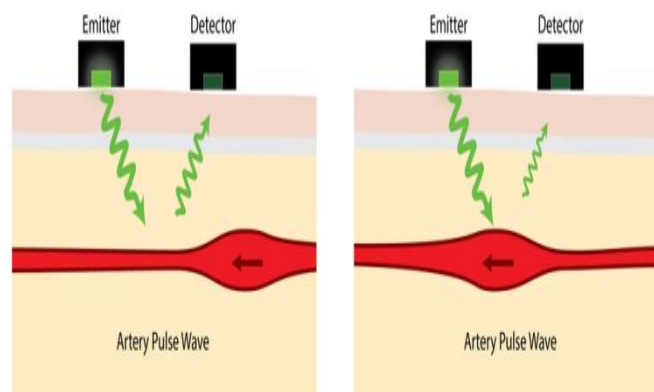
Sl. 9. Prikaz procenta šuteva za mjesec dana

Na slici 8. je prikazano kako to izgleda u aplikaciji. Na slici 9. se vidi da je razlika između broja pogođenih šuteva i broja pravilnih šuteva zanemarljiva. To znači da forma pravilnog šuta odgovara korisniku i nema potrebe za prilagođavanjem.

U slučaju da je razlika velika, aplikacija bi izvršila promjene u svojoj formuli tako što bi se uporedili uglovi pri kojima korisnik pogađa sa onima pravilnog šuta. Korisnički nalog koji koristi trener bi imao na početnoj strani opadajući meni iz koga trener izabere igrača koga želi da pogleda. Nakon odabira na njegovom uređaju bi se prikazalo sve ono što vidi i igrač koji trenira.

## VI. DISKUSIJA

Novina u ovome rukavu kako je naglašeno je senzor koji mjeri puls kod igrača. Ovaj senzor radi na principu svjetla. Ima u sebi diodu koja emituje svjetlost i fotodetektor koji skuplja odbijenu svjetlost (slika 10.). Kada se arterije stežu, odnosno nabubre kao odgovor na pulsirajući krvni pritisak, intenzitet reflektovane svjetlosti raste i opada. Nakon što sakupi svjetlost, fotodetektor proizvede električni signal. Ovaj analogni signal se pretvara u digitalni i male promjene u ovom signalu se koriste da mjere otkucaje srca.



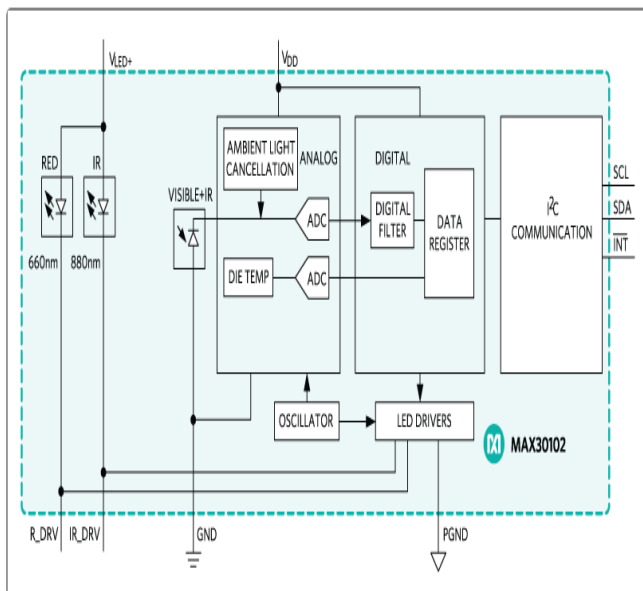
Sl. 10. Princip rada senzora koji mjeri puls

Rukav koji se već nalazi na tržištu daje korisniku informaciju nakon što lopta napusti šaku da li je šut izveo pravilno ili ne. Na osnovu ovoga sprječava se mišićno učenje pogrešnih poza i pokreta. Nedostatak takvog rješenja je što ne znamo intenzitet treninga. Nije isto šutirati na koš prilikom normalnog pulsa i kada igrača sustigne umor kao što je slučaj na utakmici. Uz pomoć senzora koji mjeri puls možemo i to da pratimo. Drugi nedostatak je što ne odgovara svakome isti način šutiranja. Ako igrač pravilno šutira ali ne pogađa dovoljno, onda nešto treba mijenjati. Sa postojanjem senzora na košu koji prati broj pogođenih šuteva može se izračunati forma šuta koja odgovara pojedinačnom igraču. Ova dva rješenja poboljšavaju postojeći pametni šuterski rukav, ali ne otklanjaju u potpunosti probleme. Prilikom šutiranja lopte na koš, položaj ruku i forma šuta je bitna, ali to nije jedina stvar koja utiče na šut. Dio koji se ovdje zanemaruje a isto je važan je položaj nogu prilikom šuta. Treneri imaju naviku da kažu da šut kreće iz nogu i to je istina. Položaj nogu prilikom

zaustavljanja, odraz, to su sve stvari koje su takođe važne. Tako da sledeći korak u unapređenju ovoga sklopa bi bio neki senzor koji prati i položaj nogu.

## VII. SENZOR MAX30102

Kada pričamo o nekim uređajima koje želimo plasirati na tržište uvijek koristimo velike riječi kao što su u ovom slučaju internet stvari [3], pametni uređaj koji sam uči, aplikacija sa personalnim nalogom. To su i dijelovi uređaja na koje se i najviše fokusiramo prilikom razvijanja. Ali treba naglasiti da sve to ne može raditi kako treba bez odabira odgovarajuće tehnologije koja je na prvoj liniji, a to su senzori. Ako je mjerenje koje dobijemo preko senzora netačno onda će naš uređaj pogrešno učiti, pogrešne podatke ćemo skladištiti i koliko god bila personalna aplikacija primamljiva korisniku, na njoj će biti netačne informacije. Zato je bitno prvo odabrati precizan senzor i znati sa kojom on mjernom nesigurnošću mjeri, kako se ponaša u uslovima u kojima radi i šta tačno mjeri. U ovome slučaju važno je da senzor za mjerenje pulsa nudi informaciju koliki je tačno puls igrača, a ne da daje otprilike očitavanja ili da daje samo informaciju puls se povećao. MAX30102 (slika 11.) je visokoosjetljivi senzor za mjerenje pulsa. Ovaj senzor se koristi u fitness uređajima koji nose sportisti na zglobu prilikom trčanja i njegove performanse u takvim uslovima su bile zadovoljavajuće. Ovaj model [4] radi na jednom napajanju od 1.8 V i posebnom napajanju od 3.3 V kojim se napajaju unutrašnje led diode. Komunikacija se obavlja preko standardnog I<sup>2</sup>C kompatibilnog interfejsa.



Sl. 11. Blok šema čipa MAX30102

Kako bi bolje pokazali karakteristike ovog senzora možemo ga uporediti sa još jednim senzorom pristupačne cijene. Taj

senzor je SFH 7051 koji takođe mjeri puls pomoću dioda. Razlika između ova dva senzora je u tome što se ovdje koriste zelene diode. Na slici 12. je prikazan dio datasheet-a koji prikazuje talasnu dužinu zelene diode i talasnu dužinu fotodetektora čipa SFH 7051 [5], a na slici 13. je prikazana talasna dužina infracrvene i crvene diode čipa MAX30102 kao i talasna dužina njegovog fotodetektora. Vidimo da je talasna dužina zelene diode manja od talasne dužine i crvene i infracrvene diode. Što se tiče fotodetektora vidimo da fotodetektor kod SFH 7051 ima veću oblast koju pokriva i veći domet.

### Characteristics (T<sub>A</sub> = 25 °C)

Parameter		Symbol	Value	Unit
<b>Green Emitter (single emitter)</b>				
Wavelength of peak emission (I <sub>F</sub> = 20 mA)	(typ.)	λ <sub>peak</sub>	530	nm
<b>Detector</b>				
Photocurrent (E <sub>0</sub> = 0.1 mW/cm <sup>2</sup> , λ = 535 nm, V <sub>R</sub> = 5 V)	(typ.)	I <sub>p,535</sub>	0.42	μA
Wavelength of max. sensitivity	(typ.)	λ <sub>S max</sub>	920	nm
Spectral range of sensitivity	(typ.)	λ <sub>-10%</sub>	400 ... 1100	nm
Radiant sensitive area	(typ.)	A	1.7	mm <sup>2</sup>
Dimensions of radiant sensitive area	(typ.)	L x W	1.3 x 1.3	mm x mm
Dark current (V <sub>R</sub> = 5 V, E <sub>e</sub> = 0 mW/cm <sup>2</sup> )	(typ. (max.))	I <sub>R</sub>	1 (≤5)	nA

Sl. 12. Talasna dužina fotodiode i fotodetektora senzora SFH 7051

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>IR LED CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
LED Peak Wavelength	λ <sub>P</sub>	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C	870	880	900	nm
Full Width at Half Max	Δλ	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C		30		nm
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C		1.4		V
Radiant Power	P <sub>O</sub>	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C		6.5		mW
<b>RED LED CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
LED Peak Wavelength	λ <sub>P</sub>	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C	650	660	670	nm
Full Width at Half Max	Δλ	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C		20		nm
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C		2.1		V
Radiant Power	P <sub>O</sub>	I <sub>LED</sub> = 20mA, T <sub>A</sub> = +25°C		9.8		mW
<b>PHOTODETECTOR CHARACTERISTICS (Note 3)</b>						
Spectral Range of Sensitivity	λ (QE > 50%)	QE: Quantum Efficiency	600		900	nm
Radiant Sensitive Area	A			1.36		mm <sup>2</sup>
Dimensions of Radiant Sensitive Area	L x W			1.38 x 0.98		mm x mm

Sl. 13. Talasna dužina fotodiode i fotodetektora senzora MAX30102



Iako je jeftiniji senzor SFH 7051 razlog za odabir MAX30102, pored veće talasne dužine dioda je i postojanje  $I^2C$  komunikacije.

Prilikom izbora infracrvenog senzora situacija je prostija, treba nam informacija da li je lopta prošla kroz obruč ili ne. To se može postići sa aktivnim infracrvenim senzorom koji se sastoji iz dva dijela, emitera i prijemnika. Kada se snop svjetlosti između emitera i prijemnika prekine jer lopta prođe kroz obruč, to je signal aplikaciji da je postignut koš. Medjutim i tu treba voditi računa, da li je senzor dobro podešen, da li radi u uslovima u kojima se nalazi. Sva pametna tehnologija je beskorisna ako informacija kojom baratamo nije tačna.

## VIII. ZAKLJUČAK

Kao što je i prethodno naznačeno, ovaj rad nudi rješenja koja bi mogla da unaprijede i otklone nedostatke već postojećeg sistema koji se nalazi na tržištu. Upotrebom senzora na košu i senzora za mjerenje pulsa igrač dobija dodatne informacije u aplikaciji koje bi mu pomogle da napreduje, a u isto vrijeme učinile njegov trening zanimljivijim. Simulacija buke navijača u dvorani pomoću zvučnika, koja bi se aktivirala kada se sportista dovoljno umori daje novu dimenziju njegovom treningu. Priprema ga za realnu situaciju na utakmici što prije nije bilo moguće. Kombinacija ovih senzora, led dioda i zvučnika daje osjećaj kao da igrač ima personalnog trenera na svojoj ruci. Tehnologija sve više postaje dio sporta i ovo je jedan od načina kako iskoristiti šuterski rukav sa kojim su igrači već upoznati, i promijeniti ga da pomogne još više.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju profesoru Marjanu Urekaru na velikoj pomoći i podršci pri izradi ovoga rada. Takođe, veliko hvala cijeloj Katedri za električna merenja na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

## Literatura

- [1] Bob J. Fisher, Straight shooter, Fisher Sharp Shooter, 2018
- [2] <https://arxiv.org/pdf/1702.07234.pdf>
- [3] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [4] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>
- [5] <https://docs.rs-online.com/c9d8/0900766b813dd153.pdf>
- [6] <https://www.te.com/usa-en/trends/connected-life-health-tech/sensors-in-sports/sensors-in-basketball.html>
- [7] John J.Fontanella, The Physics of BASKETBALL, Johns Hopkins University Press, 2006
- [8] [https://www.eti.uni-siegen.de/ubicomp/papers/ubi\\_iwoar2018b.pdf](https://www.eti.uni-siegen.de/ubicomp/papers/ubi_iwoar2018b.pdf)

## ABSTRACT

This paper introduces the idea of developing a smart basketball shooting sleeve that would help basketball players during training and coaches to track players progress using the app. A smart shooting sleeve would consist of three connected parts, a sensor on the sleeve, a sensor on the basket and web application.

### Smart basketball shooting sleeve

Igor Popadić, Aleksandar Kostovski, Đorđe Polovina, Igor Milijašević,  
Marjan Urekar, Member, IEEE

# Koncept industrije 4.0 u oblasti poljoprivrede – Poljoprivreda 4.0

Dorđe Polovina, Aleksandar Kostovski, Igor Popadić, Igor Milijašević i Marjan Urekar , *Member*, IEEE

**Apstrakt** – U ovom radu predstavljene su neke od ideja koje bi mogle doprineti razvoju proizvodnje hrane. Poljoprivreda 4.0 predstavlja prekretnicu u načinu uzgajanja biljaka i održivosti poljoprivrednih sistema i farmi. Ovakvi sistemi omogućavaju potpunu automatizaciju procesa uzgajanja biljaka, uz mogućnost nadzora u realnom vremenu pomoću određene aplikacije, kao i velike uštede resursa. Sistem poput ovoga bi se sastojao iz četiri funkcionalna bloka: blok sa biljkama, blok za upravljanje, blok za kontrolu i blok računarskog oblaka.

**Ključne reči** – Poljoprivreda 4.0; Pametni senzori; IoT; Deep learning; Metrologija;

Dorđe Polovina - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [polovina.djordje@yahoo.com](mailto:polovina.djordje@yahoo.com))

Aleksandar Kostovski - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [kostovski.aleksandar12@yahoo.com](mailto:kostovski.aleksandar12@yahoo.com))

Igor Popadić - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [igorpop96@hotmail.com](mailto:igorpop96@hotmail.com))

Igor Milijašević - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [igorm994@gmail.com](mailto:igorm994@gmail.com))

Marjan Urekar - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [urekarm@uns.ac.rs](mailto:urekarm@uns.ac.rs))

## I. UVOD

Poslednjih desetak godina sve se više govori o povećanju broja stanovnika na Zemlji i kako će to negativno da utiče na proizvodnju hrane odnosno kako će se broj gladnih na planeti drastično povećavati iz godine u godinu ako se nešto ne preduzme u oblasti poljoprivrede. Izveštaji pokazuju da ćemo, iako potražnja neprekidno raste, do 2050. godine morati da proizvedemo do 70% više hrane. Otprilike 820 miliona ljudi širom sveta pati od gladi. Prema istraživanjima Food and Agriculture Organization of United Nations do 2030. godine će više od 8 % svetske populacije biti neuhranjeno a to je više od 700 miliona ljudi [1]. Kao odgovor na ovakav izazov neophodne su nam inovacije u oblasti poljoprivrede i same tehnologije unutar nje. Svedočimo tome da se u poslednje vreme dogodilo veoma malo inovacija u ovoj oblasti od izuzetnog značaja za ceo svet i populaciju, jasno nam je na osnovu statistika da će u narednim godinama glad i oskudica itekako predstavljati problem. Rešenje ovog problema mogla bi da bude Poljoprivreda 4.0 koja predstavlja spoj novih tehnoloških dostignuća i drugačijih - nekonvencionalnih načina uzgajanja. Pre svega, postižu se veće uštede kako novca potrebnog za ulaganje tako i zemljišta, vode i električne energije. Još jedna od značajnih stavki jeste da ovaj sistem učinimo dostupnim svima i da svi mogu da ga koriste bez prethodnih obimnih usavršavanja i kurseva.

Od početka 21. veka poljoprivreda polako napreduje do precizne poljoprivrede, počinju da se koriste novije tehnologije, satelitsko snimanje, GPS, automatizovani roboti i razna vozila.

Pojavom Industrije 4.0 (I4.0), senzori počinju da igraju ključnu ulogu kao delovi koji prikupljaju informacije o stanju i radu, iz tog razloga oni moraju da prikupljaju veliku količinu podataka u realnom vremenu i pri tome da budu energetski efikasni.

Sam razvoj metrologije nam je omogućio ovakve vidove tehnologije koja se koristi i ona je od presudnog značaja za razvoj Poljoprivrede 4.0 jer ovaj vid I4.0 zahteva konstantna merenja, prikupljanje podataka sa senzora kao i međusobnu povezanost i komunikaciju između samih senzora. Metrologija i pametni senzori bi trebalo značajno da unaprede ovu granu industrije tako što bi doveli do implementacije raznih naprednih tehnologija koje bi nesumnjivo olakšale samu proizvodnju kao što su Augmented Reality sistemi, Internet of things, Cloud computing i ostalih. Podaci koji su prikupljeni sa pametnih senzora nam omogućavaju da se dođe do novih zaključaka u cilju poboljšanja rasta i sadnje biljaka, đubrenja, energetske efikasnosti. Sa svim ovim podacima može se posle svakog završenog ciklusa doći do novih saznanja o procesima koji se dešavaju na farmama. Na osnovu ovih saznanja grade se veliki modeli podataka i modeli mašinskog učenja pomoću kojih se optimizuje svaki korak

procesa i dalji tok uzgajanja ali i služi da se predvide prinosi. Cilj uvođenja pametnih senzora kao i svih IoT rešenja u proces proizvodnje nije da se ljudi potpuno isključe iz proizvodnje, već je to podizanje produktivnosti, efikasnosti i sposobnosti za realizaciju svih proizvodnih zadataka. IoT ima ulogu da omogućí efikasan pristup podacima na velikim daljinama vezanim za proizvodnju i da obezbedi dvosmernu komunikaciju [2]. Ovakva rešenja metrologije su od presudnog značaja za stvaranje pametnih fabrika budućnosti kakvima se danas teži.



Sl. 1. Primer monitoringa senzora pomoću pametnih uređaja [3]

## II. REAL TIME MERENJE I PRAĆENJE RAZVOJA BILJKI

Ono što najviše karakteriše I4.0, a samim tim i Poljoprivredu 4.0 jeste merenje u realnom vremenu. Razlog zbog kog nam je to od izuzetnog značaja leži u tome što u svakom momentu imamo informacije o našim usevima odnosno uvek možemo da pratimo temperaturu i vlažnost vazduha, vlažnost zemljišta, pH vrednost zemljišta itd. Neka od pitanja vezanih za doprinos real time merenja su:

### 1) Koje bi benefite donelo uvođenje ovakvog merenja?

Neki od benefita koje bi ovakvo merenje donelo iz ugla profesije unutar poljoprivrede jesu: pravovremeno otklanjanje problema, brzo reagovanje i brza sanacija u slučaju bolesti kod biljaka ili neodgovarajućih uslova. Poljoprivreda se bazira na preventivi odnosno uvek je bolje sprečiti da do samih bolesti dođe, jer se jako teško leče i to zahteva mnogo vremena.

### 2) Da li bi i kako uštedeli vreme uvođenjem merenja u realnom vremenu?

Itekako bi postigli uštedu vremena. Ovakav vid proizvodnje pomoću I4.0 zahteva konstantan monitoring, na taj način biće potreban manji broj radne snage za proveravanje svake biljke odnosno neće biti potrebe da zaposleni ide redom od biljke do biljke i proverava svaku ponaosob, vreme bi se takođe

uštedelo na prikupljanju podataka o samim usevima kao i o njihovom zavođenju u registre.

### 3) Da li bi rezultati merenja doprineli većem rodu biljaka i sprečavanju umiranja?

Iako u jednoj meri rod zavisi od same biljke i semena, itekako nam je važno u kakvim uslovima se usevi razvijaju i naravno da je od velikog značaja kontrolisanje tih istih uslova, na taj način bi umiranje biljaka sveli na minimum. Takođe bi na osnovu merenja mogli da predvidimo kakvi uslovi najviše odgovaraju određenoj sorti i da to primenimo u budućnosti.

### 4) Kakav bi bio kvalitet ovako uzgojenih useva?

Ovakvi usevi bi imali mnogo bolji kvalitet od konvencionalno gajenih iz razloga što na ovaj način kontrolišemo uslove, samim tim i hemijski sastav biljaka čime direktno povećavamo kvalitet. Na ovaj način bi izbegli i upotrebu veštačkih suplemenata kod biljaka što nam odmah govori o prednosti ovakvog uzgajanja.

Kod biljaka imamo više faktora koji utiču na sam razvoj i najbitnije je da pratimo sledeće:

- **TEMPERATURA** – Ne sme biti previsoka, pojačava se disanje biljaka, disimilacija organske materije, transpiracija. Niska temperatura usporava rast biljke kao i fiziološke procese unutar nje same. Svaka biljka ima svoju optimalnu temperaturu koju bismo pratili pomoću senzora i regulisali pomoću regulatora samog sistema.
- **SVETLOST** – Pratimo količinu, intenzitet i kvalitet svetlosti. Trebamo da imamo uvid u talasne dužine svetlosti koje biljka prima jer nije svaki vid svetlosti istog značaja za nju i treba da imamo uvid u period u kom je biljki svetlost neophodna iz razloga što biljke vole i odmor od svetla.
- **VODA** – Bitan je kvalitet odnosno njen hemijski sastav, temperatura, količina vode koja se dodaje biljkama, deficit znači da će biljka polako da se gasi a suficit da se biljka guši tj. stvara se vlažna sredina koja odgovara pojavi štetnih mikroorganizama i bolesti, zbog toga je izuzetno važno imati senzore za praćenje vlažnosti zemljišta.
- **RELATIVNA VLAŽNOST VAZDUHA** – Ne sme biti suviše visoka jer se tada javljaju bolesti, iz zasićenosti vazduha sledi da će biljka teže da diše, preniska vlažnost utiče na slabije deljenje ćelija unutar biljke odnosno usporava rast a to hoćemo da sprečimo. Svaka biljka ima odgovarajuću relativnu vlažnost vazduha – još jedan razlog zašto je bitna implementacija ovakvog sistema.

- HRANA (PRIHRANA) – Bitna je količina koja je data, vreme u koje je data i kad je sledeći put potrebno dodati prihranu usevima, ovde nije potrebno govoriti koliko bi pametni senzori u kombinaciji sa deep learning sistemima olakšali ovu operaciju. Pre svega ovde je potrebno paziti na azot i njegovu koncentraciju iz razloga što je veoma bitan za razvoj mladih biljaka. Tri oblika su usvojiva: amonijak, nitrat i nitrit dok je samo amonijak dobar, a druga dva štete ljudskom organizmu.
- KISEONIK I UGLJEN DIOKSID – Potrebno je paziti na koncentraciju kiseonika kao i na koncentraciju ugljen-dioksida, takođe i na sam kvalitet vazduha. Ovo nam je važno kontrolisati ukoliko nam se usevi nalaze u zatvorenim prostorima. U zatvorenim prostorima je ovo bitno iz razloga što optimalna doza itekako utiče pozitivno na biljke, a povećanje ili smanjenje dovodi do gašenja biljke.
- PH VREDNOST ZEMLJIŠTA – Od ph vrednosti zavisi usvajanje hranljivih materija od strane biljke što je i najbitnije.
- OPTIMALNA VLAŽNOST ZEMLJIŠTA – Ona čini jedan od osnovnih uslova za visoke prinose i dobar kvalitet useva. Nedostatak vode u zemljištu nepovoljno utiče na sam razvoj i rast biljaka kao i na nutritivne vrednosti unutar njih i on značajno smanjuje dobijeni prinos. S druge strane i povećana vlažnost nepovoljno utiče na useve, ako je previše vlažno zemljište duži period, dolazi do nastanka anaerobnih uslova. Povećanje vlažnosti zemljišta utiče na biljku tako da ona menja boju odnosno žuti, zaostaje pri rastu i vene. Na kraju imamo niske prinose koji su lošeg kvaliteta. Zašto je ovde monitoring od velike važnosti govori i činjenica da stalna promena nivoa vlažnosti može dovesti do pucanja korena i plodova [4].

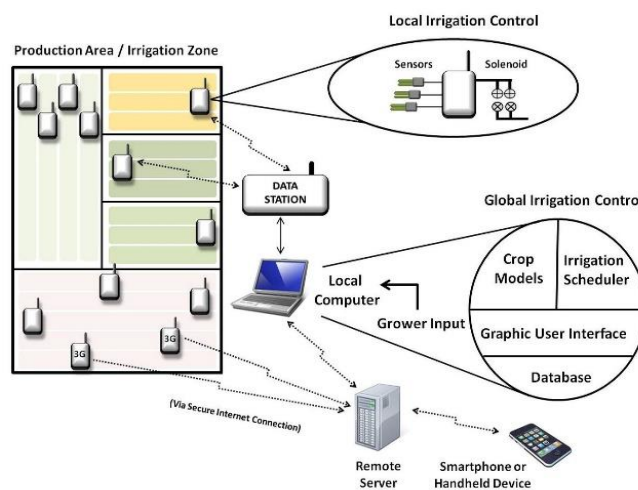
Još jedna od bitnijih stavki pri real time monitoringu predstavljaju i kamere koje su povezane sa pametnim senzorima i implementiranim deep learning sistemom. Ovde se radi o visokokvalitetnim kamerama sa izuzetnom preciznošću – COGNEX kamerama koje se i danas već uveliko koriste unutar industrije, prvenstveno zbog svoje velike pouzdanosti, male veličine i pristupačne cene. Pomoću ovih kamera i sistema za deep learning tehnologiju mogli bi analizirati samu biljku odnosno njene plodove ili listove i na taj način primetiti ako je došlo do nekih promena ili pojave mikroorganizama [5].

Zbog ovog procesa bi pri sadnji bilo potrebno uneti u sistem o kojoj biljci se radi da bi deep learning sistem mogao kasnije da je tretira kao odgovarajuću i da bi se izbegle dodatne komplikacije, a takođe bi mogle da se primene i

konvolucijske neuronske mreže (CNN) [6] ali bi onda sistem bio nešto komplikovaniji. Ukoliko bi došlo do bilo kakvih promena na biljci, sistem bi mogao da označi taj deo sa promenom i obavesti nas u kom sektoru i parceli se tačno ta biljka nalazi i da bi trebali da je pogledamo.

### III. REŠENJE SISTEMA ZA UZGAJANJE

Ovaj sistem je zamišljen za indor uzgajanje koje bi bilo potpuno automatizovano i koje bi imalo mogućnost daljinskog praćenja i upravljanja 24 sata dnevno. Sistem bi se sastojao od nekoliko međusobno povezanih blokova: bloka sa smeštenim biljkama, bloka za upravljanje, bloka za kontrolu i bloka računarskog oblaka za skladištenje informacija. U nastavku je svaki blok posebno objašnjen sa idejom za realizaciju.

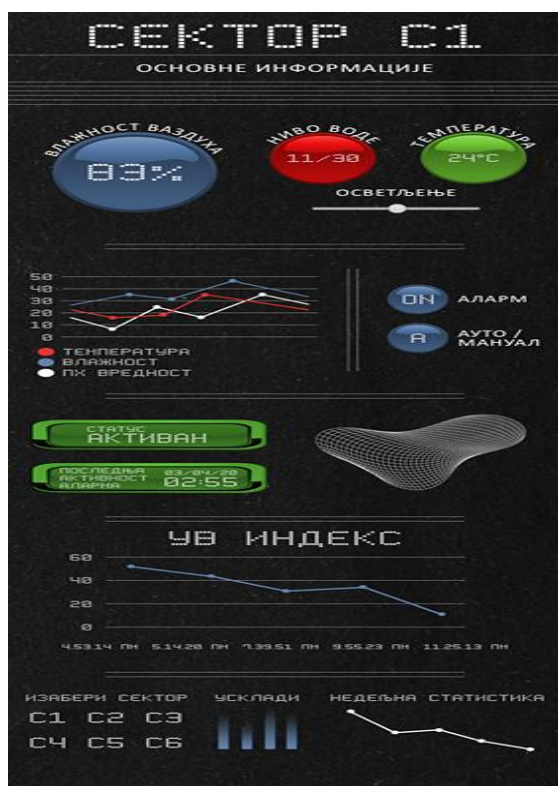


Sl. 2. Grafik senzorske mreže [7]

- 1) BLOK SA BILJKAMA – Ovaj blok čine sektori izdijeljeni na određen broj parcela u koje bi bile posadene biljke. U svakom od ovih sektora bi se nalazili pametni senzori za praćenje svih neophodnih faktora (temperatura i vlažnost vazduha, količina kiseonika i ugljen dioksida, vlažnost zemljišta...). Na osnovu veličine sektora bi se znalo koliko je senzora potrebno postaviti tako da može da se prati razvoj biljaka na celoj površini. Uz same biljke i senzore u ovom bloku bi još bile postavljene cevi za navodnjavanje i prihranu, određeni ventilatori, elementi za regulisanje temperature, specijalne lampe za osvetljavanje, kao i posebne COGNEX kamere za monitoring.
- 2) BLOK ZA UPRAVLJANJE – U ovom bloku nalaze se svi elementi potrebni za normalno funkcionisanje sistema u celini a to su: digitalni upravljački sklopovi za upravljanje navodnjavanjem, prihranom i regulisanjem svetlosti, temperature i ostalih faktora.

Ovde su takođe smešteni elementi za napajanje celog sistema.

- 3) BLOK ZA KONTROLU – Služi da bi se konstantno moglo proveravati da li je sve u redu i da li svaki element u sistemu ispravno radi i ukoliko ne radi mi bi dobili obaveštenje. Iako se I4.0 i pametni senzori unutar nje odlikuju međusobnom povezanošću, odnosno senzori komunikacijom između sebe mogu da ustanove da li neki od njih ne radi dobro i na taj način ga isključe iz mreže, ovaj blok je ipak implementiran radi sigurnosti.
- 4) BLOK RAČUNARSKOG OBLAKA – Koristi se za skladištenje informacija koje su prikupljene od strane senzora i kamera i koje bi služile u daljem razvoju ugrađenih deep learning sistema. Takvi sistemi bi na osnovu ovih podataka kroz određen vremenski period mogli da ustanove da li se radi o bolestima biljke, napadu mikroorganizama ili pojavi određenih insekata. Takođe je zamišljeno da u ovom bloku bude smeštena oprema potrebna za samo funkcionisanje ovih operacija odnosno velike količine memorije, procesori, AI grafičke karte i drugi elementi pomoću kojih je moguće izvršavanje složenijih operacija poput konstantnog monitoringa, razmene podataka sa korisnikom, kao i algoritama za prepoznavanje i klasifikaciju.



Sl. 3. Monitoring pametnih senzora

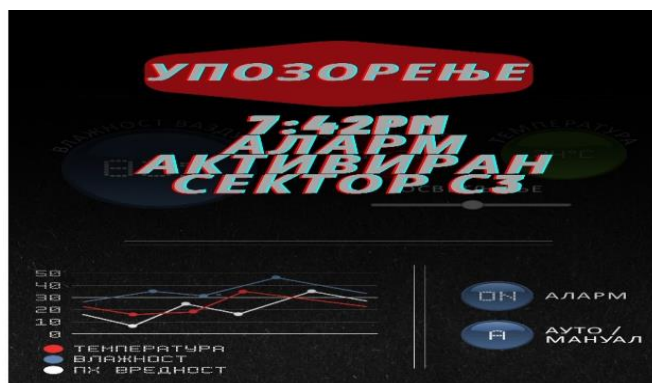
#### IV. APLIKACIJE ZA PRAĆENJE RADA

Zamišljeno je da uz ovaj sistem dođe i aplikacija pomoću koje je omogućeno upravljanje kao i nadzor sistema 24 sata dnevno. Ovo bi se sve ostvarivalo preko Wi-Fi mreže na koju je ceo sistem povezan i aplikacije na mobilnom telefonu, tabletu ili računaru. Kako se sistem sastoji iz više sektora imali bi vizuelni pristup svakom sektoru pomoću postavljenih kamera. Tako će biti olakšan nadzor po sektorima kao i upravljanje odnosno očitavanje postavljenih senzora. Korisnik u svakom trenutku može da pristupi nekom od senzora u određenom sektoru i proveriti temperaturu, vlažnost zemljišta, nivo ugljen dioksida ili nešto drugo. Aplikacijom se svaki sektor posebno posmatra i postoji mogućnost da se svakim sektor posebno upravlja različito od potreba, kao primer možemo navesti da ćemo u jednom sektoru namestiti temperaturu 10°C dok će u sektoru pored temperatura biti 25°C ako je to potrebno iz bilo kog razloga. Ovakav način nadzora i upravljanja doprinosi uspehu useva, uštedi vremena i novca jer se u svakom delu sistema mogu namestiti odgovarajući uslovi za optimalni rast i zdravlje različitih biljaka [8].



Sl. 4. Aplikacija za pametne uređaje

Pored ovoga preko aplikacije bi nam stizala i obaveštenja ukoliko dođe do kvara nekog elementa sistema ili ukoliko kamere i deep learning sistem otkrije veći broj insekata ili značajniju promenu koja bi mogla negativno da utiče na useve. Takođe bi mogli da pratimo i potrošnju električne energije i vode kao i da na mesečnom nivou vidimo statistiku samog sistema.



Sl. 5. Upozorenje od strane aplikacije u slučaju kvara

## V. DISKUSIJA

Iako je ideja predstavljena još pre više godina, Poljoprivreda 4.0 je i dalje inovativno rešenje koje bi što pre trebalo da zameni nama poznati uzgoj useva. S obzirom na stalni rast broja stanovnika na planeti, promenu svetske klime, stalne ratove koji se odvijaju u celom svetu – Poljoprivreda 4.0 predstavlja itekako nešto čemu treba maksimalno da se posvetimo ako mislimo da smanjimo broj gladnih u svetu i što je najbitnije da opstanemo kao vrsta. Prelazak na ovaj vid poljoprivrede doneo bi više korisnih stvari.

Glavna ideja je da se ovaj koncept primeni na vertikalni uzgoj, koji poređenja radi na istom prostoru daje od 8 do 10 puta veći prinos nego klasični – horizontalni uzgoj kakav mi danas poznajemo [9]. Uz to, u kontrolisanim uslovima kakve naš sistem obezbeđuje skraćuje se vreme proizvodnje za 15 do 20 dana pri upotrebi jednog od sledećih tehničko-tehnoloških rešenja.

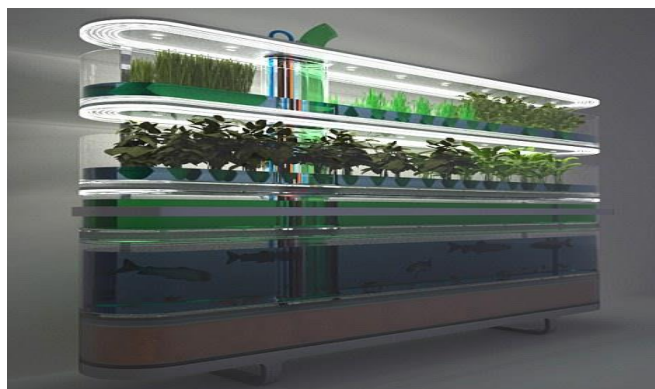
Ta rešenja za poboljšanje ovog našeg sistema ogledala bi se u prelasku na hidroponik, akvaponik ili aeroponik način uzgoja odnosno uzgajanje bez upotrebe zemljišta [10].

1) Hidroponik – Biljke se gaje u vodenom supstratu i biljka sve potrebne hranjive materije uzima iz vode koja kruži unutar zatvorenog sistema. Kod hidroponik sistema u vodu se dodaju razni aditivi kako bi biljki omogućili pravilan rast i razvoj [11].



Sl. 6. Hidroponik sistem za uzgajanje [12]

2) Akvaponik – Predstavlja vrstu hidroponik sistema, kod kog se umesto korišćenja raznih aditiva oslanjamo na prirodni proces. Ovo je vid proizvodnje koji kombinuje tradicionalnu akvakulturu (uzgajanje vodenih životinja u akvarijumu) sa hidroponik sistemom u simbiotskom okruženju.



Sl. 7. Akvaponik sistem za uzgajanje [13]

3) Aeroponik – Predstavlja gajenje u vazduhu odnosno kod ovakvog sistema korenje visi u praznom koritu ali se svakih nekoliko minuta prska fino raspršenom hranljivom izmaglicom.



Sl. 8. Izgled jedne aeroponik farme [14]

Ovi sistemi mogu da smanje potrošnju vode za 98%, upotrebu đubriva za 60%, a potpuno isključuju upotrebu pesticida, pri čemu nam daju maksimalne prinose [15]. Cilj ovog rada je da unapredimo već postojeće automatizovane farme za uzgajanje uvodeći rešenja Industrije 4.0, a takođe i da ih učinimo energetski efikasnim. Jedna od stvari koju je potrebno uraditi u ostvarenju tog cilja jeste zameniti postojeću rasvetu sa pametnim LED osvetljenjem. Uticaj ovakvog pametnog osvetljenja prevazilazi same prednosti već postojećih sistema rasvete za uzgajanje kao što je poboljšanje kvaliteta useva i ušteda energije pre svega. Pametna svetla uz pomoć senzora su od velike koriste za uzgoj, jer nam na taj način omogućavaju precizno kombinovanje odgovarajućih svetala u zavisnosti od vrste biljke i dobi u kojoj se nalazi. Svaka biljka zahteva posebnu količinu i intenzitet svetlosti, pa bi na ovaj način mogli da svakoj vrsti obezbedimo idealne uslove koji su joj potrebni i kontrolišemo ih, a samim tim će biljka brže da raste i biće kvalitetnija.

## LITERATURA

Sledeća stvar za unapređenje jeste konstantni monitoring kako od strane senzora tako i od strane kamera postavljenih u sektore. Pomoću njih otvara nam se mogućnost za detektovanjem određenih promena na biljci koje bi nepovoljno uticale na dalji razvoj kao i detektovanje insekata. Jedan od planova je da se na hale u kojima se ovi sistemi nalaze dodatno postave solarni paneli i energetska efikasna stakla kako bi se potrošnja električne energije svela na minimum ako ne i na nulu [16].

Uzgoj određenih sorti igra veoma bitnu ulogu jer različite sorte zahtevaju različito vreme rasta, a neke je lakše, a neke teže uzgajati. Trenutni hit u svetu predstavlja mikrobilje kojem je potrebno izuzetno malo vremena da se razvije do „gotovog proizvoda“, svega par nedelja, dok sadrži nekoliko puta više hranljivih materija, vitamina i minerala [17]. Benefiti koje uzgoj mikrobilja donosi ogledaju se u bržoj i jeftinijoj proizvodnji i značajnom doprinosu zdravoj i pristupačnoj ishrani. Nažalost u našoj zemlji se relativno malo zna o ovim rešenjima dok stručnjaci sa druge strane govore o ovim rešenjima kao o budućnosti poljoprivrede koja je već počela.

Na ovakav način hrana se može proizvoditi svuda u svetu bez obzira na to kakvi su klimatski uslovi ili kvalitet zemljišta. Doprinelo bi se očuvanju životne sredine jer bi se značajno smanjila upotreba đubriva i hemikalija za zaštitu. Uštedele bi se ogromne količine vode i električne energije i smanjila bi se količina otpada nastala tokom proizvodnje što bi dodatno povoljno uticalo na životnu sredinu.

### ZAKLJUČAK

U ovom radu se nalaze samo neke od ideja za unapređenje agrikulture i samog procesa proizvodnje hrane. Kao što se vidi iz istraživanja i statistika svetskih organizacija čekaju nas sve teža vremena koja će zahtevati nove ideje i realizaciju istih kako bi se smanjila glad u svetu i kako bi uopšte uspeali da opstanemo. Najveća primena ovog koncepta trebala bi da bude u našoj zemlji ukoliko hoćemo da sprečimo dalje iseljavanje mladih, kao i zaostajanje za svetskim vodećim zemljama u pogledu ekonomije ali i tehnološkog razvoja. Srbija kao zemlja poljoprivrede i velikog potencijala u ovoj oblasti trebala bi da se okrene modernizaciji iste i da uz primenu Industrije 4.0 i novih tehničkih rešenja dospe u vrh vodećih zemalja u ovim oblastima.

### ZAHVALNICA

Autori bi želeli da se zahvale celoj Katedri za električna merenja na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na velikoj pomoći i podršci pri izradi rada.

- [1] [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)
- [2] <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farming-technology.html>
- [3] <https://www.wisnam.com/smart-farm-project/>
- [4] <https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/environmental-factors-affecting-plant-growth>
- [5] <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/agriculture-4-environment-monitoring>
- [6] <https://arxiv.org/pdf/1511.08458.pdf>
- [7] <https://smart-farms.net/>
- [8] <https://www.luda.farm/support/the-internet-of-farms/>
- [9] <https://www.cropsreview.com/vertical-farms.html>
- [10] <https://www.agritechtomorrow.com/article/2018/05/1-article-for-2018-growing-with-hydroponics-aeroponics-and-aquaponics/10733/>
- [11] <https://permaculture.rs/akvaponika-hidroponika/>
- [12] <https://www.theinertia.com/health/is-the-future-of-farming-indoors/>
- [13] <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1219701/The-DIY-fish-supper-Future-kitchen-grows-vegetables-seafood.html>
- [14] <https://www.indiamart.com/proddetail/aeroponic-cultivation-consultancy-4093042988.html>
- [15] <https://www.poljosfera.rs/agrosfera/agro-teme/povrtarstvo/aerponika-najsavremenija-tehnologija-u-hidroponiji/>
- [16] <https://solarmagazine.com/how-industry-4-0-can-impact-energy/>
- [17] <https://pubag.nal.usda.gov/download/59409/PDF>
- [18] <https://www.scribd.com/book/182542482/The-Vertical-Farm-Feeding-the-World-in-the-21st-Century>
- [19] <https://www.cognex.com/industries/food-and-beverage/product-quality-inspection>
- [20] <https://blynk.io/clients#startup>
- [21] <https://www.innovationhub.es/news/five-benefits-farm-40>
- [22] <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- [23] <https://www.techrepublic.com/article/agriculture-4-0-how-digital-farming-is-revolutionizing-the-future-of-food/>
- [24] <http://ijamtes.org/gallery/185-jan19.pdf>
- [25] Slobodan Antić, "Digitalization in Agriculture: Digital Revolution in Agriculture: Industry 4.0"
- [26] Antle, J.M., Jones, J.W., Rosenzweig, C.E., 2017. Next generation agricultural system data, models and knowledge products: introduction. *Agric. Syst.* 155, 186–190

### ABSTRACT

This paper presents some of the ideas that could contribute to the development of agriculture and food production itself. Agriculture 4.0 represents a turning point in the way plants are grown and the sustainability of the systems and farms themselves. Such systems enable complete automation of the plant growing process, with the possibility of real-time monitoring using a specific application, as well as great resource savings. A system like this would consist of four functional blocks: block with plants, management block, control block and cloud block.

### Concept of industry 4.0 in agriculture – agriculture 4.0

Đorđe Polovina, Aleksandar Kostovski, Igor Popadić, Igor Milijašević, Marjan Urekar

# Merenje UV zračenja i primena za biomedicinu, u konceptu Industrije 4.0

Igor Milijašević, Igor Popadić, Aleksandar Kostovski, Đorđe Polovina, Marjan Urekar,  
Member, IEEE

**Apstrakt** – U ovom radu su predstavljena, analizirana i opisana rešenja za primenu UV senzora u oblasti biomedicine sa usmerenjem na Industriju 4.0. Upoređena su postojeća rešenja sa novim idejama i primenama.

**Ključne reči** – UV zračenje, merenje UV zračenja, biomedicina, UV senzori.

## I. UVOD

Elektromagnetno zračenje ili „svetlo“ je zajednički naziv za sve oblike energije koje se kreću brzinom svetlosti. U spektru postoje različite „vrste svetlosti“, zavisno od njihove energije koja je povezana sa talasnom dužinom (frekvencijom) svetlosti: što je talasna dužina manja, to je veća njena energija. Ljudsko oko može da registruje samo jedan deo spektra, nazvan „vidljivom svetlošću“: između 400 i 780 nm. Talasna dužina svetlosti određuje boju: 400 nm je plava, 700 nm je crvena [1].

Deo spektra, levo od plave boje, između 200 i 400 nm nalazi se ultraljubičasto svetlo (UV). UV se obično deli na tri komponente, sa povećanjem energije: UV-A: 320-400 nm, UV-B: 290-320 nm i UV-C: 200-290 nm (Slika 1). Najopasniji oblik je UV-B jer jedan deo dostiže nivo zemlje, gde može uticati na zdravlje ljudi (npr. izazvati određene oblike raka kože) i oštetiti DNK flore i faune [1].

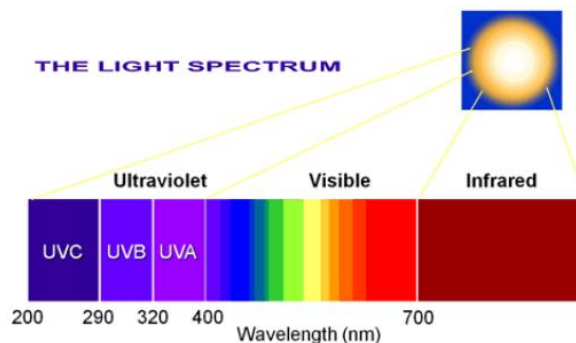
Igor Milijašević – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorm994@gmail.com).

Igor Popadić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: igorpop96@hotmail.com).

Aleksandar Kostovski – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: kostovski.aleksandar12@yahoo.com).

Đorđe Polovina – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: polovina.djordje@yahoo.com).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs)



Sl. 1. Prikaz svetlosnog spektra [2].

## II. KOLIKO ULTRALJUBIČASTOG (UV-B) ZRAČENJA DOBIJAMO?

Naučnici određuju izlaganje UV-B na površini zemlje na dva načina. Prvi način je direktno merenje pomoću instrumenata na zemlji. Ovi prizemni instrumenti mogu nam reći tačnu količinu UV-B zračenja koja doseže površinu na tačnim lokacijama. Pošto je broj ovih prizemnih instrumenata ograničen troškovima i nepristupačnošću mnogih lokacija širom sveta i zato što količina UV-B zračenja može značajno da varira od jedne do druge lokacije, mi zavisimo od dugoročnih satelitskih svetskih merenja UV-B izloženosti [3].

Drugi način za određivanje UV-B zračenja na površini je izrada procena zasnovanih na satelitskim merenjima ozona, oblaka i drugih parametara. Takve procene uzimaju u obzir promene u količini zračenja koja dolazi od sunca do vrha atmosfere. Ali postavlja se pitanje, što i jeste tema rada, da li svaki čovek u svakom trenutku može da ima informaciju o UV zračenju na lokaciji gde se nalazi. Odgovor je može! Ali se nameću druga pitanja, koliko precizno odnosno sa kolikom greškom merenja i da li ti podaci mogu da mu koriste.

Ideja je nastala za konkretan slučaj, a postoji ih mnogo više. Radi se o zaštiti kupaca na plažama, i dobijanju validnih vrednosti u realnom vremenu.



### III. ZAŠTO JE BITNO DA SE MERI UV ZRAČENJE?

Sunčeva svetlost je glavni izvor UV zračenja. Sunce je obično najjače između 10:00 i 16:00, mada lokacija na udaljenosti od ekvatora, nadmorske visine, oblaka i površinskih refleksija takođe može odrediti gde i kada je sunce najjače. Što nam govori da ne može da se odredi u kom periodu i koliko dugo je bezbedno biti direktno izložen sunčevim zracima. UV zračenje od sunca može se blokirati odećom i kremom za sunčanje, ali potrebno je imati dostupnu informaciju o trenutnom zračenju na mestu gde se nalazimo [4].

### IV. POSLEDICE AKO SE NE VODI RAČUNA O DUŽINI IZLOŽENOSTI

Dokazano je da dve vrste UV zračenja doprinose riziku od raka kože: UV-A koje ima veću talasnu dužinu i povezano je sa starenjem kože, UV-B koje ima kraću talasnu dužinu u odnosu na UV-A ali je povezano sa sagorevanjem kože, dok treća vrsta UV zračenja UV-C ne dopire do zemlje. Iako se UV-A i UV-B zraci razlikuju po tome kako utiču na kožu, oboje čine štetu. Nezaštićeno izlaganje UV-A i UV-B zračenju oštećuje DNK u ćelijama kože, proizvodeći genetska oštećenja ili mutacije (Slika 2), koje mogu dovesti do raka kože (kao i prevremenog starenja). Ovi zraci takođe mogu izazvati oštećenja oka, uključujući kataraktu i karcinom očnih kapaka [5].



Sl. 2. Prikaz primera oštećenja kože usled prevelikog izlaganja UV zračenju [6].

Telo proizvodi vitamin D kada je koža direktno izložena suncu, a većina ljudi zadovoljava svoje potrebe za vitaminom D na ovaj način. Koža koja je izložena suncu u zatvorenom prostoru kroz prozor neće proizvesti vitamin D. Oblačno vreme, senka i tamna – obojena koža takođe smanjuju količinu vitamina D koju koža proizvodi. Vitamin D podstiče resorpciju kalcijuma i fosfora iz creva i omogućava njihovo deponovanje u kostima. Takođe je potreban za rast kostiju i oporavak kostiju od osteoblasta i osteoklasta. Bez dovoljnog vitamina D, kosti mogu postati tanke i krhke. Dovoljno vitamina D sprečava rahitis kod dece i osteomalaciju kod odraslih. Prekomerno izlaganje suncu ne uzrokuje trovanje vitaminom D, jer telo ograničava količinu ovog vitamina koji proizvodi, što je još jedan od dodatnih motiva da bezbedno provodimo što više vremena na suncu [7].

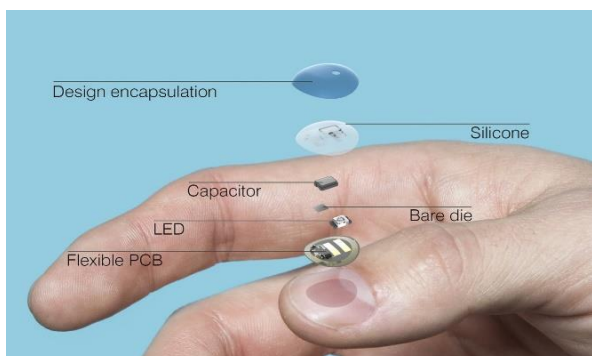
### V. OPIS TRENUTNIH REŠENJA NA TRŽIŠTU

Jedno od vodećih rešenja na tržištu predstavila je kompanija L'Oreal sa svojim proizvodom "L'Oreal UV Sense". Reč je o minijaturnom uređaju, dužine 9mm i svega 2mm debljine, koji može da se prikači na nokat prsta ruke/noge, sat, odevni predmet itd (Slika 3).

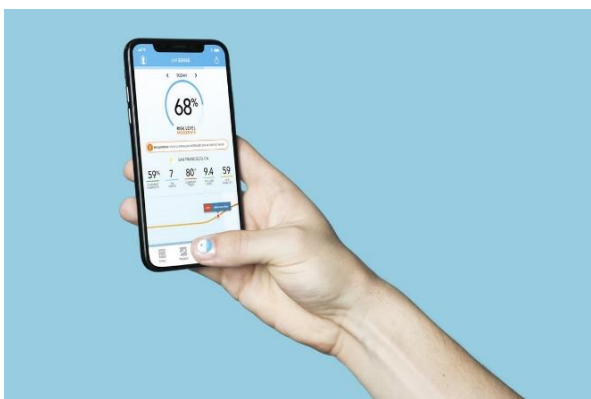


Sl. 3. Prikaz "L'Oreal UV Sense" uređaja [8].

Uređaj sadrži kondenzator koji može da skladišti podatke 3 meseca, silicijumska pločica, led i fleksibilni PCB senzor (Slika 4) koji u ovom slučaju beleži UV zračenje. Informacije se šalju preko NFC (Near Field Communication) do mobilnog telefona sa tom opcijom, gde očitavamo podatke u realnom vremenu (Slika 5) [9].



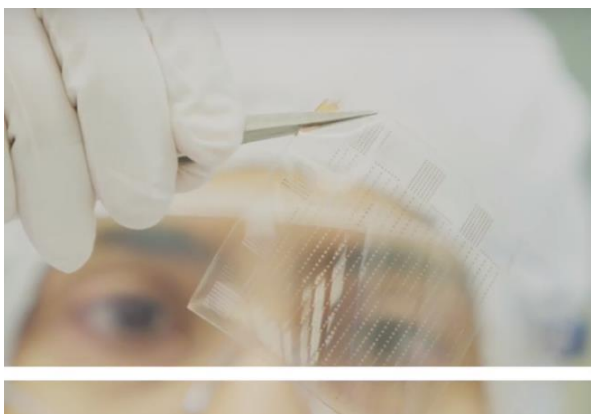
Sl. 4. Delovi "L'Oreal UV Sense" uređaja [9].



Sl. 5. Očitavanje podataka sa "L'Oreal UV Sense" uređaja [9].

Uređaj je još u fazi ispitivanja, a predviđena cena na tržištu je oko \$50.

Još jedan uređaj koji je vredan pomena, a koji je još u fazi razvijanja je "Wearable UV sensor" (Slika 6) ravija se na RMIT, Univerzitetu u Melburnu, Australija [10].



Sl. 6. Prikaz "Wearable UV sensor" [10].

"Wearable UV sensor" je providan, tanak i rastegljiv poput ljudske kože, a u strukturi sadrži senzore i mikroelektroniku. Može da se prilepi na kožu

i da šalje informacije na mobilni uređaj kada smo previše izloženi suncu. Zbog svoje fleksibilnosti pogodan je kada se bavimo raznim aktivnostima. Izrađen je od kombinacije dva materijala krhki, stakleni oksidi koji se nalaze u svakodnevnoj elektronici poput pametnih telefona i mekane silikonske gume, poput kontaktnih sočiva. Sledeći korak u istraživanju je da fleksibilna elektronika postane još pametnija, da može da misli, oponaša i adaptira se kao ljudski mozak [10].

## VI. PREDLOG REŠENJA I NASTAVAK ISTRAŽIVANJA

Iz opisa ova dva uređaja, a koji predstavljaju poslednju reč pametne elektronike, mogli smo da zaključimo da je akcenat istraživanja i unapređivanja tehnologije u tome da se uređaj tj. senzor i prateća elektronika što više minimizuju i budu kompatibilne sa čovekom i njegovim aktivnostima. Istražujući UV zračenje lako se dolazi do činjenice da je približno, odnosno u velikoj meri UV zračenje jednako u krugu od 30-40m odnosno uzmimo konkretan primer, nije velika razlika u UV zračenju ako se nalazimo u vodi ili ako stojimo par metara dalje na samoj plaži (napomena: razlika svakako postoji, ali je zanemarljiva za celokupno vremensko izlaganje suncu tokom dana, kod prosečnog čoveka).

Ono što je ideja, a u startu se razlikuje od navedenih uređaja po smeru istraživanja uzimajući u obzir cene ovih uređaja da je mnogo bitnije da na jednoj plaži pored mora, postoji 30 senzora koji su prikačeni na suncobranima i mere UV zračenje tokom celog dana nego da primera radi 2000 ljudi poseduje senzor koji može da se nosi i naravno izgubi u svakom trenutku. Ideja je da se istraživanja baziraju na tehnologijama koje bi te senzore učinili pristupačnijim ljudima što se tiče njihove cene, pa tako i vlasnicima plaža sa čime bi se opet naravno privukli turisti.

Dovoljno je da uređaj u datom trenutku ispisuje na led ekranu, i to po kategorijama za decu, odrasle i starije osobe, da li je poželjno biti izložen i ako jeste koliko vremenski dugo se preporučuje. To su neke od karakteristika koje su sasvim dovoljne za komercijalnu upotrebu senzora na plažama. Jer će se tako obuhvatiti mnogo veći broj ljudi koji će imati informaciju o trenutnoj izloženosti suncu, naspram senzora za pojedinačnu upotrebu.

Ono što bi na globalnom nivou mogao doprineti ovakav vid uređaja, jeste online pristup prenosivih uređaja informacijama sa senzora u realnom vremenu, takođe prikupljanje i upoređivanje svih podataka na godišnjem nivou u cilju praćenja klimatskih promena, gde bi se stvorila velika baza podataka o UV zračenju u različitim državama i kontinentima.

## VII. ZAKLJUČAK

Zaključak je da tehnologija napreduje velikom brzinom, i moguće su stvari koje nisu bile zamislive nekoliko godina unazad. Ali, u toj brzini razvoja tehnologije ljudi nisu stigli da pravilno i potpuno iskoriste ono što već postoji. Tako na primer u ovom slučaju, zaključak je, da već sa postojećom tehnologijom senzora za UV zračenje možemo uz pravi smer istraživanja, da učinimo dostupnim vredne informacije velikoj populaciji ljudi i tako sprečimo nastanak raznih zdravstvenih problema.

## LITERATURA

- [1] *Temis*. (2017, July 24). Retrieved July 18, 2020, from UV radiation monitoring: UV index and UV dose: <http://www.temis.nl/uvradiation/info/index.html>
- [2] Columbia, B. (2020, July 19). *gov.bc.ca*. (G. o. Columbia, Producer, & Province of British Columbia.) Retrieved from [https://www2.gov.bc.ca/gov/content/health/keeping-bc-healthy-safe/radiation/ultraviolet-uv-radiation?bcgovtm=20200319\\_GCPE\\_AM\\_COVID\\_5\\_NOTIFICATION\\_GOVTOGETHER\\_BCGOV\\_EN\\_BC\\_NOTIFICATION](https://www2.gov.bc.ca/gov/content/health/keeping-bc-healthy-safe/radiation/ultraviolet-uv-radiation?bcgovtm=20200319_GCPE_AM_COVID_5_NOTIFICATION_GOVTOGETHER_BCGOV_EN_BC_NOTIFICATION)
- [3] Przyborski, P. (2001, September 06). *Earth observatory*. Retrieved from [https://earthobservatory.nasa.gov/features/UVB/uvb\\_radiation4.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/UVB/uvb_radiation4.php)
- [4] Peck, M. (2018, August 02). *City of Hope*. Retrieved from <https://www.cityofhope.org/living-well/what-is-uv-radiation-and-why-is-it-harmful>
- [5] Chien, A., & Jacobe, H. (2019, June). *skincancer.org*. Retrieved from <https://www.skincancer.org/risk-factors/uv-radiation/>
- [6] *beoderma.com/*. (2017). Retrieved from <https://www.beoderma.com/zastitite-se-od-sunca/>
- [7] *immuno-systems.rs*. (2020). Retrieved from <https://immuno-systems.rs/blog/vitamin-d-i-njegov-znacaj>
- [8] Langley, H. (2018, January 12). *wareable.com*. Retrieved from <https://www.wareable.com/health-and-wellbeing/loreal-uv-sense-review>
- [9] Stolyar, B. (2018, June 23). *digitaltrends.com*. Retrieved from <https://www.digitaltrends.com/mobile/loreal-technology-incubator-uv-sense-wearable/>
- [10] University, R. (2019, April 28). *youtube.com*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=xVW0nDsxZbg>

# SISTEM ZA NADZOR I KONTROLU USLOVA U PLASTENIKU ZASNOVAN NA MIKROPROCESORSKIM MERNIM MODULIMA

Milan Šaš, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

**Apstrakt**—Ovaj rad prikazuje sistem za nadzor i upravljanje uslovima u plasteniku ili stakleniku. Osnovni delovi ovog sistema su Raspberry Pi 3 i Easy PIC Pro V7 razvojni sistem sa mikrokontrolerom PIC18F8K22. Kao senzore sistem koristi click pločice Illuminance, DHT22 i Air Quality 2. Kao protokoli koriste se I2C, One-Wire i UART za komunikaciju. Na RPi3 se nalazi GUI aplikacija, realizovana u Python programskom jeziku, koja komunicira sa mikrokontrolerom, prikuplja merene vrednosti, obrađuje i prikazuje te vrednosti i smešta ih u MongoDB bazu podataka. Dodatno, aplikacija omogućava upravljanje vodenom pompom, ventilima, grejalicom, ovlaživačem, svetlom i regulacijom CO<sub>2</sub>. Pored aplikacije na RPi3 nalazi se i Flask server koji omogućava online pristup merenim podacima.

**Ključne reči**—Mikroprocesorski merno-akvizicioni sistemi; Nadzor; Upravljanje; Raspberry Pi 3; Python; PyQt5; MongoDB; Flask; GUI; Senzori.

## I. UVOD

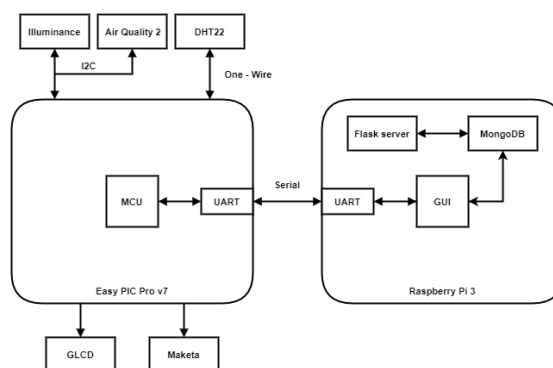
U današnjem vremenu možemo videti kako tehnologija sve više prodire u ljudske živote i nalazi primenu u skoro svim oblastima rada. Polako ali sigurno tehnologija pronalazi svoj put i primenu u poljoprivredi i uzgoju raznih povrtarskih kultura. Trenutno najveći doprinos tehnologija daje u povećanju kvaliteta i ukupnom prinosu kultura koje se gaje. Svakom poljoprivredniku ili proizvođaču koji ima plastenik ili staklenik kvalitet finalnog proizvoda i količina u kojoj se proizvede su dva najbitnija parametra u daljem planiranju u razvoju. Ovaj sistem je razvijen sa ciljem da pomogne krajnjem korisniku u dostizanju željenog kvaliteta i kvantiteta ciljanog proizvoda tako što će obezbediti kontrolu i postizanje optimalnih uslova u kojima se kulture gaje. U takvim uslovima kulture postižu visok kvantitet i kvalitet. Velika prednost ovog sistema je što objedinjuje sve informacije na jednom mestu i pojednostavljuje kontrolu uređaja koji se nalaze u objektu. Drugim rečima, ovim sistemom su objedinjeni različiti sistemi koji bi funkcionisali nezavisno,

Milan Šaš - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: milan.sas.97@gmail.com)

Đorđe Novaković - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: djordjenovakovic@uns.ac.rs)

kao što su sistemi za navodnjavanje, grejanje, osvetljenje, regulaciju vlažnosti i nivoa CO<sub>2</sub>. Krajni korisnik primenom ovog sistema dobija centralizovano upravljanje celim objektom sa smanjenim troškovima implementacije.

Sistem je razvijen u sklopu više predmeta na Katedri za električna merenja na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu [1]. Grubo se može podeliti na dve celine gde bi prvi deo bilo razvojno okruženje Easy PIC Pro 7 [2] sa mikrokontrolerom PIC18F8K22 [3] i senzorima koji se nalaze na click pločicama Illuminance [4], DHT22 [5] i Air Quality 2 [6] koji mere nivo osvetljenja, temperaturu, vlažnosti vazduha i nivo CO<sub>2</sub>, što su neke od glavnih veličina koje se prate u plasteniku ili stakleniku. Drugi deo sistema čini Raspberry Pi 3 [7] na kom se nalazi GUI (Graphical User Interface) aplikacija realizovana u Python [8] programskom jeziku pomoću biblioteke PyQt5 [9] i Qt Designer-a [10] za dizajn samog izgleda. Pored aplikacije, na RPi3 nalazi se Python skripta koja predstavlja server za online pristup merenim veličinama. Na kraju, kako bi sačuvali sve merene vrednosti koristi se MongoDB [11] baza podataka kojoj pristupaju aplikacija koja upisuje podatke i server koji pristupa podacima. Na slici 1. je data blok šema celog projekta.



Sl. 1 Blok šema projekta

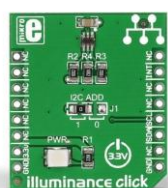
Sistem funkcioniše tako što senzori očitane vrednosti šalju mikrokontroleru na obradu preko protokola. Mikrokontroler obrađene podatke šalje aplikaciji putem serijske komunikacije. Pristizanjem svakog novog podatka vrši se osvežavanje grafika, provera stanja alarma i upisivanje u bazu podataka. Dodatno, postoje opcije za regulaciju uređaja.

## II. SENZORI I RAZVOJNO OKRUŽENJE

Kao što je već rečeno, kao senzori se koriste click pločice Illuminance, DHT22 i Air Quality 2 koje je proizvela firma Mikroelektronika [12].

### A. Illuminance

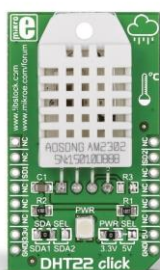
Na pločici Illuminance se nalazi TSL2561 [13] konverter koji se sastoji od dve foto-diode od kojih se prva koristi za ceo spektar, a druga samo za infracrveni spektar. Jednostavnim oduzimanjem dve veličine dobijemo čoveku vidljiv spektar svetlosti. Komunikacija se ostvaruje preko I2C [14] protokola a napaja se sa 3,3 V. U programu mikrokontrolera opseg merenja je ograničen pa tako možemo da dobijemo informaciju o osvetljenju koje je između 0 lux i 1500 lux sa preciznošću od 0,1 lux. Na slici 2. se može videti izgled pločice.



Sl. 2 Illuminance click – izgled [4]

### B. DHT22

Na pločici DHT22 nalazi se istoimeni senzor koji ima široku upotrebu kako u industriji tako i u komercijalnim primenama. Senzor se koristi za merenje temperature i vlažnosti vazduha. Opseg merene temperature je od -40 °C do +80 °C sa tačnošću od 0,5 °C a opseg merene vlažnosti vazduha ide od 0 % do 100 % sa tačnošću od 2%. Pošto je upotreba sistema u plasteniku možemo da ograničimo opseg temperature od 0 °C do 60 °C dok vlažnost vazduha ostaje nepromenjena. Za komunikaciju sa mikrokontrolerom koristi se One-Wire [15] protokol kroz koji se šalju dva celobrojna podatka koje je potrebno preračunati. Podatak dolazi u XXX (gde je X jedna cifra) formatu a vrednosti koja se meri zapravo iznosi XX,X. Ovo važi za obe merene vrednosti. Sama pločica može da se napaja sa 3,3 V ili 5 V. Na slici 3. se nalazi izgled DHT22 pločice.



Sl. 3. DHT22 click – izgled [5]

### C. Air Quality 2

Na pločici Air Quality 2 nalazi se iAQ-Core [16] senzor koji meri nivo ukupnih isparljivih organskih jedinjenja (TVOC) [17] i nivo CO<sub>2</sub>. Za našu primenu koristi se samo informacija o nivou CO<sub>2</sub> koji se može meriti u opsegu od 450 ppm do 4000 ppm. Posle inicijalizacije, samom senzoru je potrebno oko pet minuta za prvo očitavanje. Komunikacija sa mikrokontrolerom se vrši pomoću I2C protokola a pločica može da se napaja sa 3,3 V ili 5 V. Takođe, velika prednost ovog senzora je što ne zahteva dodatnu kalibraciju pa može da radi viže godina bez podešavanja a ima i veoma nisku potrošnju. Na slici 4. se nalazi izgled Air Quality 2 pločice.



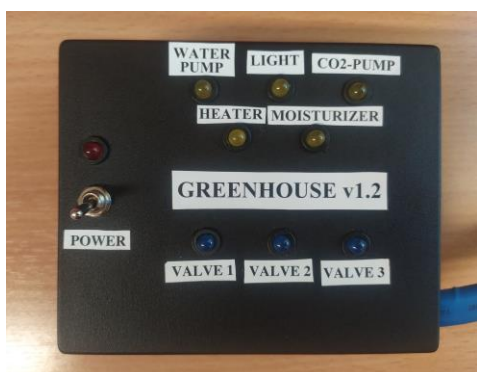
Sl. 4 Air Quality 2 – izgled [6]

Kao razvojno okruženje koristi se Easy PIC Pro v7 razvojno okruženje koje je, takođe, razvila Mikroelektronika. U srcu ploče se nalazi PIC18F8K22 mikrokontroler koji je isprogramiran da komunicira sa senzorima preko I2C i One-Wire protokola, obrađuje očitane vrednosti i šalje ih preko UART protokola [18] aplikaciji. Sami senzori se nalaze u Mikrobus konektorima [19] pa su povezivanje i komunikacija olakšani. Takođe, jedan port na mikrokontroleru je postavljen kao izlazni i koristi se za upravljanje pumpom za vodu, ventilima, svetlom i pumpom za CO<sub>2</sub>. Dodatno se koristi i GLCD ekran [20] rezolucije 128x64 na kom se ispisuju poslednje očitane vrednosti. Na slici 5. dat je izgled razvojnog okruženja sa priključenim pločicama.



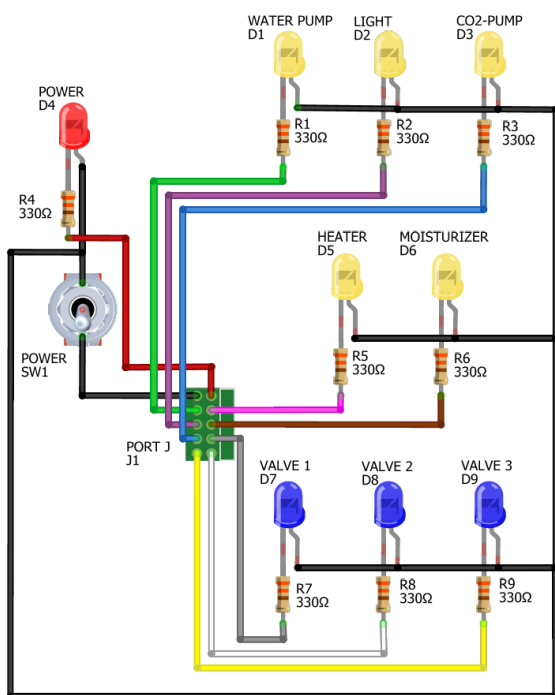
Sl. 5. Razvojno okruženje – izgled

Kako bi simulirali uređaje koji se kontrolišu programom napravljena je maketa na kojoj svaka LED predstavlja stanje jednog uređaja koji može biti ON ili OFF. Kontrola stanja se vrši iz GUI aplikacije. Na slici 6. je dat izgled makete:



Sl. 6 Maketa - izgled

Na slici 7. je data šema makete.



Sl. 7 Maketa – šema

### III. RASPBERRY PI 3 I PYTHON

Kako bi minimizovali sistem a opet omogućili korisniku da nesmetano koristi sve opcije koje aplikacija pruža projekat je realizovan na Raspberry Pi 3 modulu koji poseduje 1GB RAM memorije i Broadcom BCM2837 [21] procesor. Kao operativni sistem koristi se Raspbian Buster [22] koji je baziran na Linux [23] operativnom sistemu. Operativni sistem, kao i fajlovi i potrebne biblioteke se nalaze na SD kartici od 16 GB. Nisu primećene anomalije u toku izvršavanja programa usled ograničenih resursa. Prednosti

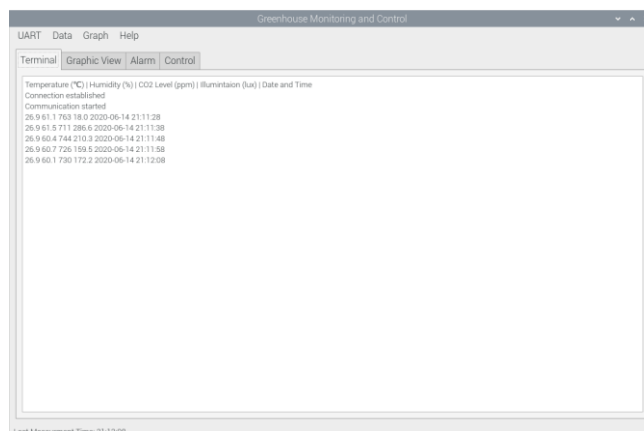
koje dobijemo korišćenjem RPi3 platforme su mali prostor koji sam sistem zauzima, određeni nivo samostalnosti i autonomije, drugim rečima ne treba nam laptop ili drugi računar za praćenje procesa kao i mala potrošnja energije. Kao što je već rečeno, na RPi3 se nalazi GUI aplikacija koja vrši komunikaciju sa mikrokontrolerom preko UART-a, vrši obradu primljenih podataka, prikazuje podatke na više načina, smešta podatke u bazu podataka i, po potrebi korisnika, vrši upravljanje uređajima koji se nalaze u procesu.

Kako bi omogućili što lakši rad i efikasno iskoristili resurse koji se nalaze na RPi3 u aplikaciji je napravljeno multitreading izvršavanje procesa i zadataka. Dodavanjem multitreading izvršavanja ceo proces obrade podataka je podeljen u logičke celine. Put podataka kroz aplikaciju počinje na očitavanju podataka sa serijskog porta. Podatak pristize u formi stringa sa četiri vrednosti koje su odvojene razmakom. Takvoj formi podataka doda se datum i vreme pristizanja podatka, što formira novi string koji se emituje kao podatak u sledeću programsku nit koja za zadatak ima da taj novi string parsira u formu python rečnika kako bi lakše rukovali sa podacima. Završetkom parsiranja podatak se emituje u dalju obradu u funkcije za osvežavanje podataka na grafiku, proveru alarma, ispisivanje u Terminalu i u programsku nit za upisivanje u bazu podataka. Ovakvom obradom podataka omogućeno je osvežavanje samog prozora nezavisno od toga da li podaci pristižu ili ne. Ukoliko ne bi bilo multitreading obrade prozor ne bi odgovarao na promene tokom obrade podataka pa bi posle određenog broja pokušaja promena samog prozora aplikacija prestala sa radom.

Kako bi korisnik mogao da prati proces koji aplikacija nadzire, prikaz je podeljen u četiri celine, odnosno taba. Svaka celina prikazuje podatke na sebi svojstveni način pa tako imamo tabove Terminal, Graph View, Alarm i Control.

#### A. Terminal

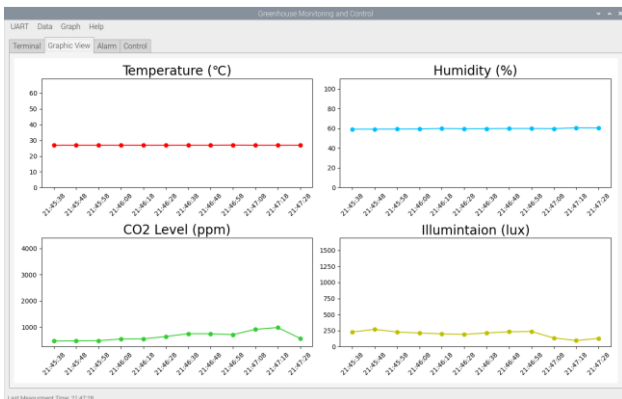
Prvo što korisnik vidi kada pokrene aplikaciju jeste Terminal tab. Ovde korisnik može da prati sve poruke koje aplikacija može da prikaže, a to su status komunikacije, pristigli podaci i poruke o postavljenim stanjima uređaja u procesu. Na slici 8. je prikazan izgled Terminala.



Sl. 8 Terminal – izgled

## B. Graph View

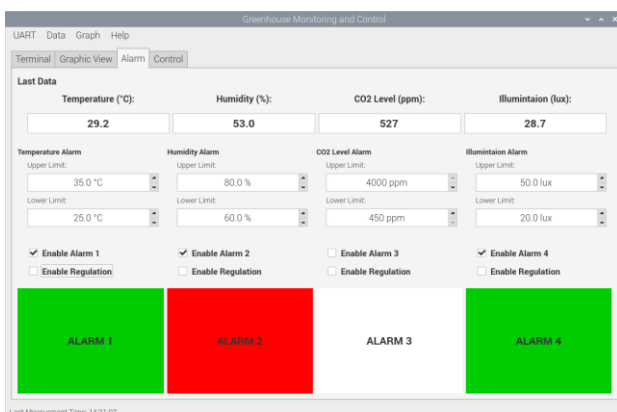
U ovoj celini korisnik može da prati grafički prikaz merenih podataka. Ceo tab je podeljen na četiri grafika gde svaki grafik prikazuje jednu merenu veličinu. Na svakoj x osi se nalazi vreme a grafici prikazuju poslednjih 12 merenih vrednosti. Na slici 9. je prikazan izgled Graph View taba.



Sl. 9. Graph View - izgled

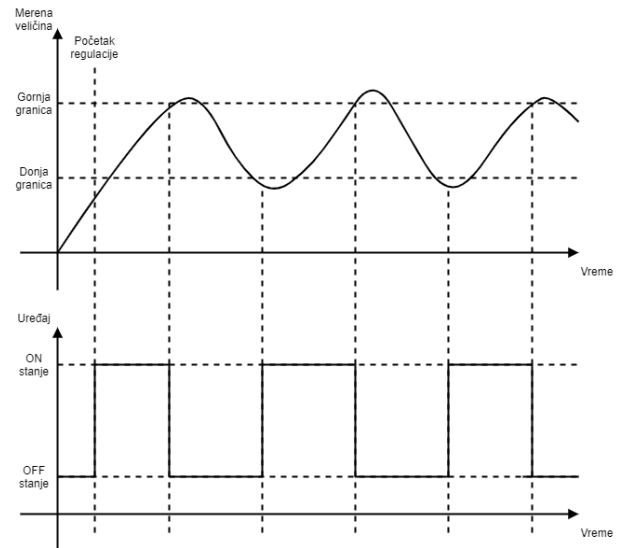
## C. Alarm

Ova celina služi za postavljanje i praćenje statusa alarma za svaku merenu veličinu. Svaka veličina ima svoju celinu u kojoj se prikazuje poslednja merena vrednost kao i podešene granice i status alarma. Podešavanje granica alarma se vrši tako što se u predefinisana polja unesu željene granice za svaku veličinu. Vrednosti u poljima su postavljene na najmanju odnosno najveću vrednost za veličinu koju merimo. Nakon unosa podataka potrebno je aktivirati alarm potvrdom u polje Enable Alarm. Aktiviranjem alarma i pristizanjem novog podatka, polje Alarm će promeniti boju. Ukoliko je polje zelene boje merena veličina je unutar zadatih granica, ukoliko je crvene boje merena veličina je van zadatih granica, a ukoliko alarm nije aktivan polje je bele boje. Dodatno, na grafiku merene veličine, za koju je postavljen alarm, će se pojaviti dve horizontalne linije koje predstavljaju gornju i donju granicu alarma kako bi korisnik mogao grafički, u vremenu, da prati ponašanje merene veličine. Na slici 10. prikazan je izgled Alarm taba.



Sl. 10. Alarm - izgled

Takođe, u tabu za alarme postoji i opcija za regulaciju veličine. Tip upravljanja koji se ovde primenjuje je histerezisno upravljanje a kao granice histerezisa uzimaju se vrednosti gornje i donje granice alarma. Upravljanje se započinje potvrdom na polje Enable Regulation i od tog trenutka pa nadalje upravljanje uređajima preuzima algoritam. Na slici 11. se nalazi dijagram po kome se vrši regulacija.

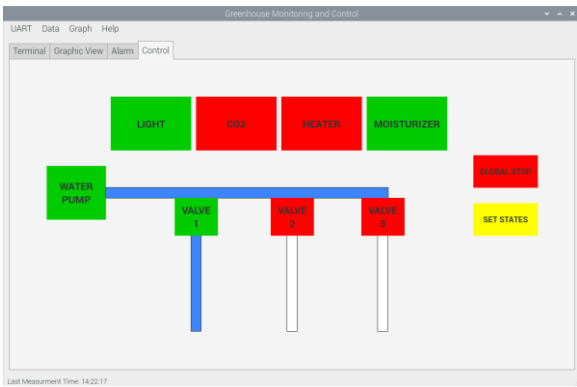


Sl. 11 Histerezisno upravljanje – dijagram

Kako bi uređaj prešao iz OFF stanja u ON stanje potrebno je da merena veličina ima vrednosti koje su ispod donje granice dva puta uzastopno kako bi izbacili mogućnost da uređaj pređe u ON stanje zbog greške u merenju koja se desila u trenutku merenja. Kao primer ove greške možemo da uzmemo slučaj kada, u trenutku merenja nivoa osvetljenja, radnik u objektu prođe pored senzora. pa sistem dobije informaciju da je nivo osvetljenja manji. Ova i slične greške mogu da se otklone pravilnim postavljanjem senzora u objektu.

## D. Control

U poslednjoj celini nalazi se interaktivni grafički prikaz uređaja u procesu. Svi uređaji su stavljeni u početno stanje, odnosno svi su u neaktivnom stanju, što se i potvrđuje crvenom bojom svakog elementa. Ukoliko korisnik želi da uključi neki uređaj ili uređaje potrebno je da klikne na taj uređaj i on će da promeni boju u zelenu, što znači da je program spreman da promeni stanje zadatog uređaja. Kada korisnik završi sa izborom stanja za svaki element u procesu, bilo da je to ON ili OFF stanje, potrebno je da pritisne opciju SET STATES koja tada prosleđuje sva zadata stanja mikrokontroleru koji, na osnovu primljenih podataka, postavlja stanja na svom izlazu. Stanja svake komponente možemo da pratimo na maketi. Na slici 12. prikazan je izgled Control taba koji je aktivirao neke elemente.

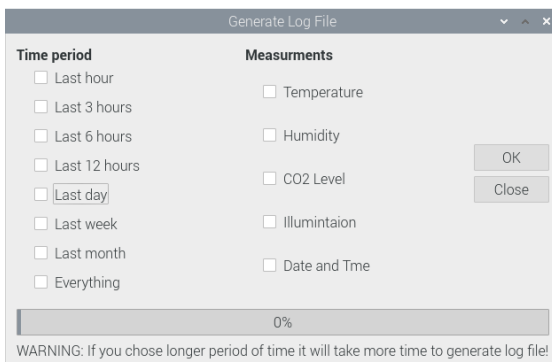


Sl. 12. Control - izgled

Ukoliko korisnik želi da sve uređaje momentalno zaustavi to može da odradi opcijom GLOBAL STOP. Pritiskom na tu opciju šalje se naredba mikrokontroleru da ugasi sve uređaje. Ako korisnik greškom uključi pumpu a ne otvori ni jedan ventil, aplikacija će izbaciti upozorenje i neće upaliti pumpu.

### E. Padajući meni

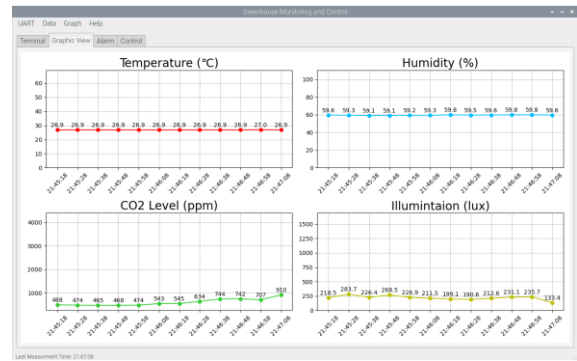
U meniju UART nalaze se opcije za pokretanje komunikacije. Meni Data sadrži opcije za manipulaciju podataka u bazi, odnosno omogućava kreiranje log datoteke u .txt formatu, brisanje čitave baze podataka i brisanje poruka u Terminalu. Ukoliko korisnik odabere opciju za log podataka otvara se novi prozor koji daje opcije za kreiranje log datoteke. Na slici 13. dat je izgled prozora za kreiranje log fajla.



Sl. 13 Prozor za generisanje log datoteke – izgled

Korisnik može da odabere jednu od opcija za vremenski opseg podataka koji se loguju kao i podatke koje želi da loguje. Korisniku je omogućeno da prati progres ovog procesa u progres baru koji se nalazi u donjem delu prozora. Proces će, na kraju fajla, upisati vreme koje je bilo potrebno da se napravi ovaj fajl. Velika prednost je što se ovaj proces odvija paralelno i nezavisno od glavnog programa i ne narušava njegov rad i komunikaciju sa mikrokontrolerom. Po završetku procesa prozor se sam zatvara.

U meniju Graph nalaze se opcije za postavljanje mreže na graficima i postavljanje vrednosti svakog podatka na graficima. Kada se primene obe opcije menja se i izgled grafika, koji je dat na slici 14.



Sl. 14. Grafički prikaz podataka sa opcijama Grid i Show values

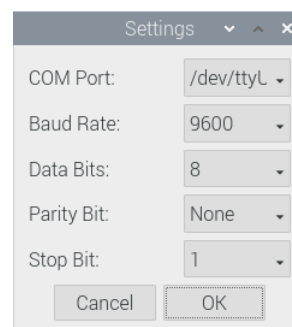
U poslednjem meniju Help nalazi se opcija About koja korisniku daje informacije o sistemu i senzorima koji se koriste. Izgled About prozora je dat na slici 15.



Sl. 15. About prozor – izgled

## IV. POKRETANJE APLIKACIJE I OTVARANJE KOMUNIKACIJE

Korisnik može da pokrene aplikaciju na dva načina, kao .exe ili kao skriptu iz konzole. Prvo je potrebno ostvariti komunikaciju sa mikrokontrolerom. Na slici 16. prikazan je izgled prozora za podešavanje opcija za komunikaciju.



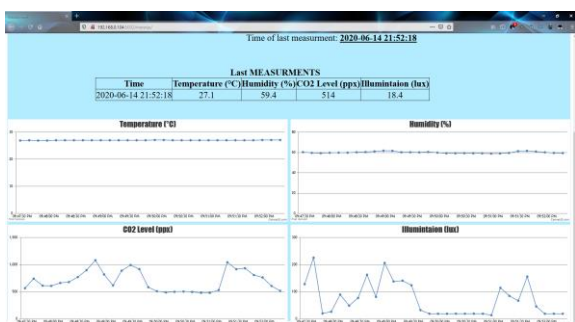
Sl. 16. Podešavanje komunikacije

Kada korisnik odluči da izađe iz programa pokreće se automatsko kreiranje log datoteke u koju se smeštaju svi podaci iz baze podataka. Datoteka nosi ime datuma i vremena kreiranja a nalazi se u istom folderu kao i aplikacija. Ponovnim pokretanjem aplikacije prazni se cela baza podataka pa korisnik, kada pokrene komunikaciju, upisuje



podatke od početka, odnosno pred sobom ima potpuno praznu bazu podataka koja je spremna za upis novi podataka.

Takođe, korisniku je omogućen pristup podacima o merenim veličinama preko Flask servera [24] koji se nalazi na RPi3. Jedini uslov za pristup je da se korisnik u RPi3 nalaze u istoj lokalnoj mreži. Sve što korisnik treba da uradi jeste da otvori bilo koji pretraživač i da unese sledeću IP adresu: 192.168.0.104:5002 (IP adresa može da varira u zavisnosti od mreže u kojoj se RPi3 nađe). Kada se korisnik poveže na server, prvo što se prikaže je Home stranica. Kako bi korisnik video podatke, potrebno je da pređe na stranicu Measurement i pritisne dugme Generate Measurement. Nakon toga šalje se upit bazi podataka koja šalje najsvježije podatke. Od tog trenutka pa na dalje prikazani podaci se osvežavaju na svakih deset sekundi. Izgled stranice sa podacima je dat na slici 17.



Sl. 17 Measurement stranica – izgled

## V. ZAKLJUČAK

Kao zaključak možemo da kažemo da je projekat uspešno realizovan i da može da nađe primenu u predviđenoj oblasti rada. Dalji koraci podrazumevaju dodavanje opcija kojima korisnik može da kontroliše izgled grafika, izbor merenih veličina, dodavanje novih veličina, izmena i prilagođavanje mikrokontrolera, primena Zigbee protokola za umrežavanje svih mernih tačaka i prilagođavanje aplikacije svim izmenama. Takođe, dalji koraci podrazumevaju izradu Android i iOS aplikacije i dodavanje opcija za kontrolu uređaja koji se nalaze u objektu u Web server kako bi korisnik mogao da upravlja uređajima online.

## ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru dr Platon Sovilju na pruženoj podršci u stvaranju i razrađivanju ideje za ovaj projekat kao i Katedri za električna merenja Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu i firmi Mikroelektronika na pruženoj opremi za realizovanje ovog projekta.

## LITERATURA

- [1] K.E.L.M, [Online], Dostupno: <http://kelm.ftn.uns.ac.rs>
- [2] Mikroelektronika, „Easy PIC Pro 7“ [Online]. Dostupno: <https://www.mikroe.com/easypic-pro-v7>.
- [3] Microchip, „PIC18F8K22“ [Online]. Dostupno: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F8K22>
- [4] Mikroelektronika, „Illuminance click“ [Online]. Dostupno: <https://www.mikroe.com/illumiance-click>

- [5] Mikroelektronika, „DHT22“ [Online]. Dostupno: <https://www.mikroe.com/dht22-click>
- [6] Mikroelektronika, „Air Quality 2“ [Online]. Dostupno: <https://www.mikroe.com/air-quality-2-click>
- [7] Raspberry Pi Foundation, „Raspberry Pi 3 Model B“ [Online]. Dostupno: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [8] Python, „Python“ [Online]. Dostupno: <https://www.python.org>
- [9] Riverbank Computing, „PyQt5“ [Online]. Dostupno: <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/>
- [10] Qt, „Qt Designer“ [Online]. Dostupno: <https://doc.qt.io/qt-5/qt designer-manual.html>
- [11] MongoDB, „MongoDB“ [Online], Dostupno: <https://www.mongodb.com>
- [12] Mikroelektronika, „Mikroe“ [Online], Dostupno: <https://www.mikroe.com>
- [13] Mouser Electronics, „TSL2561“ [Online], Dostupno: [https://eu.mouser.com/Sensors/Optical-Sensors/Light-to-Digital-Converters/Datasheets/\\_/N-5gej?keyword=TSL256](https://eu.mouser.com/Sensors/Optical-Sensors/Light-to-Digital-Converters/Datasheets/_/N-5gej?keyword=TSL256)
- [14] NXP, „I2C“ [Online], Dostupno: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- [15] Maxim Integrated, „One-wire“ [Online], Dostupno: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1796.html>
- [16] Mikroelektronika, „IAQ-Core“ [Online], Dostupno: <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/iaq-core-datasheet-en-v1.pdf>
- [17] Wikipedia, „TVOC“ [Online], Dostupno: [https://en.wikipedia.org/wiki/Volatile\\_organic\\_compound](https://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound)
- [18] Texas Instruments, „UART“ [Online], Dostupno: <https://www.ti.com/lit/ug/sprugp1/sprugp1.pdf>
- [19] Mikroelektronika, „Mikrobus“ [Online], Dostupno: <https://www.mikroe.com/mikrobus>
- [20] Mikroelektronika, „GLCD“ [Online], Dostupno: <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/glcd-128x64-datasheet.pdf>
- [21] Raspberry Pi, „BCM2837“ [Online], Dostupno: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2837/README.md>
- [22] Raspberry Pi, „Raspbian Buster“ [Online], Dostupno: <https://www.raspberrypi.org/downloads/>
- [23] Debian, „Linux“ [Online], Dostupno: <https://www.debian.org/doc/user-manuals#faq>
- [24] Pallets Projects, „Flask server“ [Online], Dostupno: <https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>

## ABSTRACT

This paper presents the system for monitoring and control of conditions in greenhouse. Basic parts of this system are Raspberry Pi 3 and Easy PIC Pro V7 development board with PIC18F8k22 microcontroller. As sensors, system uses click boards Illuminance, DHT22 and Air Quality 2. Protocols I2C, One-Wire i UART are used for communication. On RPi3, there is GUI application, implemented in Python programming language, which communicates with the microcontroller, collects value measurements, processes, displays those values, and stores them in the MongoDB database. Additionally, the application allows control of water pump, valves, light and CO2 regulation. In addition to the application on RPi3, also a Flask server enables online access to measured data.

## System for monitoring and control of conditions in greenhouse based on microprocessor measuring modules

Milan Šaš, Đorđe Novaković

# CAN platforma za logovanje i nadzor parametara u vozilima

Duško Gajinović, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

**Apstrakt**—U ovom radu prikazan je primer platforme za komunikaciju preko CAN mreže u vozilima. Osnovu projekta čini Arduino Uno ploča, na kojoj se nalazi ATmega328 mikrokontroler, koji preko SPI protokola komunicira sa CAN Bus dodatnom pločom. Na istoj ploči se nalazi MCP2515 CAN kontroler, koji preko MCP2551 uspostavlja komunikaciju sa samom CAN mrežom. Sastavni deo ove platforme je i GUI program, koji je realizovan u Python programskom jeziku, pomoću kojeg se mogu pratiti, filtrirati i slati poruke na CAN mrežu. Uređaj poseduje i funkcije koje su specifične za OBD2 protokol, koji se nalazi u većini modernih automobila, tako da se mogu pratiti razni parametri koji inače nisu dostupni vozaču.

**Ključne reči**—CAN Bus; Logger; OBD2; Arduino Uno; Python; GUI; PyQt5.

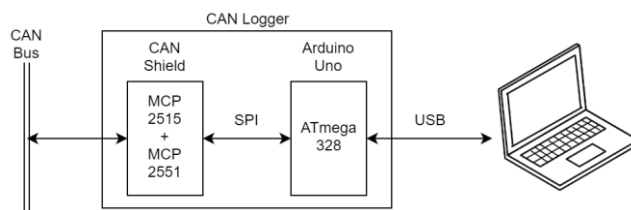
## I. UVOD

Intenzivan razvoj automobilske industrije doveo je do uvođenja visokih standarda u segmentu kontrolnih sistema u okviru vozila. Takvi sistemi moraju posedovati veliki kapacitet i brzinu, sposobnost rada u realnom vremenu, kao i visoku pouzdanost. Koncept CAN[1] mreže prvi put se pojavio osamdesetih godina prošlog veka, kada je kompanija Bosch zajedno sa Intelom razvila novi uređaj za prenos podataka. Controller Area Network je serijski komunikacioni protokol projektovan upravo po ovim standardima i danas predstavlja dominantni protokol u automobilskim mrežnim sistemima.

Projekat je baziran na Arduino Uno[2] mikrokontrolerskoj ploči, koja pomoću CAN BUS Shield-a[3] vrši komunikaciju sa CAN mrežom. U okviru projekta se nalazi i program pomoću kojeg se mogu pratiti, filtrirati i slati poruke na CAN mreži. Takođe postoje određene funkcije koje su specifične za OBD2[4] protokol koji se nalazi u većini modernih automobila, tako da se ovim uređajem mogu pratiti razni parametri koji inače nisu dostupni vozaču. Sam mikrokontroler ne vrši nikakvu obradu podataka, već služi kao most između CAN mreže i računara. Sva obrada podataka se vrši na računaru u programu "CAN Logger", koji je pisan u Python[5] programskom jeziku.

Duško Gajinović – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: gajinovic.dusko@gmail.com)

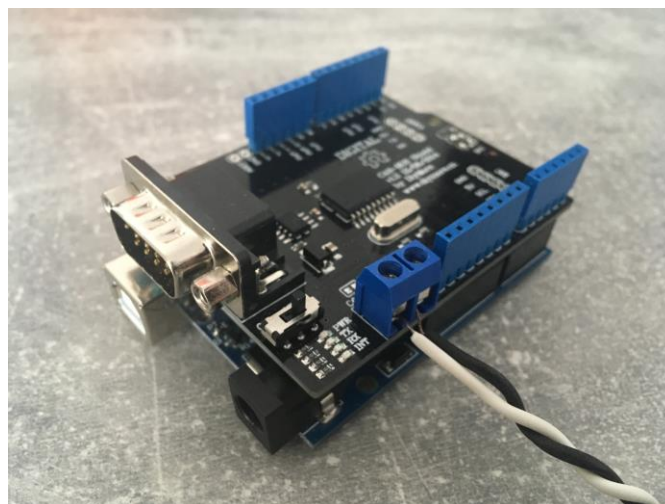
Đorđe Novaković - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs)



Sl. 1 Blok šema projekta

## II. HARDVER

Sa hardverske strane, projekat nije previše kompleksan. Bazira se na Arduino Uno ploči na kojoj se nalazi ATmega328[6] mikrokontroler kao i USB to TTL čip preko kojeg mikrokontroler komunicira sa računarem. Sa druge strane imamo MCP2515 [7] koji je samostalni CAN kontroler, a komunikacija između njega i ATmega328 se vrši preko SPI[8] protokola. MCP2515 je zadužen za slanje i primanje poruka sa CAN mreže, i on radi nezavisno od mikrokontrolera. Bitno je napomenuti da njega nije moguće direktno vezati na CAN mrežu, već mora da se koristi primopredajnik, koji je u ovom slučaju MCP2551 [9]. Kako bi se izbegle smetnje i održala stabilnost mreže, na samoj ploči se nalazi i terminacioni otpornik od 120 oma. Ploča se može povezati sa CAN mrežom preko CAN H(high) i CAN L(low) terminala ili preko DB9 konektora. Povezivanje sa CAN mrežom preko terminala prikazano je na slici 2.



Sl. 2 Arduino Uno i CAN Bus ploča

Za komunikaciju sa vozilom se koristi kabel koji sa jedne strane ima OBD2 konektor, a sa druge DB9, što se i vidi na slici 3.



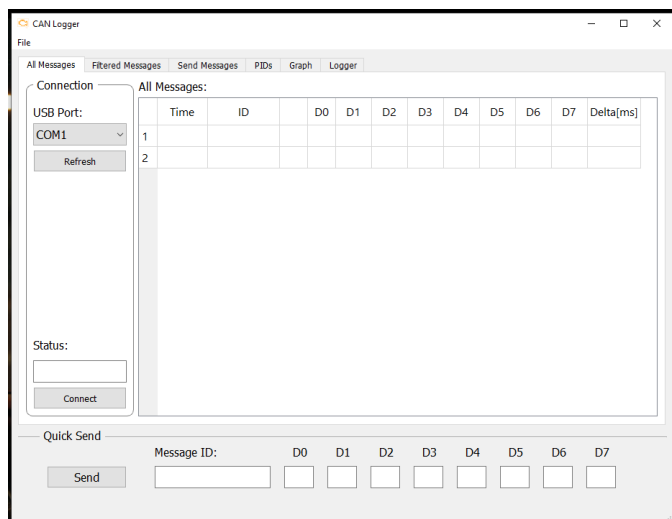
Sl. 3 CAN Logger sa OBD2 konektorom

### III. PROGRAM I GUI

Program je realizovan u Python programskom jeziku, a sam GUI je dizajniran i implementiran pomoću PyQt5 [10] biblioteke i njenog Designer-a. Kada se pokrene program, prikazuje se glavna stranica “All Messages” preko koje korisnik može da uspostavi konekciju sa uređajem.

#### A. All Messages Tab

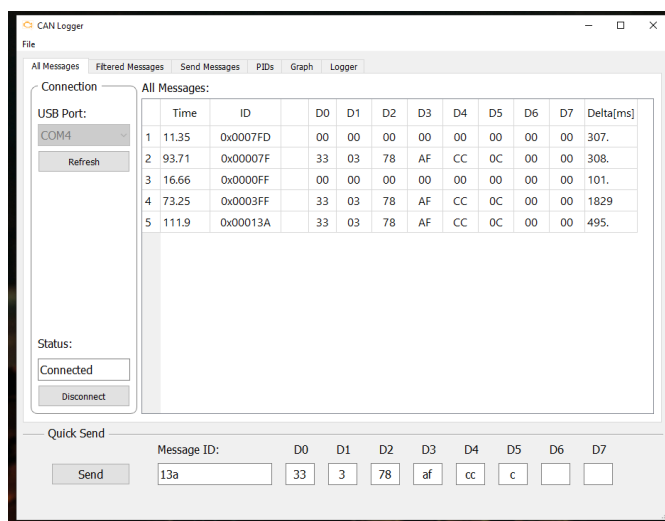
Sa leve strane se nalazi “Connection” grupa, gde se može izabrati na kom COM portu se nalazi uređaj i pritiskom na dugme “Connect” se uspostavlja veza. Nakon uspostavljanja veze, prikazuje se trenutno stanje uređaja, kao i opcija zatvaranja komunikacije dugmetom “Disconnect”. Nakon što se uspostavila konekcija sa uređajem, sve poruke koje se nađu na CAN mreži se prikazuju u sledećoj tabeli.



Sl. 4 All Messages Tab

Od trenutka kada se CAN Logger poveže na mrežu i kada uspostavi kontakt sa programom, preko USB porta, on počinje da osluškuje i očitava sve poruke koje se nađu na mreži.

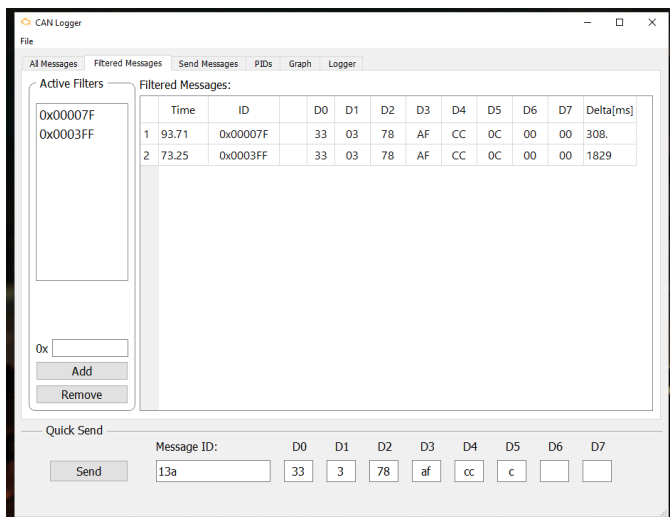
Kada MCP2515 detektuje početak poruke, on je beleži njen ID i sve data bitove u svoj interni registar. Nakon završetka poruke, proverava da li je poruka u celini preuzeta bez grešaka, i onda je šalje mikrokontroleru putem SPI protokola. Nakon preuzimanja poruke, mikrokontroler je formatira na određeni način, da ne bi došlo do greške pri očitavanju od strane programa na računaru. Sam firmver, koji se nalazi na mikrokontroleru je pisan tako da očitavanje poruke, formatiranje i slanje računaru traje što kraće, kako bi se izbeglo propuštanje novih poruka na CAN mreži. Kada program na računaru preuzme paket koji sadrži sve informacije o poruci, on ga raspakuje i redefiniše kako bi se lakše i brže sama poruka smestila u računarsku memoriju. Poruke se skladište na odgovarajući način kako bi se kasnije pretraživanje i sortiranje lakše obavljalo. Osim osnovnih parametara poruke, kao što su njen ID i osam data bajtova, samoj poruci se dodeljuje još par parametara nakon što se preuzme od mikrokontrolera. Kako bi lakše pratili poruke koje se nalaze na mreži, svakoj poruci dodeljujemo vremensku vrednost, koja nam prikazuje kada smo primili poruku u odnosu na trenutak kada je veza sa CAN Logger pločom uspostavljena. Takođe je bitno napomenuti da svaka poruka koja se nađe na mreži, a ima isti ID neće biti prikazana kao nova poruka u tabeli, već će parametri kao što su vreme poruke i njene data vrednosti biti ažurirane. Svaka poruka ima i polje pod imenom “Delta [ms]” pomoću kojeg možemo videti da li se neka poruka šalje na mrežu periodično, i sa kojim vremenskim periodom.



Sl. 5 All Messages Tab - Poruke

#### B. Filtered Messages Tab

U ovom prozoru su poruke čiji se ID nalazi u listi sa leve strane, čime se smanjuje broj poruka na ekranu i lakše se prate samo one koje nas zanimaju.

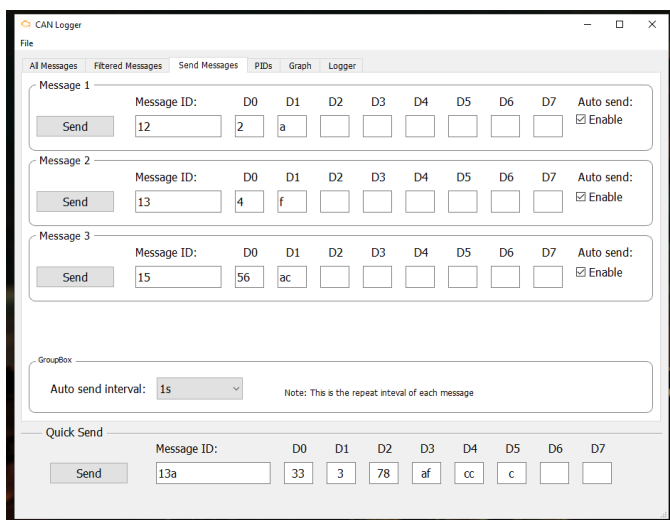


Sl. 6 Filitered Messages Tab

Filter se dodaje tako što se upiše ID poruke koju želimo da pratimo i pritiskom na dugme “Add” se taj ID dodaje u listu filtera. Takođe se u svakom trenutku može i ukloniti željeni ID sa liste.

### C. Send Messages Tab

Ako želimo da šaljemo više poruka periodično, to se može postići preko Send Messages prozora. Postoje tri grupe poruka i one se mogu slati nezavisno jedna od druge pritiskom na taster “Send”.



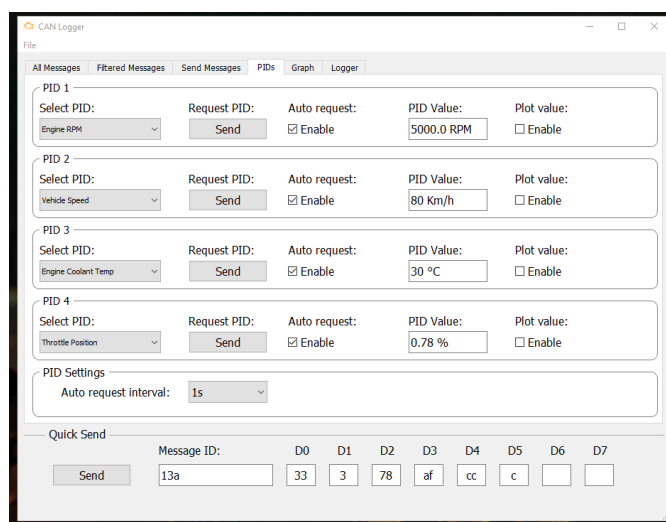
Sl. 7 Send Messages Tab

Moguće je i periodično slanje poruka označavanjem polja “Auto send Enable” sa desne strane prozora, i ta opcija je dostupna za svaku poruku posebno. Period slanja poruka se bira na dnu stranice padajućim menijem “Auto send interval”, koji se kreće od 1 s do 1 minuta. Interval između poruka se automatski skalira u zavisnosti od broja selektovanih poruka, tako da opterećenje same CAN mreže bude minimalno. Ako je, na primer, selektovano periodično slanje za dve poruke, na interval od jedne sekunde, period između te dve poruke će biti

500 ms, kako bi se izbeglo preterano opterećivanje mreže. U slučaju da se aktivira i treća poruka, period će se spustiti na 333 ms, i naravno vreme se skalira u zavisnosti perioda slanja.

### D. PIDs (Parameter ID) Tab

Ovaj prozor je specifičan za OBD2 port koji se nalazi na modernijim vozilima i pridržava se SAE J1979 [11] standarda. Ako je automobil opremljen ovim portom, moguće je pristupiti određenim parametrima unutar vozila. Kako bi došli do vrednosti samih parametara potrebno je prvo poslati zahtev automobilu u vidu CAN poruke. Većina parametara koji su dostupni putem OBD2[12] protokola su standardizovani i zahtevi za njih su dostupni svima. Naravno, postoje određene funkcije koje su specifične za svakog proizvođača koji nisu u obavezi da se pridržavaju bilo kakvih standarda. Pomoću ovog programa moguće je pristupiti oko dvadesetak različitih parametara, od kojih su obrtaji motora, brzina vozila, temperature rashladne tečnosti, pozicija papučice gasa i protok vazduha jedne od najbitnijih. Kada se pritisne taster “Send”, program na osnovu padajućeg menija sa leve strane pravi zahtev za željeni parametar i šalje ga samom mikrokontroleru. Preuzeti paket se parsira, izdvaja se ID poruke kao i njeni data bajtovi i šalju se MCP2515 kontroleru koji ih prosleđuje na mrežu. Ubrzo nakon poslanog zahteva, automobil odgovara sa novom porukom, poznatog ID-a, koja sadrži vrednost parametara u bajtovima D2-D5 iz kojih se uz pomoć predefinisanih formula može izračunati željena vrednost.

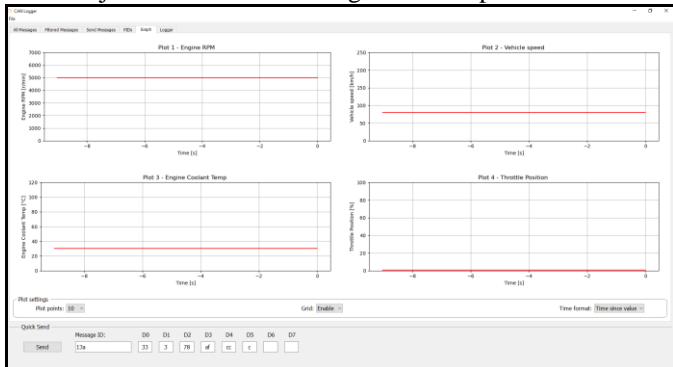


Sl. 8 PIDs Tab

CAN Logger dozvoljava praćenje do 4 parametara u isto vreme. Sa leve strane prozora se nalaze padajuće liste preko kojih biramo koje parametre želimo da pratimo. Možemo tražiti vrednost parametra pritiskom na dugme “Send” i njegova vrednost će se pojaviti u polju sa desne strane. Takođe se može uključiti automatsko osvežavanje za svaki od odabranih parametara, kao i interval osvežavanja preko padajuće liste na dnu prozora.

## E. Graph Tab

U prethodnom prozoru "PIDs Tab" pored svake očitane vrednosti imamo opciju "Plot Enable", što uključuje iscrtavanje očitane vrednosti na grafik u Graph Tab-u.

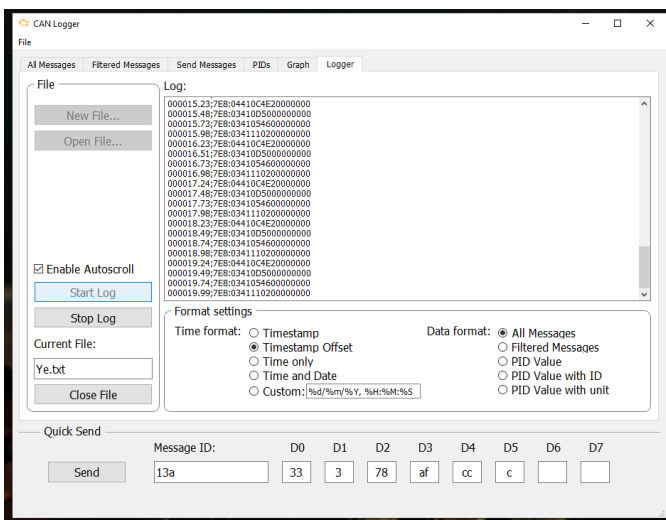


Sl. 9 Graph Tab

Iznad svakog grafika piše koji parametar se prikazuje, kao i njegova merna jedinica. Na X osi se prikazuje pre koliko sekundi je bila očitana vrednost. Ovo se može promeniti putem padajućeg menija u donjem desnom uglu "Time format". Takođe je moguće isključiti koordinatnu mrežu. Sa leve strane se može izabrati koliko će se tačaka unazad iscrtavati na graficima. U slučaju da se u prethodnom prozoru promeni parametar koji pratimo, grafik će automatski skalirati svoju minimalnu i maksimalnu vrednost, tako da prikazuje pun opseg trenutnog parametra.

## F. Logger Tab

Ovaj prozor nam daje mogućnost da poruke čuvamo u tekstualnoj datoteci na računaru. Potrebno je napraviti ili otvoriti već postojeću datoteku, i nakon toga pritiskom na taster "Start Log" se ispisuje zaglavlje tekstualnog fajla i započinje zapisivanje svake poruke na mreži.



Sl. 10 Logger Tab

Ispod terminala koji prikazuje poruke postoje opcije za menjanje formata zapisa poruka.

## IV. ZAKLJUČAK

Nakon realizacije mogu da zaključim da ova platforma uspešno komunicira sa CAN mrežom i kao takva otvara mogućnosti za dalje unapređivanje. Plan je da se implementira Bluetooth veza između ploče i računara, kao i skladištenje i praćenje podataka preko interneta.

## ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru Platonu Sovilju na podršci i pomoći prilikom izrade ovog rada, kao i svim kolegama sa Katedre za električna merenja, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

## LITERATURA

- [1] Wikipedia, "Controller Area Network" [Online], Dostupno: [https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)
- [2] Arduino, "Arduino-Uno" [Online], Dostupno: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [3] Seend Studio, "CAN Bus Shield" [Online], Dostupno: <https://www.seendstudio.com/CAN-BUS-Shield-V1-2-p-2256.html>
- [4] Wikipedia, "OBD2" [Online], Dostupno: [https://en.wikipedia.org/wiki/On-board\\_diagnostics](https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics)
- [5] Python, "Python" [Online], Dostupno: <https://www.python.org/>
- [6] Microchip, "ATmega328" [Online], Dostupno: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328>
- [7] Microchip, "MCP2515" CAN Controller [Online], Dostupno: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en010406>
- [8] Wikipedia, "SPI" [Online], Dostupno: [https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface)
- [9] Microchip, "MCP2551" CAN Transceiver [Online], Dostupno: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en010405>
- [10] Riverbank Computing, "PyQt5" [Online], Dostupno: <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/>
- [11] SAE International, "SAE J1979" [Online], Dostupno: [https://www.sae.org/standards/content/j1979\\_201202/](https://www.sae.org/standards/content/j1979_201202/)
- [12] Wikipedia, "OBD2" Paramater IDs [Online], Dostupno: [https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II\\_PIDs](https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs)

## ABSTRACT

This paper presents an example of a platform for communication over the CAN network in vehicles. The basis of the project is the Arduino Uno board, which houses the ATmega328 microcontroller, that communicates with the additional CAN Bus board via the SPI protocol. On the same board there is a MCP2515 CAN controller, which establishes communication with the CAN network via the MCP2551. An integral part of this platform is the GUI program, which is implemented using the Python programming language, and can be used to monitor, filter and send messages to the CAN network. The device also has functions that are specific to the OBD2 protocol, which is found in most modern cars, so you can monitor various parameters that are not otherwise available to the driver.

## CAN platform for logging and monitoring of vehicle parameters

Duško Gajinović, Đorđe Novaković

# RAZVOJ MERNO-INFORMACIONOG SISTEMA ZASNOVANOG NA GSM/GNSS MODULU

Žarko Dubajić, Radovan Karan, Đorđe Novaković, IEEE member

**Apstrakt**— Ovaj rad prikazuje komunikaciju GPS modula sa računarem pomoću mikrokontrolera, koristeći razvojni sistem EasyPIC Pro v7, sa mikrokontrolerom PIC18F87K22. Koristeći Pajton biblioteku „folium“ i „PyQt5“ na računaru iscrtavamo mapu i prikazujemo poziciju prijemnika u realnom vremenu. Za dobijanje pozicije koristi se GSM/GNSS click.

**Ključne reči** — Projektovanje industrijskih uređaja i mernih sistema; Pajton; GUI; Pozicija; GPS; GLONASS.

## I. UVOD

Rad se bavi prikazom merno informacionog sistema zasnovanog na primeni GSM/GNSS modula. Cilj ovog rada je povezivanje prijemnika sa GPS satelitima i određivanje pozicije prijemnika kao i iscrtavanje pozicije na interaktivnoj mapi sveta. Za realizaciju ovog rada se koristi aplikacija napisana u programskom jeziku Pajton i firmver napisan u jeziku MikroC [7]. Ovaj sistem je razvijen u sklopu predmeta Projektovanje industrijskih uređaja i mernih sistema 2 [3] na EasyPIC Pro V7 [4] razvojnom okruženju koje razvija kompanija Mikroelektronika [2] i u čijem središtu se nalazi mikrokontroler PIC18F87K22 [1].

## II. GPS/GLONASS

Globalni pozicioni sistem se sastoji od 24 satelita raspoređenih u orbiti Zemlje, koji šalju radio signal na površinu Zemlje. GPS ima veliku primenu kao globalni servis u komercijalne i naučne svrhe: navigacija na moru, zemlji i u vazduhu, mapiranje zemljišta, određivanju tačnog vremena i slično.

GPS prijemnik je uređaj koji proračunava svoju poziciju na osnovu merenja udaljenosti od tri ili više GPS satelita. Svaki satelit emituje mikrotalasnu sekvencu radio signala koja je poznata prijemniku. Dok prijemnik prima taj signal, u stanju je da odredi vreme koje protekne od emitovanja radio signala sa satelita do prijema na svojoj poziciji. Udaljenost prijemnika od satelita se proračunava na osnovu tog vremena, budući da radio signal putuje poznatom brzinom. Signal takođe nosi informaciju o trenutnom položaju satelita sa kog se emituje.

GLONASS (GLOBALNI NAVIGACIONI SATELITSKI SISTEM) je satelitski navigacioni sistem koji je započeo SSSR 1976.

Žarko Dubajić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [dubajiczarko@gmail.com](mailto:dubajiczarko@gmail.com))

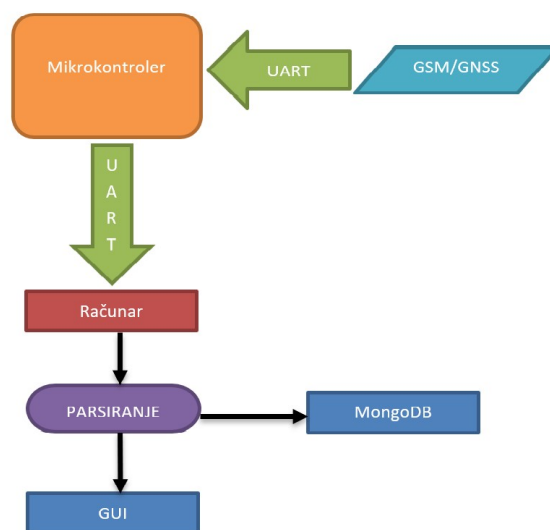
Radovan Karan – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [radovanrasa18@gmail.com](mailto:radovanrasa18@gmail.com))

Đorđe Novaković - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: [djordjenovakovic@uns.ac.rs](mailto:djordjenovakovic@uns.ac.rs))

godine. Po raspadu Sovjetskog Saveza, Rusija je preuzela projekat i on se trenutno nalazi u nadležnosti ruskih svemirskih snaga. Sistem je zamišljen kao mreža od 24 geostacionarna satelita koji metodom trilateracije definišu poziciju objekta na površini Zemlje i prijemniku šalju podatke o njegovoj poziciji.

## III. PAJTON

Za realizaciju ovog projekta, korišćen je programski jezik Pajton i njegove biblioteke: „folium“ [10] koja služi za crtanje mape, „PyQt5“ [8] kojom je urađen GUI, i „MongoDB“ [9] koja omogućava čuvanje koordinata u bazu podataka.



Sl. 1. Blok dijagram sistema

## IV. PYQT5

GUI je realizovan u Pajton programskom jeziku uz pomoć biblioteke PyQt5 [8] i Designer-a, koji je služio za dizajniranje samog izgleda. Sam GUI se sastoji od jednog prozora na kom se prikazuje mapa.

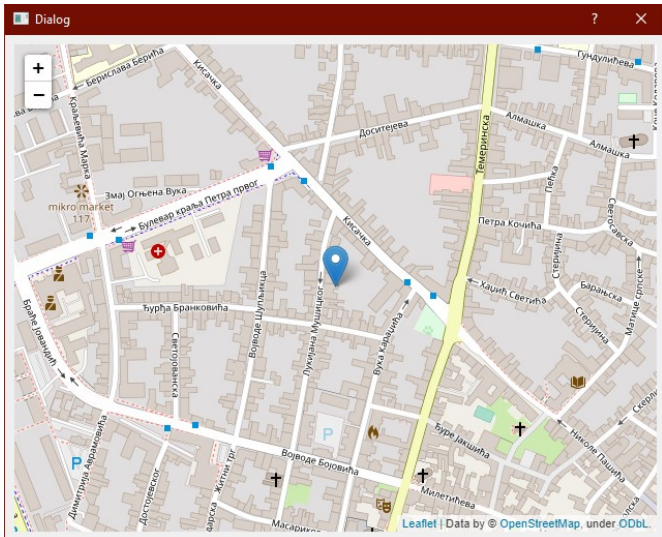
PyQt5 [8] je sveobuhvatan skup Pajtonovih veza za Qt v5. Implementiran je kao više od 35 modula i omogućava da se Pajton koristi kao alternativa jeziku C++ za razvoj aplikacija na svim podržanim platformama uključujući iOS i Android.

## V. FOLIUM

Za realizaciju interaktivne mape sveta koristi se biblioteka Folium [10] programskog jezika Pajton.

Folium [10] koristi prednosti Pajton ekosistema i prednosti biblioteke leaflet.js. Ona olakšava vizuelizaciju podataka, kojima se manipuliše Pajtonom na interaktivnoj

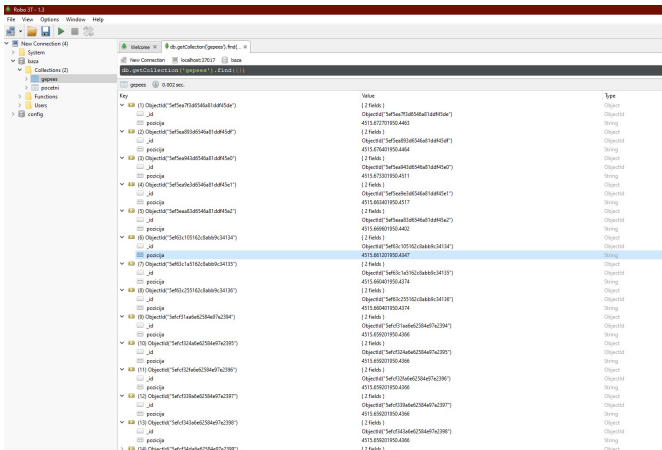
leaflet mapi. Omogućava i vezivanje podataka za mapu, kao i postavljanje bogatih vektorskih/HTML vizualizacija kao markera na mapu. Biblioteka ima veliki broj ugrađenih skupova iz OpenStreetMap-a, Mapbox-a i Stamen-a i podržava prilagođene skupove sa Mapbox ili Cloudmade API ključevima. Folium [10] podržava i slike, video, GeoJSON i TopoJSON presvlake.



Sl. 2. Izgled GUI aplikacije sa učitanim mapom i postavljenim markerom

## VI. MONGODB

Kao baza podataka je korišćena Pajton biblioteka MongoDB [9]. U bazu su beležene koordinate kretanja u realnom vremenu. Time je postignuta mogućnost pamćenja kretanja prijemnika.

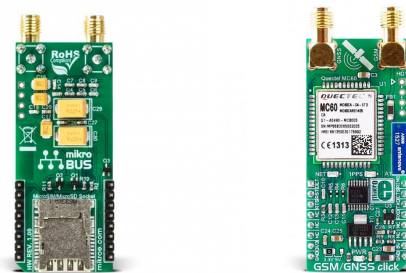


Sl. 3. MongoDB [9] baza podataka

## VII. GSM/GNSS CLICK

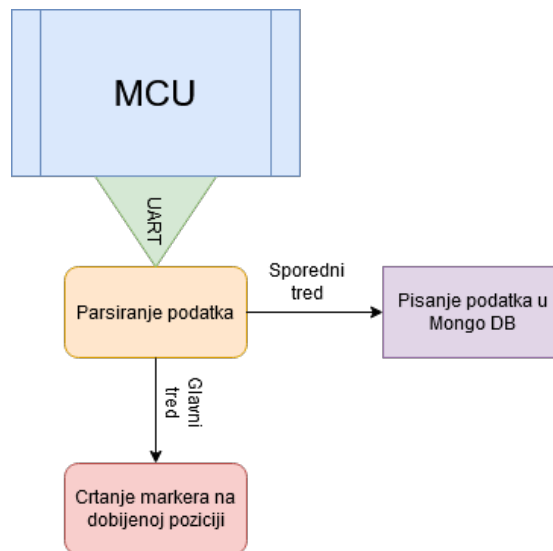
GSM/GNSS klik kombinuje GPS/GLONASS praćenje lokacije sa GSM modulom za mobilnu komunikaciju. Klik sadrži Quectel's MC60 quad-band modul. Klik GSM/GNSS radi na napajanju od 3.3 V ili 5 V i komunicira sa ciljanim Mikrokontrolerom preko UART interfejsa i sledećim mikroBUS pinovima: AN, RST, PWM, INT. Kada se poveže sa GPS antenom, onda može primiti GPS koordinate, vreme i druge informacije sa satelita u orbiti. Klik se može koristiti za sve GSM funkcije - pozive, poruke

(SMS, MMS), mobilni internet. GSM/GNSS klik ima ugrađen konektor za MicroSD karticu, konektor za mikro SIM karticu, Bluetooth antenu (MC60 modul podržava Bluetooth 3.0) i dodatne pinove za povezivanje zvučnika i mikrofona.



Sl. 4. GSM/GNSS click – izgled [6]

## VIII. SOFTWARE



Sl. 5. Blok dijagram rada softvera

Softver je rađen u programskom jeziku Pajton. Na početku koda otvara se baza podataka i pokreće GUI. U GUI-u se iscrtaava mapa sveta bez markera dok ne dođe prvi podatak o poziciji sa UART-a. Program se deli na dva treda koji kada na UART stigne podatak, glavni tred crta marker na odgovarajućoj poziciji i zumira mapu radi boljeg pregleda. Dok drugi tred zapisuje koordinate u bazu podataka.

## IX. FIRMVER

Firmver je rađen u programskom jeziku MikroC [7]. Podaci sa klik pločice se preko UART-a primaju na mikrokontroler, a preko drugog UART-a sirovi podaci prosleđuju računaru.

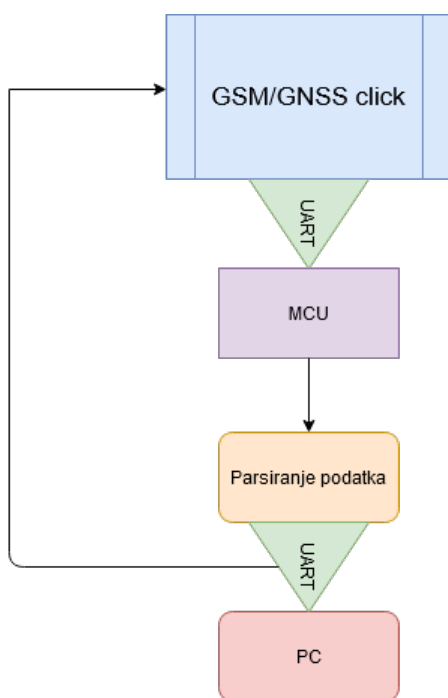
```

AT+QGNSSRD="NMEA/GGA"
+QGNSSRD: $GNGGA,141902.000,4515.6617,N,01950.4138,E,1,8,1.19,18.8,M,38.8,M,0.7,E
OK

```

Sl. 6. Izgled poruke sa mikrokontrolera

Na slici 6. se vidi sadržaj poruke koju prosleđuje mikrokontroler računaru. U njoj se sadrže podaci o trenutnom vremenu u UTC vremenskoj zoni, geografska širina, N/S indikator, geografska dužina, W/E indikator, indikator GPS kvaliteta, broj korišćenih satelita, nadmorska visina...



Sl. 7. Blok dijagram rada firmvera

Firmver je napisan u programskom jeziku MikroC [7]. Pri uključenju mikrokontrolera, klik pokušava da se poveže sa GPS satelitima. Kada je dovoljno satelita u doletu, počinje sa računanjem pozicije prijemnika. Klik šalje poziciju, uz još neke podatke koji se mogu videti na slici 6, preko UART-a mikrokontroleru, koji su zatim prosleđeni kompjuteru, takođe preko UART-a.

## X. ZAKLJUČAK

Dat je prikaz hardverskih i softverskih komponenti sistema. Prikazani sistem bi mogao naći primenu u raznim oblastima gde je potrebno praćenje i prikazivanje lokacije objekata na mapi. Može naći primenu u poljoprivredi, gde bi se koristio za praćenje i određivanje pozicije raznih poljoprivrednih mašina i mehanizacije, praćenje kućnih ljubimaca, starijih osoba, osoba sa invaliditetom... Sprovedeni testovi u realnim uslovima su pokazali da sistem postiže zadovoljavajuće rezultate u poređenju sa komercijalno dostupnim uređajima. Uređaj se može

poboljšati tako što bi se komunikacija računara realizovala uz pomoć bežičnih tipova komunikacije poput Bluetooth komunikacije ili WiFi komunikacije. Time bi se omogućilo i mobilnim telefonima, tabletima i drugim prenosivim uređajima da vrše akviziciju podataka. Rezultati bi mogli biti uploadovani na server putem interneta, čime bi se omogućila razna rešenja daljinskog nadzora, prikazivanje mape na telefonima, tabletu ili nekom udaljenom uređaju. Prednost ovog sistema je mala cena, i mogućnost prilagođenja jer je biblioteka Folium potpuno besplatna.

## ZAHVALNICA

Zahvalili bismo se Katedri za električna merenja fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, za pruženo potrebno znanje. Želimo posebno da se zahvalimo profesoru Platonu Sovilju na pruženoj podršci u izradi ovog rada. Takođe bismo se zahvalili kompaniji Mikroelektronika na tehničkoj podršci ovom projektu.

## XI. LITERATURA

- [1] Microchip, "PIC18F87K22," [Online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F87K22>.
- [2] Mikroelektronika, "Home Page," [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/>.
- [3] K. z. E. Merenja, "Projektovanje industrijskih uređaja i memih sistema 2," [Online]. Available: <http://kelm.ftn.uns.ac.rs/projektovanje-industrijskih-uredaja-i-memih-sistema-2/>.
- [4] Mikroelektronika, "EasyPIC PRO v7," [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/easypic-pro>.
- [5] Mikroelektronika, "Datasheets," [Online]. Available: <https://download.mikroe.com/documents/add-on-boards/click/gsm-gnss/gsm-gnss-click-schematic-v100.pdf>.
- [6] Mikroelektronika, "GSM/GNSS click" [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/gsm-gnss-click>.
- [7] Mikroelektronika, "mikroC PRO for PIC" [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/mikroc-pic>.
- [8] Python Package Index, "PyQt5" [Online]. Available: <https://pypi.org/project/PyQt5/>.
- [9] MongoDB, "Home Page" [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/>.
- [10] Python Package Index, "Folium" [Online]. Available: <https://pypi.org/project/folium/>.

## ABSTRACT

This paper shows the communication of the GPS module with a computer using a microcontroller, using the EasyPIC Pro v7 development system, with the PIC18F87K22 microcontroller. Using the Python library "folium" and "PyQt5" on the computer, we draw a map and display the position of the receiver in real time. GSM / GNSS click is used to get the position.

## IMPLEMENTATION OF GPS MODULE COMMUNICATION WITH COMPUTER USING A MICROCONTROLLER

Žarko Dubajić, Radovan Karan, Đorđe Novaković, IEEE member



# Projektovanje mernog pretvarača sa senzorom temperature Pt1000

Andrea Josipović, Platon Sovilj, Đorđe Novaković

**Apstrakt**— U ovom radu predstavljen je postupak projektovanja mernog pretvarača sa senzorom temperature Pt1000. Urađena je projektantska analiza u programu LTSpice, a potom i projektovanje električne šeme i štampane ploče u programu KiCad.

**Ključne reči**—senzor temperature; otpornost; napon; projektovanje; šema; KiCad; LTSpice.

## I. UVOD

Temperatura je jedan od glavnih i neizostavnih faktora u većini industrija i oblasti danas. Počevši od merenja i kontrole temperature u elektroindustriji, prehrambenoj industriji, gasnoj, farmaceutskoj... U pomenutim je primena višestruka: primenjuje se u procesu testiranja materijala, kalibraciji, sušenju, održavanju željenih temperatura, kao i u mnogim drugim oblastima. Jedan od uređaja koji može da vrši sve navedeno jeste RTD (Resistance Temperature Detectors). U poređenju sa ostalim senzorima temperature izdvajaju se po svojoj tačnosti. Dodatno, stabilnost, ponovljivost i otpornost na smetnje/šumove ih takođe karakteriše. Kao i u svakoj oblasti gde se primenjuje, od najvećeg je značaja da temperatura koju RTD senzor meri bude identična ili što približnija pravoj temperaturi. Stoga, napredak tehnologije, pa i senzora temperature to omogućuju. Sa biomedicinske strane gledišta, napredak ima veliki uticaj na svakodnevnu medicinsku praksu. Primena se ogleda u:

- Monitoringu pacijenata
- Imaging metodama
- Procesu dijalize
- Inkubatori
- Sterilizacija medicinske opreme i mnoge druge

Bitno je napomenuti da pored pomenutog senzora postoje i drugi kojima se može meriti temperatura na određeni način i da je optimalna primena zavisna od slučaja do slučaja.

## II. Pt1000

RTD senzor temperature koji je korišćen u ovom radu jeste Pt1000. Sam senzor sadrži otpornost, koja se sa promenom temperature menja i čiji će princip rada biti objašnjen.

Andrea Josipović – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000, Novi Sad, Srbija (email:andrea.joispovich@gmail.com)

Đorđe Novaković - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000, Novi Sad, Srbija (email:djordjenovakovic@uns.ac.rs)

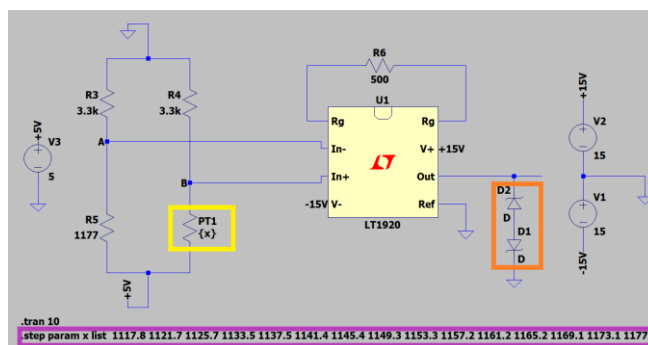
Platon Sovilj - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000, Novi Sad, Srbija (email:platon@uns.ac.rs)

Sam naziv ukazuje na dve informacije o senzoru:

- Pt – znači da je detektor konstruisan od materijala platine koju karakteriše gotovo linearna zavisnost temperature i otpornosti čak i u slučajevima velikih temperaturnih opsega.
- 1000 – odnosi se na otpornost otpornika u  $\Omega$  na 0  $^{\circ}\text{C}$ .

Polazna motivacija realizacije ovog senzora za merenje telesne temperature je njegova izražena linearnost. Pojavom Pt1000 proširena je primena pretvarača senzora temperature. Postoji i njegov prethodnik Pt100, koji ima svoje specifičnosti, i u zavisnosti od potreba se odlučuje koji će se koristiti.

### A. PT1000 – LTSpice



Sl. 1. Šema Pt1000 U LTSpice-u.

Kao što se može videti na Sl. 1, Pt1000 senzor je uokviren fluorescentnom bojom. To je jedini senzor u ovoj šemi čija se otpornost menja (u zavisnosti od temperature). Na osnovu liste koja je definisana na delu slike Sl. 1. ljubičastom bojom, predstavljene su vrednosti otpornosti koje će imati Pt1000 senzor na temperaturi od 30  $^{\circ}\text{C}$  do 45  $^{\circ}\text{C}$ , sa korakom 1  $^{\circ}\text{C}$ . Budući da je primena ovog senzora u projektu namenjena za merenje telesne temperature, u opseg su uzete vrednosti od 30  $^{\circ}\text{C}$  do 45  $^{\circ}\text{C}$ . Iz tabele R-T za Pt1000 kojoj se može pristupiti preko linka iz odeljka „Literatura“ ([7]) su preuzete potrebne vrednosti i provlačenjem polinomijalne funkcije određena je sledeća jednačina:

$$R_t = R_0 (1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} T + 5,802 \cdot 10^{-7} T^2) \quad [\Omega] \quad (1)$$

Gde  $R_0$  ima vrednost od 1000  $\Omega$ , a T e [30, 45].



FT232RL i MCU sa racunarom. Na linijama se nalazi i otpornik, otpornosti 1 k $\Omega$ , koji služi da ograniči struju ukoliko negde dođe do kratkog spoja (da ne bi odjednom velika struja prošla kroz tu liniju).

FT232RL je translator, spona između UART i USB protokola, koji translira UART na USB.

USB komunikacija je diferencijalna komunikacija, odnosno vode se dve linije na kojima se prenosi signal kako bi se uspostavila veća otpornost na smetnje jer se mogu dostići jako velike brzine prenosa. Zahvaljujući USB-u se signal sa RX i TX linije prenosi na D+ i D- liniju (15. i 16. pin).

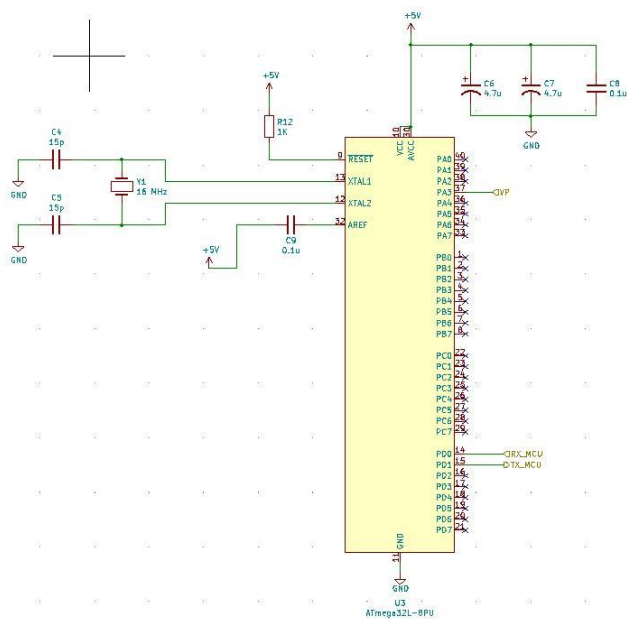
Diode na pinovima 22 i 23 se aktiviraju svaki put kada se nešto šalje ili prima i korisne su da se uoči fizički aktivnost prenosa ili za debugovanje. Kada se na CBUS0 ili CBUS1 pojave nule, diode će se aktivirati.

USB\_B\_Mini je konektor, a za komunikaciju koristi kabl sa četiri žice od kojih 2 služe za prenos podataka, a 2 za napajanje.

VUSB je filtar koji se povezuje na napajanje USB-a.

Kolo na kom se nalazi Šotki dioda se koristi kada se dovede na USB napajanje VBUS. Ukoliko ne postoji napajanje sa druge strane Šotki diode, ona je polarisana i provodi sa malim padom napona na njoj, 0,2 V. Suprotno, ako se na drugi kraj diode takođe dovede napajanje od 5 V, što dovodi do neželjenih posledica u vidu spaljivanja neke komponente, dioda razdvaja ta dva napajanja i time ne dozvoljava pojavu takvih posledica.

## B. Mikrokontroler sa oscilatorom



Sl. 5. Šema mikrokontrolera sa oscilatorom.

Za model MCU odabran je ATmega32L-8PU, kao što je i prikazano na slici 5 i predstavlja ključnu komponentu čitave šeme.

Na pinovima 10 i 30 je povezano napajanje, a takođe i kondenzatori koji imaju filtarsku ulogu. C6 i C7 su elektrolitski kondenzatori za koje su karakteristične velike kapacitivnosti. Međutim, ono što im je glavna mana jeste činjenica da moraju biti polarisani jednosmernim naponom (mora jedan kraj biti pozitivniji u odnosu na drugi). U paraleli

sa njima povezan je kondenzator C8 koji pored filtarske uloge treba dobro da se ponaša na visokim frekvencijama jer elektrolitski nemaju tu karakteristiku.

Pin 9 je reset pin. Kada se signal pojavi na ovom pinu mikrokontroler se resetuje hardverski. R12 otpornik je pull-up otpornik, 1 k $\Omega$ , koji dozvoljava da se reset desi samo kada je na njegovom donjem kraju dovedena masa.

Između pinova 12 i 13 je povezan oscilator čija je frekvencija 16 MHz.

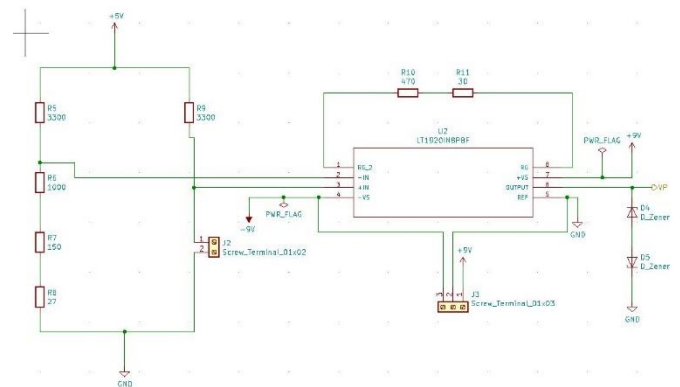
Pin broj 32 se odnosi na analognu referencu i predstavlja mogućnost da se dovede dodatnih (eksternih) 5 V.

Pin 11 je uzemljenje (GND) i on je spojen na masu.

Pinovi 15 i 14 predstavljaju RX i TX linije za prenos podataka. RX linija se koristi za primanje podataka, a TX za slanje. Na njima se nalaze hijerarhijske labela zahvaljujući kojima su povezani sa odgovarajućim TX i RX linijama na FT232RL, kao što je dalje i objašnjeno u podnaslovu 3.1.

Na kraju, pinovi od 33 do 40 su pinovi AD konvertora. Hijerarhijska labela VP, koja predstavlja izlaz iz pretvarača o kom će biti više reči u narednom poglavlju, se dovodi na ulaz AD konvertora na ovaj pin. U ovom slučaju, dovoljno je bilo proizvoljno iskoristiti jedan od mogućih pinova.

## C. Pretvarač



Sl. 6. Šema pretvarača.

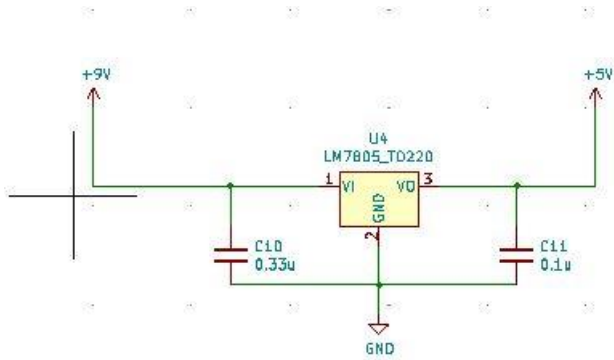
Ulogu svake komponente na pretvaraču je objašnjena u podnaslovu I (A).

Otpornik od 1177  $\Omega$  je postavljen kao serijska veza R6, R7 i R8, ka oi R<sub>G</sub> koji je serijska veza R10 i R11. Za promenljivi otpornik je postavljen konektor, odnosno screw terminal J2. Ovaj konektor je dvopinski i ima funkciju da se za njega zašrafi bilo koji otpornik (u ovom slučaju željeni otpornik otpornosti iz tabele 1).

PWR\_FLAG je logička komponenta koja sugerise design rule check-u da se radi o komponentama (vodovima) kroz koje je dopremljeno napajanje. Napajanje ovog instrumentacionog pojačavača je -9 V i 9 V.

Dodatno, na šemi se nalazi još jedan screw terminal (konektor) za napajanje sa 3 pina, 3 ulaza -9 V, GND i 9 V.

#### D. Power supply



Sl. 7. Šema bloka za napajanje.

Na slici 7 je prikazana šema regulatora napona *LM7805*.

Uloga ove komponente je da reguliše napon tako što smanjuje fluktuacije istog i uspostavlja konstantan napon. Do fluktuacija može doći zbog promene opterećenja i one mogu sadržati dodatnog šuma.

Kondenzatori C10 i C11 su keramički kondenzatori i njihova uloga je da filtriraju izlazni napon sa regulatora.

#### IV. PROJEKTOVANJE PCB PLOČICE

Nakon što su napravljene sve hijerarhijske celine i povezane, urađeno je sledeće:

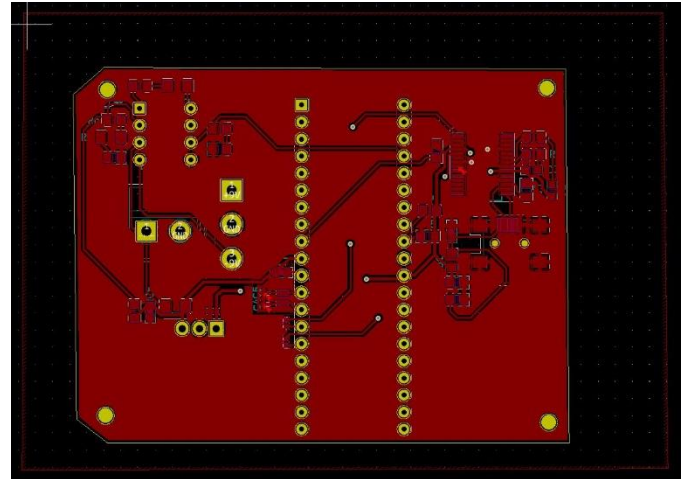
- *Annotate schematic symbol* – izvršava se anotacija, kako bi se tačno znalo koja je koja komponenta. Postoje različite opcije anotacije, a u ovom slučaju odrađena je na nivou čitave šeme.
- *Electrical rules check* – informiše korisnika u okviru *warning-a* ili *error-a* da je došlo do neke greške u povezivanju ili upozorava na nepogodan način povezivanja. Ukoliko greške postoje, moraju se eliminisati, a pogodno je i da je broj upozorenja jednak nuli na kraju.

Kada se prethodna dva koraka izvrše, sledeće što se radi jeste dodeljivanje svih *footprint-a* (otisaka) svakoj komponenti na šemi.

Kada sve komponente imaju svoj footprint, neophodno je da se odradi *generate netlist* kako bi se definisale sve veze.

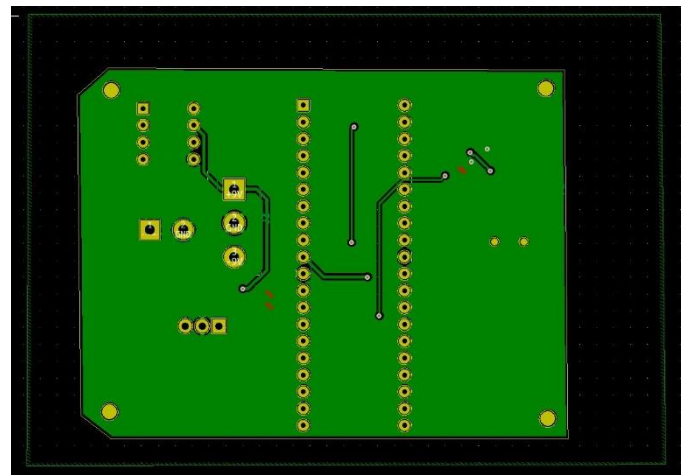
Prelaskom na PCB se učitava PCB iz schematic-a i organizuje se raspored komponenti tako da vodovi budu što kraći i da imaju što manje vija.

Konkretno u ovom projektu, sve komponente se nalaze u *Front copper layer-u*. Njihovo povezivanje je većinski u tom sloju, ali radi preglednosti povezivanja iskoristene su vije, pa delovi nekih vodova prolaze i kroz *Back copper layer*.



Sl. 8. Front copper layer.

Kao što je i rečeno, na ovom sloju se nalaze sve komponente i većina vodova.

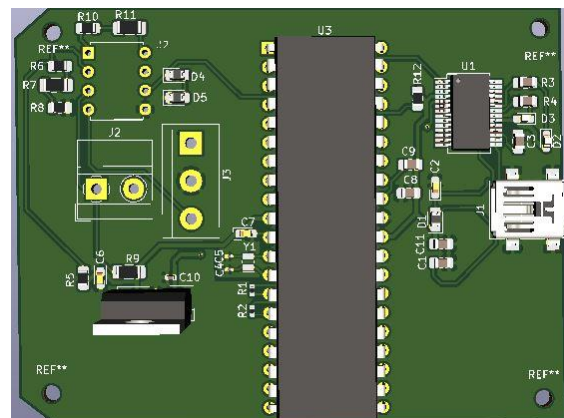


Sl. 9. Back copper layer.

Na donjem sloju se može videti samo delovi vodova koji prolaze kroz ovaj sloj.

Za kraj, žuti krugovi koji se nalaze u ćoškovima predstavljaju rupe za montiranje pločice.

#### V. ZAKLJUČAK



Sl. 10. 3D model pločice.

Realizovani sistem bi mogao pronaći primenu u monitoringu temperature pacijenata. Kao što i simulacije pokazuju,

dobija se linearna promena napona na izlazu u opsegu od 0 V do 5 V za promene temperature u opsegu od 30 °C do 45 °C. Sledeći koraci u daljem razvoju uključivali bi izradu i testiranje pločice, kao i evaluaciju postojećih rezultata, nakon čega bi se moglo razmisliti i o komercijalizaciji. Na slici 10 je prikazan 3D model realizovane PCB pločice.

#### LITERATURA

- [1] <https://www.sterlingsensors.co.uk/rtds>
- [2] <https://www.optris.com/life-science-medical>
- [3] <https://learn.digilentinc.com/Documents/376>
- [4] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2503.pdf>
- [6] <http://www.circuitstune.com/2012/09/7805-voltage-regulator-circuit-7805-pinout.html>
- [7] <https://www.sterlingsensors.co.uk/pt1000-resistance-table>

#### ABSTRACT

A project about designing a transducer with a temperature sensor Pt1000 is elucidated in this paper. An analysis of a design has been done in a program LTSpice. Nonetheless, additional planning of electrical scheme and printed circuit board has been performed in a KiCad program.

#### **Development of a measuring transducer with temperature sensor PT1000**

Andrea Josipović  
Platon Sovilj  
Đorđe Novaković

# Razvoj modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine upotrebom otvorenog hardvera u konceptu Industrije 4.0

Ivan Gutai, *Member, IEEE*, Janoš Gutai, Marina Subotin, *Member, IEEE*, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Marjan Urekar, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

**Apstrakt** — Upotreba otvorenog hardvera već dugi niz godina olakšava izradu prototipova raznih uređaja. U ovom radu će detaljno biti opisan hardver koji je korišćen za izradu prototipa modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine. Pored opisa hardvera i firmvera, u radu je opisan i jedan od softverskih alata koji omogućava dizajniranje spoljašnjosti uređaja. Uređaj prikazuje trenutne vrednosti temperature, vlažnosti vazduha i tačno vreme. Akvizicija podataka se vrši 24 sata, 7 dana u nedelji, na svakih 20 minuta i čuva se u 4 KB EEPROM-a (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). U Industriji 4.0 se ne sme zaboravljati da je informacija koje se šalje, zapravo osnova celog sistema i u ovom radu je dat akcenat na smanjivanju količine informacija koje se skladište, vodeći računa o vremenskom žigu (eng. timestamp) i korektnom prikazu izmerenih vrednosti. Od hardvera je korišćen: Arduino Nano, RTC (Real Time Clock) DS3231, DHT22 senzor, OLED ekran, 7 segmentni displej sa 4 digita i eksterno napajanje od 5 V.

**Ključne reči**— Arduino, RTC, DHT22, OLED, EEPROM, Metrologija, Industrija 4.0

## I. UVOD

Složeni merno-informacioni sistemi su sastavni deo Industrije 4.0. Upotreba otvorenog hardvera od proizvođača kao što je Arduino, Sparkfun, Adafruit ili bilo kog drugog iz niza kompanija koji proizvode hardverska rešenja zasnovane na otvorenom hardveru, olakšavaju hobbistima i inženjerima brzu izradu prototipova uređaja. Bitni segmenti merno-informacionog sistema su samo merenje, ispravan prikaz, a zatim i skladištenje. U ovom radu će biti detaljno prikazano hardversko rešenje koje čine: Arduino Nano, RTC DS3231, DHT22 senzor, OLED ekran, 7 segmentni displej sa 4 digita i eksterno napajanje od 5 V. Platforma otvorenog hardvera sadrži mnoštvo dostupne dokumentacije, biblioteka i primera koda za svaku od navedenih komponenti na zvaničnom Arduino sajtu [1]. U radu je opisan i softver koji je na osnovu iskustva autora ocenjen kao pouzdan alat za izradu spoljašnjeg izgleda uređaja. Takođe, u radu će biti opisano skladištenje podataka u EEPROM memoriji.

Ivan Gutai – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gutai@uns.ac.rs).

Janoš Gutai – Novi Sad, Srbija (e-mail: rsgutai@gmail.com).

Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marina.bulat@uns.ac.rs).

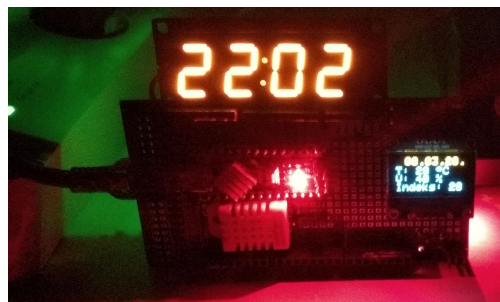
Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marjanurekar@gmail.com).

Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

## II. OPIS KORIŠĆENOG HARDVERA

Osnova svakog mernog sistema je vreme. Izabran je temperaturno kompenzovani RTC model DS3231 [2], pored koga se na štampanoj pločici nalazi i AT24C32 čip [3], koji predstavlja EEPROM memoriju od 4 KB, koja je izabrana za skladištenje podataka koji se dobijaju prilikom merenja. Merenje se vrši na svakih 20 minuta, 24 sata, 7 dana u nedelji, od momenta kada se uključi uređaj. Algoritam kojim je omogućen ovako gust zapis će zasebno biti dokumentovan i detaljno objašnjen. Prilikom izbora razvojnog sistema kompanije Arduino, selekcija se vršila između modela Due, Mega i Nano. Za ovu namenu, gde se uređaj napaja baterijski, izabran je Arduino Nano iz dva praktična razloga. Prvi je činjenica što je potrošnja u režimu mirovanja i do 10 puta manja u odnosu na druga dva navedena modela, bez postavljanja uređaja u bilo kakvu vrstu režima smanjene potrošnje. Drugi razlog je što nema potrebe koristiti hardver koji ima 4 serijska porta, veći takt ili značajno veću količinu memorije i zato se u startu trudimo i da optimizujemo upotrebu korišćenog hardvera i da napišemo takav firmver koji će se uklopiti u date resurse. Najčešće korišćeni OLED ekrani koji su trenutno dostupni na tržištu za hobi elektroniku su rezolucije 128x64 px, dijagonale 0.96 inča ili 2.42 inča, a karakteriše ih dobar kontrast i niska potrošnja. Pozadinskim osvetljenjem 7 segmentnog displeja sa 4 digita se upravlja zadavanjem vrednosti 0 do 255, a treba voditi računa da pri maksimalnoj vrednosti, potrošnja ekrana uzima još 70 mA. Test koji je izvršen od 29.1.2020. do 5.2.2020. je bio i jedna vrsta stres testa za kompletnu elektroniku, pošto je testirana u uslovima visoke vlažnosti i temperatura bliskih nuli, bez kućišta. Za baterijsko napajanje od 5 V je poslužio Powerbank sa prošlogodišnjeg ETRAN-a od 4000 mAh, koji je bio i više nego dovoljan za testiranje. Na slici 1 je prikazana unutrašnjost modularnog uređaja za akviziciju.



Slika 1. Unutrašnjost modularnog uređaja za akviziciju

Nakon testa i očitavanja rezultata na računaru i uveravanju o ispravnosti očitanih vrednosti i vremenskih žigova, pristupljeno je sledećem koraku, dizajniranju kućišta za uređaj. U jednoj od narednih iteracija izrade i testiranja samog uređaja biće prikazan i dizajn.

### III. RAČUNARSKI INDUSTRIJSKI DIZAJN – CAD SOLIDWORKS

Integracija informacionih tehnologija u proizvodnji i potpuna digitalizacija proizvodnih procesa predstavlja osnove koncepta industrije 4.0 ili četvrte industrijske revolucije. Jedan od tih procesa jeste izrada ideje i dizajn novog proizvoda, gde se pojavljuju pojmovi računarom podržano projektovanje (Computer Aided Design) i računarom podržana proizvodnja (Computer Aided Manufacturing). Mogućnost animacije, simulacije kao i kinematske analize su samo neke od funkcionalnosti koje pružaju CAD alati, dok podaci mogu da budu upotrebljeni i u drugim alatima radi izrade prezentacija, izveštaja i kalkulacija. Takođe postoji niz prednosti upotrebe ovakvih alata kao što su povećavanje produktivnosti, unapređenje kvaliteta proizvoda, smanjenje troškova pri razvoju proizvoda, smanjuju nivo grešaka u proizvodnji kao i samom dizajnu [4]. Interaktivni CAD je brži od tradicionalnog ručnog procesa dizajna, CAD alati smanjuju broj iteracija i ubrzavaju proces izrade modela i dokumentacije [5].

Jedan od najpopularnijih programa za modelovanje punih tela, koji omogućava i pravljenje virtuelnog prototipa jeste SolidWorks. SolidWorks je softver koji je proizvela kompanija SolidWorks Corporation, koja je deo grupacije Dassault Systems. Predstavlja parametarsku alatku za modelovanje, zasnovanu na elementima koja ne samo da objedinjuju trodimenzionalna (3D) parametarska svojstva s dvodimenzionalnim (2D) alatima već obuhvata i preostale procese u ciklusu od projektovanja do proizvodnje [6]. Kreiranje mogućih rešenja i vizualizacija ideja kroz fotorealističan prikaz samog proizvoda pre izrade olakšavaju proces razvoja proizvoda i obezbeđuju fleksibilnost proizvodnje. Modifikacija u okviru ovih alata prema svakom konkretnom proizvodu i zahtevu predstavlja prednost za personalizaciju proizvoda.

### IV. ZAPISIVANJE I PRIKAZ REZULTATA

Nakon svakog očitavanja i zapisivanja u EEPROM, informacije se šalju preko serijskog porta u JSON (JavaScript Object Notation) formatu, što ga čini pogodnim za prikaz i za slanje na ostale uređaje. Izbor JSON formata nije uobičajen izbor, ali je vrlo značajan web programerima, koji smatraju da je navedeni format mnogo čitljiviji od niza bajtova ili od XML-a (Extended Markup Language). Na slici 2 je prikazana informacija koja se šalje preko serijskog porta prilikom svakog merenja.

```
{
  "timestamp": 1580545200,
  "DHT22_temperature": 12,
  "DHT22_humidity": 76,
  "DHT22_heatIndex": 11
}
```

Slika 2. Informacija koja se šalje preko serijskog porta prilikom svakog merenja

Prilikom projektovanja uređaja koji su deo Industrije 4.0, većina marketing službi, kao i neki od inženjera preuveličavaju mogućnosti samih uređaja. Ponekad i slučajno dolazi do zabune, oko broja decimala u specifikacijama. U specifikaciji proizvođača senzora DHT22 je navedeno da ima tačnost od  $\pm 0.5$  °C, dok podrazumevani firmver za ove senzore prikazuje vrednosti od 23.47 °C, što je u startu pogrešno. Pre svega nije fer prema korisniku da se prikazuje podatak koji nije u skladu sa specifikacijom. Takođe, prilikom smeštanja decimalnih brojeva u memoriju, potrebno je alocirati 4 bajta ili više. U ovakvim situacijama je celobrojno zaokruživanje koje se koristi u C programskom jeziku odgovor na ovaj zahtev. Na svaku izmerenu vrednost, npr. 23.47 se dodaje 0.5 i nakon celobrojnog zaokruživanja (programerskog) dobija se prikaz od 23, što je u skladu sa specifikacijom. Za zapis broja se koriste celobrojne vrednosti, a izborom `int8_t` se omogućava zapis vrednosti od -128 do 127. Korišćenjem tipa `int8_t` umesto float se pri svakom zapisu štedi 3 bajta memorije, što na 504 merenja koja se izvrše u toku jedne nedelje, ostavlja dosta prostora za zapis drugih informacija.

### V. OPIS KORIŠĆENIH BIBLIOTEKA

Deo koji se odnosi na merenje na svakih 20 minuta, a zatim i skladištenje, se vrši pomoću autorskog firmvera koji će zbog kompleksnosti biti zasebno dokumentovan. Svakom pojedinačnom hardverskom komponentom se može upravljati pomoću već napisanih biblioteka, koje su dostupne celoj zajednici otvorenog hardvera. Biblioteka za senzor DHT22 [4] omogućava da se pozivom funkcija `readTemperature` i `readHumidity` očitaju vrednosti sa senzora. `computeHeatIndex` funkcija omogućava izračunavanje subjektivnog osećaja trenutne temperature. Biblioteka za DS3231 RTC [5] poseduje funkcije `adjust` i `now`, koje omogućavaju podešavanje, a zatim i očitavanje tačnog vremena. Funkcija `unixtime` koristi 32-bit vremenski zapis i prikazuje koliko je sekundi prošlo od 1.1.1970. u 0:00 UTC (Coordinated Universal Time), npr 12:48:01 2.19.2020. je prikazano sa vremenskim žigom 1582116481. 32-bitnim zapisom je omogućeno ispravno prikazivanje vremena do 2038. godine, pa će u nekom momentu biti potrebno promeniti način zapisivanja vremenskog žiga, zbog tzv. overflow-a. Bez obzira na to, ovakav zapis čini poređenje vremena, ali i prikaz u raznim vremenskim zonama mnogo lakšim za obradu. Za prikaz na OLED ekranu se koriste biblioteke [6] i [7]. Podrazumevana veličina teksta omogućava 8 linija podataka da stane na ekran, a moguće je i skaliranje. Npr. sa faktorom skaliranja 2 je omogućen prikaz

do 10 karaktera u 4 linije. Za prikaz na 7 segmentnom displeju sa 4 digita se koristi biblioteka [8]. Funkcije su *showNumberDec* i *encodeDigit* prilagođavaju brojeve za prikaz na displeju. Na zvaničnom Arduino sajtu postoji niz biblioteka koje omogućavaju rad sa EEPROM-om, a biblioteka [9] se pokazala kao najpraktičnija za zapisivanje rezultata očitavanja merenja na eksterni EEPROM. Funkcije *eeprom\_write* i *eeprom\_read* imaju po dva ulazna parametra, od kojih je prvi isti za obe funkcije a to je broj memorijske lokacije, u ovoj konfiguraciji broj od 0 do 4095. Kada se kaže Arduino, to se odnosi na robnu marku iz Italije, dok postoji mnogo varijacija na temu i takav hardver predstavlja kopije i klonove Arduina. Kopije i klonovi koštaju 5 do 10 puta manje od originala. Najbrojniji na tržištu su klonovi Arduina, koji navode malo drugačije nazive, npr. Arduino Mega klon ima oznaku Mega 2560 i sl. Više na temu originalnosti Arduina je moguće pročitati na sajtu proizvođača [13].

## VI. OPIS FUNKCIONALNOSTI PROTOTIPA UREĐAJA

Funkcionalnost uređaja je takva da se u toku jednog dana izvrši 72 merenja i očitane vrednosti se zapišu, bez bilo kakvog uticaja korisnika. Displeji koji se nalaze na samom uređaju prikazuju vrednosti zadnjeg očitavanja i omogućavaju uređaju da pored ozbiljne namene, posluži i kao sat koji može da se nađe na radnom stolu. Kod upotrebljenog Arduino Nano, logički nivo iznosi 5 V i treba obratiti pažnju, a zatim i dodati konverter logičkog nivoa ukoliko se uređaj poveže u sistem u kom je logički nivo 3.3 V. Testiranje hardvera i softvera je podjednako važno kao i dizajniranje i zato je u test uloženo dosta vremena. Sistem je podešen tako da se oslanja na RTC koji ima rezervnu bateriju i ukoliko dođe do prekida napajanja sat ne ostaje bez napajanja. Merenje je zavisno od vremena u sistemu i na svaki sat u 20. , 40. ili u 60. minutu se izvršava merenje. U onom momentu kad se uspostavi napajanje, čeka se odgovarajuće vreme i tad se vrši merenje. Sistem je podešen tako da u toku dana ne dolazi do prepisivanja jedne vrednosti preko druge. U slučaju nestanka napajanja može se desiti samo da se ostane bez nekoliko rezultata merenja, u zavisnosti od dužine nestanka struje. Ovom logikom je omogućen da se uređaj napaja iz utičnice, sa odgovarajućim adapterom od 5 V, u šta spadaju većina punjača za mobilne telefone i tablete, izuzimajući one koje imaju Quick Charge funkcionalnost i napon do 6 V.

## ZAKLJUČAK

Da bi držali tempo i da bi spremni ušli u Industriju 4.0 u obavezi smo da pored svih ostalih dužnosti i istraživanja koja obavljamo, aktivno učestvujemo i u zajednicama koje se bave otvorenim softverom i hardverom i da širimo priču na tu temu. Prilikom prve iteracije izrade prototipa uređaja došlo je do raznih izazova, koji su zahvaljujući dostupnim besplatnim online resursima na efektivan način savladani. Napravljeni prototip uređaja jeste modularan, ali će se prilikom dodavanja hardvera i proširivanja firmvera svakako raditi testovi integracije. Ovakav vid testa predstavlja dobru praksu i konstantno nas podseća da činjenica što zasebni moduli rade korektno, apsolutno ne garantuje da će sistem raditi bez greške kad se proširi. Zato se nastavlja kako i razvoj tako i sistem test. Jedna od pogodnosti koje pruža otvoreni hardver je da se u tu oblast mogu upustiti softver inženjeri i ljudi koji nemaju čestu priliku da se bave hardverom. Često se dešava

da proizvođač hardvera u okviru internet prodavnice objavljuje i detaljna uputstva sa primerima za komponente koje nude [14], što čini rad sa otvorenim hardverom mnogo zabavnijim za krajnje korisnike.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

## LITERATURA

- [1] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
- [2] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [3] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0336.pdf>
- [4] Luis (2018, July 16). CAD/CAM in Industry 4.0. <http://www.computeraideddesignguide.com/cad-cam-industry-4-0/>
- [5] Sarcar, M. M. M., Rao, K. M., & Narayan, K. L. (2008). Computer aided design and manufacturing. PHI Learning Pvt. Ltd..
- [6] Tickoo, S. (2016). SolidWorks 2016 for Designers. Cadcim Technologies
- [7] <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
- [8] <https://github.com/adafruit/RTClib>
- [9] <https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library>
- [10] [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SSD1306](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306)
- [11] <https://github.com/avishorp/TM1637>
- [12] <https://github.com/Naguissa/uEEPROMLib>
- [13] <https://www.arduino.cc/en/products/counterfeit>
- [14] <https://learn.sparkfun.com/>

## ABSTRACT

For many years, the use of open hardware has facilitated prototyping various devices. In this paper, the hardware used for developing of modular acquisition device for environmental parameters will be thoroughly described. Besides describing hardware and firmware, this paper is described as one of the software tools which enable designing device exterior. The device shows current temperature values of temperature, air humidity and actual time. 4 KB of EEPROM is used as a storage for data acquisition every 20 minutes, 24 hours a day, 7 days a week. In Industry 4.0 we shouldn't forget that information which is transferred, actually is the foundation of the entire system. In this paper, the accent is on reducing the quantity of stored information, maintaining accurate timestamp values and measurement values. List of used hardware: Arduino Nano, RTC DS3231, DHT22, OLED display, 7-segment 4-digit display, and external 5 V power supply.

### **Development of modular acquisition device for environmental parameters using open hardware in the Concept of Industry 4.0**

Ivan Gutai, Janoš Gutai, Marina Subotin,  
Platon Sovilj, Marjan Urekar, Đorđe Novaković



# Razvoj merne stanice sa web interfejsom, upotrebom otvorenog hardvera u konceptu Industrije 4.0

Ivan Gutai, *Member, IEEE*, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*, Marina Subotin, *Member, IEEE*, Nemanja Gazivoda, *Member, IEEE*, Bojan Vujičić, *Member, IEEE*

**Apstrakt** — Upotreba otvorenog hardvera pored toga što ubrzava razvoj prototipova uređaja, omogućava i kreiranje korisničkog interfejsa koji je prilagođen prenosnim uređajima kao što su tableti i mobilni telefoni. Upotrebom Espressif ESP32 razvojnog sistema je omogućeno merenje različitim senzorima, kreiranje bežične pristupne tačke (eng. Access Point-a), kreiranje web korisničkog interfejsa a zatim i pristup mernom sistemu sa prenosnog uređaja koji poseduje Wi-Fi. U radu je opisan edukativan primer kreiranja merne stanice, kao i konfigurisanja razvojnog okruženja za ESP32 razvojne sisteme. Pored razvojnog sistema, od hardvera je korišćen senzor BME 280 i 3.7 V litijumske baterije dimenzija 18650.

**Ključne reči**— ESP32, prenosni uređaji, web interfejs, BME280, 3.7 V 18650 baterije, Metrologija, Industrija 4.0

## I. UVOD

Merno-informacioni sistemi se koriste u velikom broju i često su podeljeni u grupe, u zavisnosti od toga šta mere. Upotrebom razvojnog sistema zasnovanog na ESP32 čipu [1], se navedenim sistemima proširuju mogućnosti. Na jednom mestu se skupljaju podaci i na neprimetan način se sistem integriše u već postojeću računarsku mrežu ili da se kreira nova, u kojoj će se pratiti rezultati merenja. Prilikom razvoja mikroprocesorskih merno-akvizicionih sistema, može se desiti da velika količina truda i vremena ode u pravcu kreiranja korisničkog interfejsa, koji će biti kako moderan, tako i funkcionalan. Sada je vreme kada su ljudi navikli da većinu informacija preuzimaju sa mobilnih telefona i tableta, pa se kreiranje web korisničkog interfejsa nameće kao efektivno rešenje, koje omogućava bržu izradu prototipa. Zajednice i otvorenog softvera i otvorenog hardvera na nedeljnom nivou omogućavaju korisnicima praktične primere koda kao i iscrpnu dokumentaciju. Da bi se uspešno pratili primeri sa onlajn izvora informacija kao što su [2], [3] ili [4]. Neophodno je znanje programskih jezika C, C++ i JavaScript, kao i napredni nivo korišćenja HTML5 i CSS3. Wi-Fi funkcionalnost kod ESP32 je samo jedna od naprednih mogućnosti, a treba istaći da poseduje i Bluetooth 4.2 i BLE

Ivan Gutai – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gutai@uns.ac.rs).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marina.bulat@uns.ac.rs).

Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: nemanjagazivoda@uns.ac.rs).

Bojan Vujičić – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: bojanvujic@uns.ac.rs).

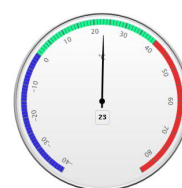
(Bluetooth Low Energy), što ostavlja mogućnosti za dalje proširivanje sistema.

## II. KORIŠĆENI HARDVER

Senzor koji meri temperaturu, vlažnost vazduha i pritisak je BME280 [5]. Postoje primeri koda koji prikazuju i nadmorski visinu, što nije metrološki korektno zato što ima dosta pretpostavki. Na osnovu promene izmerenih parametara se može zaključiti, tj. izračunati kolika je promena visine, pod uslovom da smo tog dana u sistem upisali kolika je trenutna vrednost pritiska vazduha na najbližoj obali mora, kako se navodi u specifikaciji proizvođača. Upotrebom dve Panasonic NCR18650B 3.7 V baterije kapaciteta po 3400 mAh, se omogućava prenosivost prototipa. Kompletan interfejs je web, a upotreba kapacitivnog senzora TTP223 predstavlja „dugme“ koje čovek treba da pritisne. U trenutnoj verziji firmvera pritisak, tj. dodir dugmeta predstavlja način na se inicira novo merenje, van definisane učestanosti merenja. Postoji mnogo verzija razvojnih sistema zasnovanih na ESP32 čipu, a korišćen je ESP32-DevKitC [6].

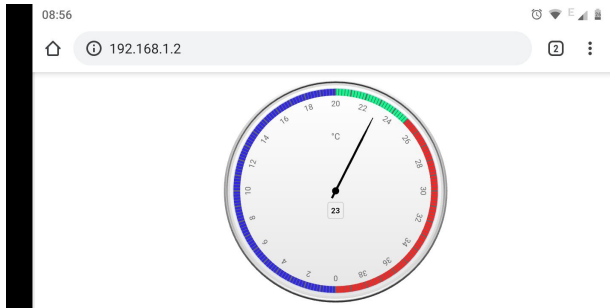
## III. POSTAVLJANJE KODA ZA FRONT END NA ESP32

4 MB eksterne memorije poznatijeg kao SPIFFS (Serial Peripheral Interface Flash File System) [7], predstavlja dovoljnu količinu memorije na koju se mogu smeštati svi fajlovi koji omogućavaju iscrpavanje web interfejsa. Opcija da se radi spajanje stringova i da se HTML, CSS i JavaScript sastavljaju liniju po liniju je moguća, ali je vrlo spora i mogućnost za grešku je neprihvatljivo visoka. Upotrebom SPIFFS-a i programerskog alata iz internet pretraživača na računaru (dugme F12), u realnom vremenu možemo da vršimo test sistema i da dobijemo pregled šta se dešava na front end-u naše aplikacije. Tačnost senzora je ona koju je definisao proizvođač, a mi možemo na front end-u npr. samo da smanjimo opseg skale radi lakše preglednosti. Da bi korisnici lakše prešli u Industriju 4.0, upotrebom modernih tehnologija ipak imamo mogućnost da im prikazemo nešto na šta su decenijama navikli, a to je analogna skala. Na slici 1 je prikazan pun opseg za temperaturu, od -40°C do 85°C koju je definisao proizvođač.



Sl 1. Analogna skala za prikazivanje izmerene temperature

Uređaj uvek treba prilagoditi zahtevima korisnika, pa nema potrebe konstantno težiti da se prikazuju i nepotrebne vrednosti. Npr. ako će prototip ovog uređaja meriti temperaturu optimalnih uslova za rad programera, koji po subjektivnom osećaju može biti u opsegu između 20°C i 25°C, nema smisla prikazivati minus deo skale, kao ni onaj deo preko 40°C. Na slici 2 je prikazan interfejs, posmatran iz Google Chrome pretraživača, sa Android mobilnog telefona, rezolucije ekrana 720 px x 1520 px, u horizontalnom režimu.



Sl 2. Interfejs prikazan na ekranu Android mobilnog telefona

#### IV. ASINHRONI JAVASCRIPT ZAHTEVI

U web programiranju u tzv. full stack developmentu, spoj između back end-a i front end-a ume često da se iskomplikuje. Potrebno je sa front end-a slati zahteve, a back end mora biti u stanju da na adekvatan način odgovara. Jedna od neprihvatljivih stvari na front end-u je neprestano učitavanje stranice, što se može nekad uočiti čestim treptanjem. U sistemu u kom pratimo razne parametre, najpogodniji način je da se svaki deo učitava, tj. osvežava zasebno, bez potrebe za uzastopnim osvežavanjem cele stranice. AJAX (Asynchronous JavaScript And XML) [8] zahtevi predstavljaju rešenje navedenog problema. Ukoliko na stranici imamo 20 različitih panela, a želimo da se neki ažuriraju na 5 s, neki na 20 minuta, a neki na 8 sati, AJAX zahtevi to omogućuju. Npr. treba samo voditi računa da back end i front end budu skladno podešeni, tj. da ne merimo na back end-u temperaturu jednom u 24 h, a da na front end-u podesimo da se vrednost osvežava na svakih 5 s. Još jedna prednost asinhronih zahteva je što nema blokiranja ostalih funkcija, dok se jedna izvršava.

#### V. ESP32 FUNKCIONALNOSTI

ESP32 ima dva Wi-Fi režima, STA (Station) i AP (Soft Access Point). U STA režimu se ESP32 povezuje u kućnu ili korporativnu Wi-Fi mrežu, na isti način kako se i mobilni telefoni povezuju. Uređaj dinamički dobije IP adresu, a zatim mu se pristupa sa ostalih uređaja. AP režim je kompleksniji za konfigurisanje, ali njegova prednost je što daje mogućnost da se na lokacijama gde nema Wi-Fi mreže, kreira sopstvena, npr. u automobilu. Postoji mogućnost zadavanja fiksne IP adrese, kao i opsega adresa koje će biti dodeljivane uređajima koji će se povezivati na navedeni merno-informacioni sistem. Za sve koje počinju sa korišćenjem razvojnih sistema kompanije Espressif, dobar početak je ESP8266. Reč je o modelu koji je postao deo IoT (Internet of Things) ekosistema, od 2014. je prisutan na tržištu i postoji izuzetno velika baza znanja i dosta kvalitetnih primera koda. Nakon dve godine stiže nešto skuplji, ali i moderniji je ESP32, a

jedini nedostatak je što postoji manji broj primera koda. Jedan od važnijih parametara koje treba istaći je i cena ovakvog razvojnog sistema, koja je ispod 10 €. U Tabeli I su navedeni važniji parametri aktuelnih razvojnih sistema, zasnovanih na otvorenom hardveru [9].

TABELA I  
Parametri aktuelnih razvojnih sistema, zasnovanih na otvorenom hardveru

	Arduino Nano	Arduino Mega	Arduino Due	Espressif ESP32
Napon	5 V	5 V	3.3 V	3.3 V
Količina fleš memorije	32 KB	256 KB	512 KB	448 KB
Eksterni SPI RAM	/	/	/	4 MB
SRAM	2 KB	8 KB	96 KB	520 KB + 16 KB (RTC)
Takt	16 MHz	16 MHz	84 MHz	80 MHz - 240 MHz
EEPROM	1 KB	4 KB	/	/
Broj jezgara	1	1	1	2
Wi-Fi	/	/	/	802.11 b/g/n
Arhitektura	8-bit	8-bit	32-bit	32-bit
Približna potrošnja u režimu mirovanja	10 mA	70 mA	110 mA	100 mA

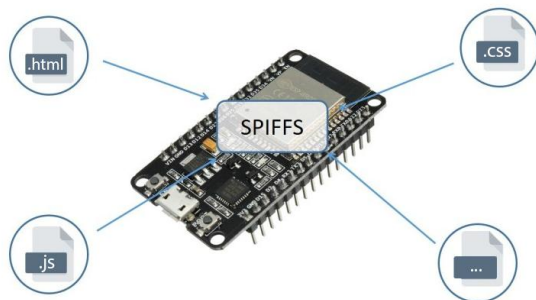
#### VI. PRILAGOĐAVANJE RAZVOJNOG OKRUŽENJA ZA ESP32

Kao razvojno okruženje, uz manje modifikacije se može koristiti Arduino IDE (Integrated Development Environment). Postavljanje koda na korišćenju ESP32-DevKitC radi dobro ukoliko je izabrana ploča „ESP32 Dev Module“, a svi ostali parametri su podešeni kao na slici 3.



Sl. 3 Parametri ESP32 u Arduino IDE

Deo „ESP32 Sketch Data Upload“ omogućava korišćenje SPIFFS-a, kao memorije gde se snimaju: html, css, js ili fajlovi sa bilo kakvom ekstenzijom. Na slici 4 je ilustrovano kako se navedeni fajlovi mogu postaviti na memoriju mikrokontrolera, na identičan način kao što bi se fajlovi postavljali na web hosting ili bilo koju verziju fajl sistema.



Sl. 4 Ilustracija postavljanja fajlova na memoriju mikrokontrolera

Za svaki fajl mora da se navede na kojoj lokaciji će se nalaziti. Svi fajlovi će se nalaziti unutar „data“ foldera, tj. index.html će biti na lokaciji: „data/index.html“, itd. Navedene funkcionalnosti omogućavaju kompletno pisanje i testiranje koda u omiljenom razvojnom okruženju, kao što je npr. Microsoft Visual Studio Code. Jedini nedostatak trenutne verzije SPIFFS-a je to što je podržana ravna, (eng. flat) raspodela fajlova, bez mogućnosti upotrebe foldera. Dok ne stigne novija verzija gde će ovaj manji nedostatak biti otklonjen, svi fajlovi se nalaze u „data“ folderu.

#### PROTOTIP UREĐAJA

U trenutnoj verziji firmvera merenje temperature se vrši na svakih petnaest minuta, dok je ostavljena mogućnost pritiska da dugme radi iniciranja novog merenja. Uređaj radi u STA režimu, a baterije ukupnog kapaciteta od 6800 mAh omogućavaju višednevni rad, u aktivnom režimu rada. Na testu, uređaj je dobio adresu 192.168.1.2, a pošto se cela Wi-Fi mreža nalazi iza proksi servera, na lokalnom računaru i na mobilnom uređaju je bilo potrebno podesiti da se za lokalne adrese ne koristi proksi.

Uređaj koristi indikator napunjenosti baterije oznake 1S, što označava da je baterija puna na 100 %, kada napon na njoj iznosi 4.2 V. Indikator ima potrošnju od približno 5 mAh i ima 4 podeoka.

Svi režimi rada ESP32 su: *Active*, *Modem-sleep*, *Light-sleep*, *Deep-sleep* i *Hibernation*. Na osnovu rezultata sistem testa i na osnovu potrebnog odnosa performansi i trajanja baterije, u nekoj od narednih iteracija će biti primenjen jedan od režima uštede energije, što ostavlja mogućnost da se i do deset puta smanji potrošnja energije.

Testiranje je izvršeno na Google Chrome i Mozilla Firefox internet pretraživačima na Android 9 i na Windows 10 operativnim sistemima.

#### ZAKLJUČAK

Programiranje, kao i prelazak u Industriju 4.0 bi trebalo da bude u istoj meri i izazovno i zabavno, a najvažnije odluke ipak treba da donosi čovek. Takođe, uređaji treba da se uklupe u sisteme koje smo navikli da koristimo. Uređaj koji je povezan na korporativnu ili kućnu Wi-Fi mrežu predstavlja

komotan način da se u novom tabu internet pretraživača otvori nešto ozbiljno, kao što je nadzor merno-informacionog sistema.

U prototip uređaja je ugrađeno jedno kapacitivno dugme, koje će u svim verzijama firmvera služiti kao nešto sa čime mora da se potvrdi neka akcija. Npr. ako u web interfejsu ostavimo mogućnost promene nekog od parametara, kao što je tačno vreme u sistemu, bitno je da pored toga što smo mi ili neko od korisnika sistema „kliknuli“ u web interfejsu, radnju potvrdimo i na samom hardveru.

U elektrotehnici većito postoji podela, na softveraše i hardveraše. Web dizajn je specifična nauka, koja se često svodi na zanat i hardveraši u većini slučajeva ne smatraju ozbiljno softver developere, kao ni front end developere. U ovom momentu postavljanje fajlova potrebnih za web aplikaciju na memoriju razvojnog sistema predstavlja relativno novu stvar, a ona u velikoj meri olakšava softverašima da koriste hardver samo u onoj meri koliko im je to potrebno.

Hardveraši, spremite se za web dizajn na mikrokontrolerima.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

#### LITERATURA

- [1] [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- [2] <https://www.sitepoint.com/best-javascript-charting-libraries>
- [3] <https://lastminuteengineers.com>
- [4] <https://randomnerdtutorials.com>
- [5] <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280>
- [6] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/hw-reference/get-started-devkic.html>
- [7] <https://github.com/me-no-dev/arduino-esp32fs-plugin>
- [8] <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/AJAX>
- [9] <https://www.arduino.cc>

#### ABSTRACT

Usage of open hardware speeds up the development of prototypes and provides the web interface which is accommodated to portable devices such as mobile phones or tablets. Using Espressif ESP32 development system enables measurement using various sensors, the creation of Wi-Fi Acces Point, the creation of a web user interface, and access to measuring system from some Wi-Fi enabled portable devices. In this paper, an educational example is given for the creation of a measuring station and configuring an integrated development environment for ESP32 development boards. Besides the development system, hardware as a BME280 sensor and 3.7 V 18650 lithium batteries are used.

#### Development of measuring station with web interface using open hardware in the Concept of Industry 4.0

Ivan Gutai, Platon Sovilj, Đorđe Novaković,  
Marina Subotin, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić

# Stohastičko merenje slabih prostoperiodičnih signala i detekcija nule - teorijski aspekt

Bojan Vujičić, Dragan Pejić, Vladimir Vujičić

**Apstrakt**—U radu je postavljen i rešen problem merenja slabih AC signala i detekcije AC nule primenom dvobitne stohastičke digitalne merne metode. Pokazano je kako se sa detekcijom nule na opisani način može zaći u subnanovoltno područje.

**Ključne reči**—Stohastička digitalna merna metoda, detekcija nule, merenje slabih prostoperiodičnih signala, nanovoltmetar.

## I. INTRODUCTION

Na Katedri za električna merenja FTN u Novom Sadu eksperimentalno je istraživan uticaj rezolucije primenjenog fleš A/D konvertora na mernu nesigurnost instrumenta – dvostrukog trofaznog analizatora snage MM2 u kome je primenjena stohastička digitalna merna metoda (SDMM). Ovaj uređaj je prikazan na sici 1. Favorit je bila dvobitna rezolucija, ali je izrađen i jedan prototip sa četvorobitnim fleš A/D konvertorom. Uočeno je da u slučaju merenja malih struja (što je bitno u merenju malih snaga i, posebno, malih energija) sa približavanjem amplitude nuli:

a) u oba slučaja (i kod dvobitnog i kod četvorobitnog A/D konvertora) raste preciznost (smanjuje se standardna devijacija merenja amplitude), i

b) u slučaju četvorobitnog fleš A/D konvertora standardna devijacija je znatno (nekoliko puta) manja za istu vrednost amplitude.

To je bila motivacija da se taj problem uopšti kao problem merenja ekstremno malih prostoperiodičnih signala i detekcije AC nule, i da se detaljno teorijski istraži. U radovima [1], [2], [3], [4], [5] iz više aspekata je prikazana teorija SDMM i pokazana teorijska zavisnost merenja, u prvom redu efektivne vrednosti i harmonika od rezolucije primenjenog A/D konvertora i uređaja za obradu (množaća/akumulatora). Za tu svrhu je bilo potrebno precizno definisati hardverski i softverski model mernog instrumenta, odnosno, detektora AC nule.

S druge strane, nul-detektor je klasičan merni instrument (AC voltmetar) koji detektuje ravnotežu AC mernog mosta. Najviše je korišćen šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka [6]. Zatim je došlo do promene u konstrukciji AC mernih mostova tako da su dve grane mosta postale digitalni,

Bojan Vujičić - Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: bojanvuj@uns.ac.rs).

Dragan Pajić - Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).

Vladimir Vujičić - Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: vujicicv@uns.ac.rs).



Slika 1. Dvostruki trofazni analizator snage MM2.

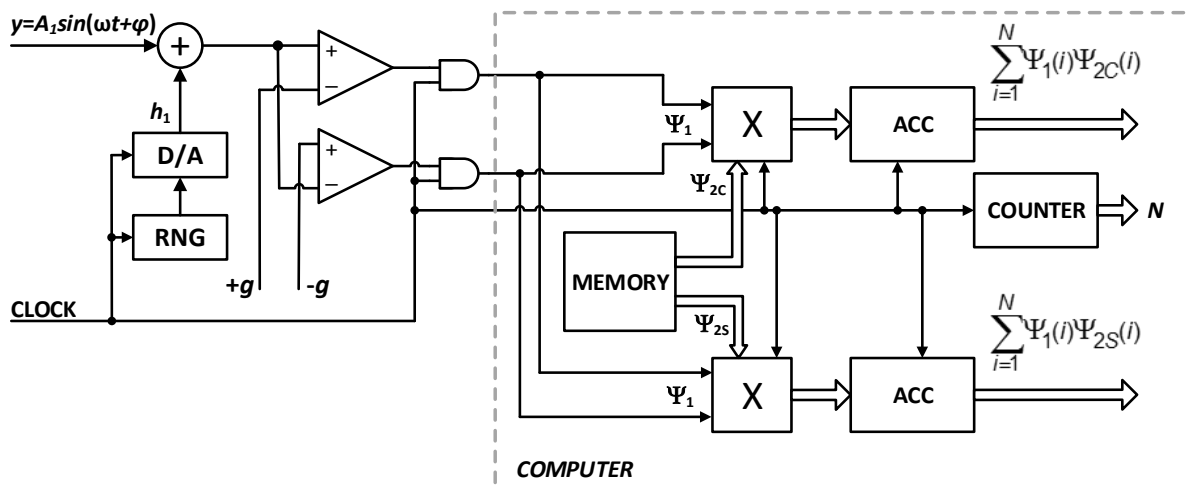
softverski kontrolisani izvori AC napona [7]. Navedeni pristup (mostovi sa dva izvora AC napona) je praktično definisao AC merni most kao jedinstven digitalni sistem sa jedinstvenim vremenom i frekvencijom. To je činjenica koja izuzetno olakšava detekciju nule jer uravnotežavanje i detekcija nule postaju delovi istog digitalnog algoritma. Rezolucija A/D konvertora (u mernoj dijagonali) i dva D/A konvertora (u granama mosta) su obično jednake, mada to nije neophodno. AC most sa dva izvora može biti realizovan i drugačije: razvoj digitalnih generatora funkcija je omogućio da imamo nekoliko nezavisnih izvora u istom instrumentu [7], pa se dva izvora (kanala) mogu usvojiti za jedan most. Blok za detekciju AC nule je tada poseban element koga treba povezati u digitalni sistem mosta. Visoka tačnost i visoka stabilnost savremenih generatora funkcija ( $1 \cdot 10^{-6}/\text{god}$ ) omogućavaju punu primenu SDMM za detekciju nule. SDMM [9], zahvaljujući upotrebi uniformnog slučajnog ditera postiže visoku rezoluciju iako radi sa A/D konvertorima niske rezolucije, najčešće dvobitnim. Postiže i visoku tačnost jer, zbog jednostavnog hardvera, ima mali broj izvora sistematske greške. U radu [5] je pokazano kako se metodološki može čak za više od tri reda veličine smanjiti uticaj ofseta komparatora u dvobitnom fleš A/D konvertoru na tačnost merenja AC signala. Ofseti komparatora su ključni uticajni faktori u ovom merenju.

U ovom radu se analizira osobina SDMM – porast rezolucije sa približavanjem mernog AC signala nuli i njena primena u merenju ekstremno malih prostoperiodičnih signala i u detekciji AC nule. Ona se analizira teorijski, a dobijeni rezultati se proveravaju simulaciono u programima koji su napisani u programskom jeziku Delphi.

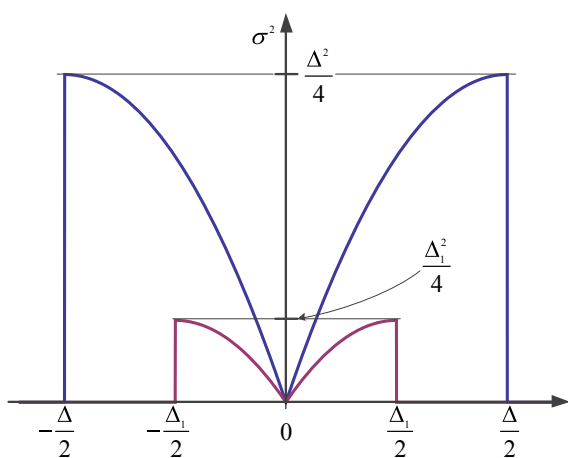
## II. PREDLOG REŠENJA

### A. Hardverski model

Usvaja se dvobitni fleš A/D konvertor sa promenljivom rezolucijom, odnosno kvantom,  $\Delta_1 = R_1 = 2g$ , za merenje AC



Slika 2. Šematski prikaz teorijskog hardverskog modela stohastičkog digitalnog detektora nule.

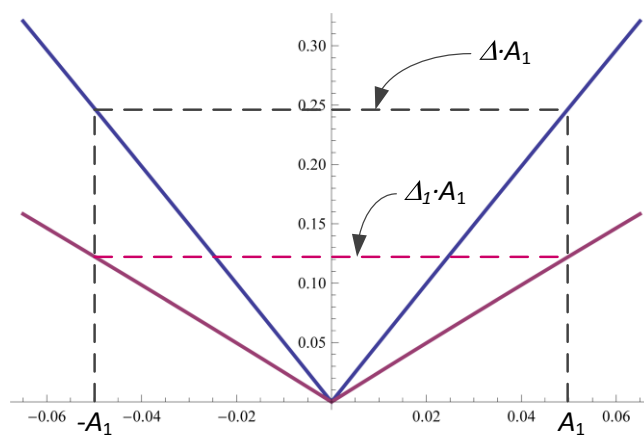


Slika 3. Varijansa izlaza dvobitnog A/D konvertora u  $\Delta/2$  i  $\Delta_1/2$  okolini nultog kvantnog nivoa.

signala, kao na (slika 2). Sa promenljivim kvantom  $\Delta_1$  on može da predstavlja i četvorobitni i, uopšte, višebitne konvertore u blizini nule. U bliskoj okolini nule je amplituda  $A \ll \Delta_1$ , pa viši kvantni nivoi nisu ni bitni. Varijansa SDMM definiše njenu preciznost i na slikama (slike 3 i 4) se vidi uticaj veličine kvanta na njenu vrednost. Na slici 3 je posebno istaknuta linearna zavisnost varijanse od amplitude sinusoidalnog signala u bliskoj okolini nultog kvantnog nivoa. To je od ključnog značaja za nalaženje teorijske granice detekcije nule, odnosno, rešenje problema u celini. Relacije na osnovu kojih su dobijeni grafici na slikama (slike 3 i 4) su izvedene u [9] (dodaci 2 i 3). Kao uređaj za obradu se usvaja računar sa USB priključkom koji radi u floating-point aritmetici u dvostrukoj preciznosti, pa je njegova rezolucija ekstremno visoka, i praktično je  $\Delta_2 = 0$ .

### B. Softverski model

Usvaja se algoritam DFT za merenje amplitude osnovnog, u AC mostnim metodama i jedinog harmonika amplitude  $A_1$ .



Slika 4. Normirana varijansa izlaza dvobitnog A/D konvertora u okolini nultog kvantnog nivoa za sinusni signal amplitude  $A \ll \Delta = 2\Delta_1$ .

### III. REŠENJE TEORIJSKOG PROBLEMA

Na slici 2 je šematski prikazan teorijski hardverski model uređaja za merenje ekstremno malih sinusoidalnih napona. Ako primenom stohastičke digitalne merne metode merimo srednju vrednost integrala proizvoda dva signala na konačnom vremenskom intervalu  $T = t_1 - t_2$  i ako sempling učestanost  $f_s \rightarrow \infty$ , onda je

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N \Psi_1(i)\Psi_2(i)}{N} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f_1(t)f_2(t) dt \quad (1)$$

i tada nema greške, odnosno, merna nesigurnost je nula. Ako je, pak, frekvencija semplovanja konačna, a kvant A/D konvertora na oba kanala  $\Delta$ , tada važi:

$$\frac{\sum_{i=1}^N \Psi_1(i)\Psi_2(i)}{N} \approx \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f_1(t)f_2(t) dt \quad (2)$$

a varijansa srednje vrednosti greške kvantizacije  $\sigma_e^2$  je ograničena i iznosi:

$$\sigma_e^2 = \frac{\sigma_e^2}{N} \leq \frac{1}{N} \left\{ \frac{\Delta_1^2}{4} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (f_1^2(t) + f_2^2(t)) dt + \frac{\Delta_1^4}{16} \right\} \quad (3)$$

U uređaju uvek je  $y_1 = f_1(t) = A_1 \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(\omega t + \varphi)$ , a

$y_2$  je ili  $y_2 = f_2(t) = \cos(\omega t)$  ili je  $y_2 = f_2(t) = \sin(\omega t)$  u zavisnosti od toga da li se meri kosinusna ili sinusna komponenta osnovnog harmonika AC signala. Greška  $e$  je definisana u svakom trenutku sa:

$$\Psi = \Psi_1 \cdot \Psi_2 = y_1 y_2 + e \quad (4)$$

Kada su rezolucije, odnosno kvanti merenja  $y_1$  i  $y_2$  različiti, relacija (3) postaje:

$$\sigma_e^2 = \frac{\sigma_e^2}{N} \leq \frac{1}{N} \left\{ \frac{\Delta_1^2}{4} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f_2^2(t) dt + \frac{\Delta_2^2}{4} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f_1^2(t) dt + \frac{\Delta_1^2 \Delta_2^2}{16} \right\} \quad (5)$$

Specijalan slučaj relacije (5) je slučaj kada je  $\Delta_2^2 \ll \Delta_1^2$ , praktično govoreći, situacija kad  $\Delta_2 \rightarrow 0$ .

$$\sigma_e^2 = \frac{\sigma_e^2}{N} \leq \frac{1}{N} \frac{\Delta_1^2}{4} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f_2^2(t) dt \quad (6)$$

Ako je  $y_2 = f_2(t)$  funkcija iz Furijeove ortonormirane baze, onda je merna nesigurnost ograničena konstantom ako je interval vremena  $t_2 - t_1$  jedna ili ceo broj perioda funkcije  $y_2 = f_2(t)$

$$\sigma_e^2 = \frac{\sigma_e^2}{N} \leq \frac{1}{N} \frac{\Delta_1^2}{4} \cdot \frac{1}{2} \quad (7)$$

za proizvoljnu funkciju iz Furijeove ortonormirane baze. U svim ovim slučajevima je pretpostavljeno da je  $|y_1|_{\max} \leq \Delta_1$  ili  $|y_1|_{\max} \ll \Delta_1$ . U slučaju merenja vrlo slabog AC signala ili detekcije nule je  $y_1 = A \sin(\omega t + \varphi)$  i  $A \rightarrow 0$ . Kako je  $|y_1|_{\max} = A \rightarrow 0$ , sledi da je  $|y_1|_{\max} \ll \Delta_1$  što je potpuno drugačija situacija u odnosu na dosad istraživane i analizirane. Na slici 2 je prikazana zavisnost  $\sigma_e^2(y_1)$  u slučaju dvobitnog A/D konvertora u stohastičkoj digitalnoj mernoj metodi:

$$\sigma_e^2(y_1) = |y_1| (\Delta_1 - |y_1|) \quad (8)$$

Ako je  $|y_1|_{\max} = A \ll \Delta_1$ , onda je

$$\sigma_e^2(y_1) \leq \Delta_1 \cdot A \quad (9)$$

pa relacija (7) postaje:

$$\sigma_e^2 \leq \frac{1}{N} \frac{\Delta_1 \cdot A}{2} = \varepsilon^2 \quad (10)$$

Kompletno izvođenje relacije (10), ključne za analizu mogućnosti primene SDMM na detekciju nule, dato je u Dodatku 3 u [9].

Ako želimo da izmerimo amplitudu napona  $A$  pomoću stohastičke digitalne merne metode i hardvera (slika 2), onda je:

$$A_m = \sqrt{a_m^2 + b_m^2} \leq \sqrt{(a + \varepsilon)^2 + (b + \varepsilon)^2} \quad (11)$$

merena vrednost amplitude  $A_m$ , a

$$A = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (12)$$

tačna vrednost amplitude  $A$ . Ako  $A \rightarrow 0$ , onda i  $a^2 \rightarrow 0$  i  $b^2 \rightarrow 0$ , odnosno  $|a| \rightarrow 0$  i  $|b| \rightarrow 0$ , pa (11) postaje:

$$A_m \leq \sqrt{2\varepsilon^2} = \sqrt{\frac{\Delta_1 \cdot A}{N}} \quad (13)$$

Podatak o amplitudi, u slučaju mernog mosta, nemamo, nego samo:

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \Psi_1(i) \Psi_{2C}(i) \approx a \quad (14)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \Psi_1(i) \Psi_{2S}(i) \approx b \quad (15)$$

S druge strane, granica merne nesigurnosti zavisi od amplitude. U slučaju (13) verovatnoća da je  $A = 0$  je 68 % jer je faktor prekrivanja 1 (budući da se radi o Normalnoj raspodeli greške). Dva puta veća granica je u slučaju da je verovatnoća 95 %, odnosno, faktor prekrivanja 2. Na samoj granici je:

$$A_m = A_g = 2 \sqrt{\frac{\Delta_1 \cdot A_g}{N}} \quad (16)$$

pa važi

$$A_g = \frac{4\Delta_1}{N} \quad (17)$$

Kada je merena veličina  $A_m$ , unutar kruga poluprečnika  $A_g = (4\Delta_1)/N$  u kompleksnoj ravni, detektovana je nula sa 94 % pouzdanosti. Lako se pokazuje [9] da pojačanjem signala i produžavanjem intervala vremena merenja dalje može suziti granica detekcije nule:  $A_g = (9\Delta_1)/(kN)$ . Napominjemo da je sada faktor prekrivanja 3 i pouzdanost 99.7%, a  $k$  je pojačanje signala.

Neka su parametri merenja, odnosno SDMM  $\Delta_1 = 0.05$  V,  $f_s = 500$  kHz,  $t_2 - t_1 = 100$ s i  $k = 100$ . Tada je na osnovu upravo navedene relacije:

$$A_g = \frac{9 \cdot 0.05 \text{ V}}{100 \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 100} = \frac{9 \cdot \cancel{5} \cdot 10^{-2} \text{ V}}{10^4 \cdot \cancel{5} \cdot 10^5} = 9 \cdot 10^{-11} \text{ V} \approx 1 \cdot 10^{-10} \text{ V}$$

odnosno

$$A_g \approx 0.1 \text{ nV}.$$

Već za ovakav skroman izbor parametara merenja korišćenjem dvobitne stohastičke digitalne merne metode se dobija izuzetno uska teorijska granica detekcije nule i to sa pouzdanošću od 99,7% . Ona se i dalje može sužavati, bilo:

- Smanjenjem  $\Delta_1$ ,
- povećanjem frekvencije semplovanja  $f_s$ ,
- odnosno produžavanjem intervala merenja,
- povećanjem pojačanja.

#### IV. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano kako se može, primenom dvobitne SDMM, realizovati AC nanovoltmetar, odnosno, izuzetno osetljivi detektor AC nule u subnanovoltnom području. Korektnost opisane teorije i izvedenih zaključaka je eksperimentalno proverena na realizovanom prototipu koji potvrđuje koncept. Teorija je potvrđena u okviru mogućnosti Laboratorije za metrologiju FTN u Novom Sadu tj. u mikrovoltnom području.

## REFERENCES

- [1] V. V. Vujcic, S. S. Milovancev, M. D. Pesaljevic, D. V. Pejic, and I. Z. Zupunski, "Low-frequency stochastic true RMS instrument," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 48, no. 2,
- [2] V. Vujcic, "Generalized low-frequency stochastic true RMS instrument," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 50, no. 5, pp. 1089–1092, Oct. 2001.
- [3] B. M. Santrac, M. A. Sokola, Z. Mitrovic, I. Zupunski, and V. Vujcic, "A novel method for stochastic measurement of harmonics at low signal-to-noise ratio," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 58, no. 10, pp. 3434–3441, 2009.
- [4] A. Radonjic, P. Sovilj, and V. Vujcic, "Measurement uncertainty bounds of DSM method," 2012, pp. 572–573.
- [5] D. Pejic, M. Urekar, V. Vujcic, and S. Avramov-Zamurovic, "Comparator offset error suppression in stochastic converters used in a watt-hour meter," 2010, pp. 235–236
- [6] "Tuned Amplifier and Null Detector." General Radio Company, Apr-1962.
- [7] D. Tarach and G. Trenkler, "A noise-adaptive digital null detector," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 46, no. 2, pp. 435–438, Apr. 1997.
- [8] V. Vujičić, I. Župunski, Z. Mitrović, and M. Sokola, "Measurement in a point versus measurement over an interval," in *XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology*, 2009.
- [9] B. Vujcic, "Null Detection Using a Low Resolution A/D Converter (in Serbian)," PhD thesis, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, 2017.

## ABSTRACT

The paper presents and solves the problem of measuring weak AC signals and AC null-detecting using a two-bit stochastic digital measurement method. It is also shown how the proposed method for null-detecting can reach sub-nanovolt region.

## **Stochastic measurement of weak AC signals and AC null-detection - theoretical aspect**

Bojan Vujičić, Dragan Pejić, Vladimir Vujičić

# Etaloniranje DC napona i struje u konceptu Industrije 4.0

Zdravko Gotovac, Marjan Urekar, *Member, IEEE*

**Apstrakt**—Rad predstavlja kratak istorijski i tehnički pregled etaloniranja u oblasti jednosmjernog napona i struje, kao i diskusiju potencijalnih iskoraka koje je moguće napraviti u svjetlu novih naučnih otkrića, kao i tehnoloških napredaka. Objasnjava razvoj različitih etalonskih tehnologija, njihovih međusobnih razlika, kao i njihovih usvajanja i upotrebe od strane internacionalnih organizacija odgovornih za postavljanje i održavanje etalona.

**Ključne reči**—Etalon, jednosmjerni napon, jednosmjerna struja, etaloniranje, Industrija 4.0

## I. ISTORIJSKI UVOD

### 1. Saturisane i Nesaturisane Vestonove ćelije

Saturisane i Nesaturisane Vestonove ćelije su praktično identične. Jedina razlika između njih je ta što nesaturisane ćelije ne sadrže kadmijum-sulfatne kristale, pa je njihova temperatura smanjena na 4°C. U poređenju sa saturiranim ćelijama, napon nesaturiranih je veći i mnogo nestabilniji, ali ima bolji temperaturni koeficijent.

### 2. Istorija ćelijskih etalona

Elektrohemijske ćelije, sa hemijski proizvedenim temperaturnim naponskim driftom, bile su najpraktičnija prvobitna rješenja. Danjelova ćelija, koja se sastoji od elektroda bakra i cinka u kombinaciji sa elektrolitima bakar-sulfata i cink-sulfata je napravljena, ali se pokazala nestabilnim rješenjem. Latimer Klark napravio je 1872. godine ćeliju koja se sastojala od žive, cink-mangana, elektroda saturisanih cink-sulfatom koja je smještena u stakleno kućište da spriječi isparavanje elektrolita. 1892. godine Veston je napravio kadmijumske ćelije sa dodatnim poboljšanjima u ponovljivosti i stabilnosti.

### 3. Istorijско održavanje (etaloniranje) volta

NBS (The United States National Bureau of Standards) je postavio 12 Vestonovih kadmijumskih ćelija za upotrebu 1906. godine da budu korištene za prenos i upotrebu. Konstanta efekta termičkog napona koja je određena za ove ćelije je bazirana na poređenju sa Klarkovim ćelijama. Maja 1910. godine, eksperimentom sa srebrnim i živinim voltmetrima popravili su vrijednosti internacionalnog ampera. Etalon volta, održavan u obliku Vestonovih ćelija, ispostavilo se da ima vrijednost od 852  $\mu$ V. Narednih 61 godinu, vrijednost volta je održavana paketom saturisanih etalonskih ćelija. Nadležnost nad svim etalonima potpada pod dužnost BIPM (*Bureau international des poids et mesures*).

## II. ETALONI JEDNOSMIJERNOG NAPONA I STRUJE

### 1. SI definicija jednosmjerne struje i napona

Amper je bazna jedinica za jačinu električne struje u Međunarodnom Sistemu Jedinica. SI definicija volta je

Zdravko Gotovac – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gotovaczdravko17@gmail.com).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs).

izražena preko jedinice za jačinu električne struje ampera (A) i jedinice za snagu vat (W).

### 1.1. Amper

SI sistem povezuje jedinicu za snagu i jedinicu za jačinu električne energije, definišući amper kao “konstantnu jačinu električne struje koja, ako prolazi kroz dva paralelna provodnika sa zanemarljivom površinom poprečnog presjeka koji se nalaze na rastojanju od 1m u vakuumu, proizvodi silu koja je jednaka  $2 \times 10^{-7}$  njutna (N) po metru (m) dužine provodnika”. Zbog toga što je teško praktično ostvariti ovaj eksperiment, dolazi do velikih grešaka koje iznose nekoliko ppm (parts per million) [1]. Magnetno polje koje stvaraju namotaji, dok struja protiče kroz njih, i privlačna sila koju magnetno polje stvara na lijevoj strani su izbalansirani sa desne strane tegom poznate težine. Sila je prouzrokovana elektromagnetnim poljem koje sa javlja prilikom kretanja elektrona. Drugim riječima, jedan amper je jednak protoku jednog kulona elektrona tokom svake sekunde unutar električnog kola. Zbog toga što je nepraktičan za realizaciju, ne postoji standardni etalon ampera, i on je realizovan koristeći se odnosom volta (V) i oma ( $\Omega$ ),  $I=E/R$  gdje je: I – jačina električne struje u amperima

E – elektromotorna sila izražena u voltima

R – otpornost izražena u omima

### 1.2. Volt

Volt je definisan preko ampera u Sistemu SI jedinica kao „razlika električnog potencijala između dvije tačke na električnom provodniku, prilikom čega kroz njega protiče električna struja jačine jednog ampera i na njemu se disipira snaga od jednog vata“. Koristeći se mehaničkim jedinicama volt je:

$$V=W/A \quad W=J/s \quad J=Nm \quad (1), \text{ gdje je}$$

J – džul (izvedena SI jedinica za rad/energiju)

### 2. Etaloni jednosmjernog napona

Mnogobrojne nacionalne laboratorije su sprovele eksperimente u oblasti fizike kojima su obezbijedili realizaciju etalona ampera, volta i oma. Otkrića u oblasti kvantne mehanike su dovela do nove realizacije volta i oma, koristeći se Džozefsonovim i Kvantnim Holovim efektom [2]. Etalon volta izrađen u tehnologiji diskretne elektronike i saturisane standardne ćelije su takođe korištene kao etaloni volta.

### 2.1. Etaloni izrađeni korišćenjem Džozefsonovog spoja

Džozefsonov efekat je fizička pojava kod superprovodnika, koja je odnos napona i frekvencije predstavljen preko osnovnih konstanti. Džozefsonov niz, koristeći integrisano električno kolo u kom se nalazi veliki broj Džozefsonovih spojeva, je intrinzični, nezavisno izvedeni etalon koji je korišten, umjesto SI realizacije volta. Napon koji se javlja na jednom Džozefsonovom spoju predstavljen je sa



$$V_i = \frac{nf}{K_{j-90}} \quad (2), \text{ gdje su:}$$

$V_i$  – napon presjeka

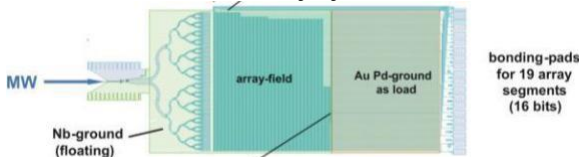
$f$  – frekvencija u GHz

$K_{j-90}$  – 483597.9 GHz

$n$  – pozitivni ili negativni prost broj

Od 1988. godine, CiPM (*Certificate in Investment Performance Measurement*) preporučuje da sve laboratorije na nacionalnom nivou, koriste istu vrijednost Džozefsonove konstante.  $K_{j-90}$  ( $K_{j-90} = 483597.9 \text{ GHz}$ ) je preporučena vrijednost koja je stupila na snagu 1. januara 1990. godine.

Džozefsonov efekat [3] je otkriven 1962. godine, koji se javlja između dva superprovodnika, koji su razdvojeni tankim slojem izolatora u vidu oksida. Džozefsonov niz obezbjeđuje (slika 1) DC napon upotrebom 18992 spoja (može i više) koji su redno vezani, bar što se tiče njihovog DC napona i struje polarizacije. Međutim, što se tiče AC struje, spojevi su organizovani kao 16 paralelnih grupa od po 1187 spojeva koji su redno povezani, i zbog visokih kapacitivnosti, se ponašaju kao provodna traka. Kada mikrotalasi koji nose snagu emitovanu iz Gunn diode prođe kroz njih, pri jednakoj impedansi na kraju svake grupe. Filtrirajući kondenzatori i kalemovi su korišteni za razdvajanje DC i AC veličina.



Slika 1 Džozefsonov niz

Spojevi se nalaze u kriogenoj komori rashlađeni na 4.2 K upotrebom tečnog helijuma. Uniformnost u predstavljanju etalona DC napona među laboratorijama na nacionalnom nivou, koji se zasniva na Džozefsonovom spoju, postignuta je 1. januara 1990. godine. Ranije izrade etalona volta zasnovane na Džozefsonovom spoju bile su nepraktične za upotrebu, najviše zbog toga što se javlja mali naponski nivo, čija je vrijednost 10mV, na jednom Džozefsonovom spoju. Pokušaji da se spojevi povežu u red da bi se obezbijedio veći naponski nivo, ograničene su zbog toga što je neophodno obezbijediti nezavisnu struju polarizacije za svaki pojedinačni spoj. Problem struje polarizacije je izbjegnuto tako što se prave spojevi velike kapacitivnosti, koji su serijski povezani, i koji su pobuđeni mikrotalasnom AC strujom čija je frekvencija značajno veća od plazma frekvencija tih spoja. Plazma frekvencija je prirodna rezonantna frekvencija, koja je funkcija induktivnosti i kapacitivnosti spoja. Ova tehnologija je upotrebljena u Džozefsonovom nizu koji može da proizvede  $15 \times 10^4$  kvantifikovanih DC naponskih nivoa u rasponu od -10V do 10V.

Dok bi bilo dobro posjedovati naprednu tehnologiju kao što je Džozefsonov spoj, ta tehnologija je skupa za nabavku i za održavanje. Cijena nabavke Sistema Džozefsonovog spoja u Americi 1992. godine je iznosila \$85000, dodatnih \$25000 potrošeno je na inženjerske poslove i puštanje sistema u rad. Godišnji radni troškovi iznose \$10000, od kojih većina predstavlja cijenu tečnog helijuma. Danas najskuplji programabilni sistemi koštaju i do nekoliko stotina hiljada dolara (SRI 6000e Series Programmable Josephson Voltage

Standard košta preko \$300000) [4]. Troškovi na helijum se mogu smanjiti upotrebom zatvorenog helijumskog sistema. Adekvatni naponski etaloni mogu biti izrađeni i u diskretnoj elektronici. Moderne kalibracije zasnovane na statističkim metodama i šeme održavanja, omogućavaju postavljanje standarda sa malim mjernim greškama nesigurnosti, koje su tipično do 0.3 ppm. Dok je sistem Džozefsonovog spoja sam po sebi sposoban da da mjerenja sa mjernom nesigurnošću od nekoliko milijarditih djelova, mora se uzeti u obzir da na većinu etaloniranja utiče šum i nestabilnost koju izaziva uređaj koji kalibrišemo.

**2.2. DC naponski etaloni izrađeni u diskretnoj elektronici**  
Danas se koriste dva tipa DC naponskih etalona izrađenih u diskretnoj elektronici: referentni pojačavač sa integrisanom zener diodom i jednu ili više temperaturno kompenzovanih zener dioda, koji su prevazišli ograničenja saturisanih standardnih ćelija. Etaloni izrađeni u tehnologiji diskretne elektronike su mehanički robusni, i mogu da se ponašaju kao strujni potrošač i izvor. Bez ikakvih fizičkih oštećenja, i imaju malu temperaturnu disipaciju. Pored toga, mogu da se ponašaju kao izvor visokih napona koji smanjuje efekte termalnog naponskog šuma koji se javlja u spojevima. Ovo ih čini boljim za upotrebu i kalibraciju.

Referentni pojačavač je integrisano električno kolo koje se sastoji od zener diode i tranzistora. Referentni napon  $V_{ref}$ , je suma napona zener diode i napona koji se nalazi između baze i emitera na tranzistorskom spoju. Ova konfiguracija obezbjeđuje temperaturnu kompenzaciju, kao i stabilnije stanje prilikom upotrebe. Referentni pojačavač ima prednosti u odnosu na upotrebu diskretne zener diode. Struja u zener diodi se može podešavati nezavisno od struje baze tranzistora. Tako se može podesiti kolektorska struja referentnog pojačavača da bude blizu neutralne.

Otkrića 1950-ih iz fizike koja se bave čvrstim stanjem materije, između ostalog su dovela do otkrića zener diode, i naponskih regulatora diskretne elektronike. Prvobitne zener diode nisu bile naročito stabilne i imale su velike nivoe šuma. Današnje, naprednije, zener diode imaju stabilnost uporedivu sa saturisanim ćelijama. Međutim, čak i kada se proizvode koristeći istu tehnologiju na istoj traci, one nisu iste, i postoje značajne razlike prilikom dugotrajne upotrebe. Te razlike je možda nemoguće detektovati kratkotrajnim testiranjem, ali one moraju biti definisane selektivnim dugotrajnim testiranjima, koja se obavljaju pod precizno određenim uslovima i električnim zahtjevima. Diskretne zener diode imaju mnoge poželjne karakteristike. Mehanički su stabilne i na njih ne utiču razumni nivoi udara i vibracija, i relativno stabilne u ekstremnim temperaturnim uslovima.

Većina dioda posjeduje temperaturni koeficijent (TC). Zener diode pravljenе za primjene prilikom upotrebe referentnih naponskih nivoa imaju pozitivan TC od  $\sim 2\text{mV}/^\circ\text{C}$ , kombinovane su sa normalno polarizovanom diodom koje imaju negativan TC koji iznosi  $\sim -2\text{mV}/^\circ\text{C}$ . Tako dobijamo električno kolo sa TC bliskim nuli. Tipične vrijednosti radnog napona referentne zener diode je između 6.2 i 6.3V. Koriste se kao šantovski naponski regulator, koji neće biti oštećen nizom kratkih spojeva na njegovim priključcima, i može brzo vratiti naponski nivo na izlazu kada se otklone kratki spojevi. Prilikom implementacija, gdje je potrebno dati struju pri

referentnom naponskom nivou, napon na zener diodi može biti povezan na bafer, koji će obezbijediti neophodnu struju. Radni napon zener diode značajno smanjuje efekat termičkog bježanja, koji se javlja na spojevima. Problem je što 6.2V nije pogodan referentni naponski nivo za laboratoriju, pa se zener dioda koristi kao osnova za dobijanje referentnih nivoa od 10V ili 1.018V. Pojačavač tog izvora obezbijeduje izolaciju referentne zener diode i mogućnost da pruži povećanu izlaznu struju pri referentnim naponskim nivoima, kao i ograničenje struje u slučaju kratkog spoja. Nedostatak diskretnog pojačavača, u poređenju sa referentnim pojačavačem, je ta što može da unese grešku prilikom definisanja referentnog napona. Ofset i šum u pojačavaču, drift u naponskom razdjelniku, drift u izlaznoj kontrolnoj jedinici, direktno dodaju ofset referentnom naponu zener diode, zbog čega utiču na izlazni napon od 10V. Ako postoje izlazi od 1V ili 1.018V, oni su obično napravljeni upotrebom naponskog razdjelnika na izlazu od 10V. Zbog toga će se i na njih prenijeti greška sa izvora, ali će se javiti i dodatna greška zbog naponskog razdjelnika koji nosi dodatni ofset.

Etaloni diskretne elektronike mogu da pokažu male permanentne promjene na izlazu, kada je isključeno i uključeno napajanje, ili kad se jave temperaturne promjene. Zbog toga, za najbolje etalone, etaloni diskretne elektronike moraju uvijek biti napajani. Ovo je naročito bitno prilikom njihovog transporta.

### 2.3. Standard saturisanih ćelija

Saturisane ćelije se i danas koriste kao etalon u mnogim kalibracionim laboratorijama. Sve je teže nabaviti saturisane ćelije, zbog toga nove laboratorije sve češće koriste naponski standard izrađen u diskretnoj elektronici kao referencu.

Etalon saturiranih ćelija, ponekad nazvan Vestonova ćelija, je bio defakto naponski etalon dugi niz godina. Poznat je kao „normalna“ ćelija radi lakšeg razlikovanja od nesaturisane ćelije. Njihov nominalni naponski izlaz je 1.0183V na 20°C, dok se pojedinačnih ćelija razlikuje.

Saturisane ćelije imaju veliki temperaturni koeficijent i moraju da se koriste u toplotno strogo kontrolisanim uslovima da bi davale stabilan napon. Jednačina koja pokazuje odnos termičkog bježanja je:

$$E_t - E_{20} = [-40.6(t-20) + 0.95(t-20)^2 - 0.01(t-20)^3] \times 10^{-6} \quad (3)$$

$E_t$  – temperaturna indukcija pri datoj temperaturi

$E_{20}$  – temperaturna indukcija na 20°C

Precizna kontrola je lakša ukoliko se samo dodaje temperatura. Komercijalne temperaturne komore (uljane i vazdušne) često rade na temperaturi od 30°C. Saturisane ćelije imaju obično histerezisnu promjenu ukoliko im je temperatura promjenjena, i onda vraćena na prvobitnu vrijednost. Ćelijski temperaturni naponski ofset je nestabilan nakon promjene temperature, prije nego što se vrati ili na staru vrijednost, ili se stabilizuje na novu vrijednost temperaturnog naponskog ofseta. Ofset se mijenja do 90 dana, prije nego što se vrati na 0.5ppm od prvobitne vrijednosti. Isto tako fizičko oštećenje, vibracija, prolivanje, formiranje gasnih mjehura na elektrodama i proticanje struje u i iz ćelije može da dovede do nastavka promjene drifta.

Kako individualni etaloni saturisane ćelije mogu da pokažu promjene u njihovom naponu, grupa do 12 ćelija se koristi, i pakuje u jedno kućište. Greška u temperaturnoj kontroli u jednom kućištu često može da prođe neopaženo, i može da utiče na sve ćelije koje se nalaze u njemu, pa se nekoliko kućišta, tri ili više, obično koriste da bi se obezbijedio stabilni naponski izvor. Ovakvo pakovanje omogućava lakši transport za potrebe održavanja metrološke sledivosti. Ćelije u svakom od kućišta moraju biti redovno međusobno poređene, pri čemu bi se rezultati poređenja zapisivali u vidu kontrolnih grafika. Mjerenja se obavljaju tako što se ćelije redno povezuju, prilikom čega su njihovi polovi obrnuto okrenuti, i mjeri se razlika sa potenciometrom ili mikrovoltmetrom visoke unutrašnje otpornosti.

Kada se koriste i porede etaloni saturisanih ćelija, izuzetno je bitno da se izbjegne proticanje struje u i iz ćelije. Struje jačine  $10^{-15}$ A, ukoliko traju nekoliko minuta mogu da izazovu ozbiljnije promjene, pa se ćelije povezuju obrnuto serijski i koriste se multimetri sa velikim otpornostima. Skeneri standardnih ćelije su specijalno dizajnirani prekidački sistemi sa veoma malom vrijednost temperaturnog naponskog ofseta, i oni su često programibilni IEEE-488 sistemi, oni povezuju ćelije, očitavaju vrijednosti razlike, statistički analiziraju podatke, i iscrtavaju grafike. Uporedivost lokalnih ćelija ne obezbijeduje dovoljnu sigurnost u njihove vrijednosti, kao ni uporedivost sa ćelijama na nacionalnom nivou. Uspostavljanje metrološke sledivosti uključuje i transportovanje paketa ćelija i transportovanje etalona, između laboratorija na nacionalnom i lokalnom nivou. Ovaj proces je vremenski zavisn, zbog toga što transportovane ćelije moraju da miruju nakon transporta. Na primjer, nekoliko nedelja mora proći prije nego što se stabilizuje napon ćelija, i tek tada se može mjeriti. Nakon što se etalon vrati, nazad, u laboratoriju, ćelije moraju da se stabilizuju. Ako temperaturna regulacija nije održavana, mora se sačekati od 10 do 12 nedelja da bi se ćelije koristile pri proglašenoj klasi tačnosti.

### 3. Etaloni jednosmjerne struja

Uprkos tome što je amper SI jedinica za jačinu električne struje, nacionalne laboratorije ne posjeduju etalone jačine struje. Umjesto toga, vrijednost jačine struje se na lokalnom nivou izražava preko mjerljivog pada napona na etaloniranom otporniku.

## III. ETALONIRANJE

### 1. Definicije

Etaloniranje strujnih i naponskih generatora se izvršava u svrhe određivanja napona otvorenog kola čiji su priključci na generatoru, i struje kratkog spoja na priključcima generatora. Etaloniranje se praktično realizuje povezivanjem digitalnog multimetra na generator, mjerenjem, povezivanjem digitalnog multimetra na etalon, mjerenjem, i poređenjem rezultata.

### 2. Metode etaloniranja

Etaloniranje naponskog i strujnog generatora, pokazanog na Sl. 6, obavlja se metodom zamjene, kod koje se koristi digitalni multimetar (koji će dalje biti obilježavan kao DMM) da se izvrši mjerenje i poređenje izlaznog signala koje daje generator i signala koji daje sertifikovani etalon.



Sl.2 Yokogawa GS200 generator jednosmjernog napona i struje DMM, prikazan na Sl. 7, koji se koristi za poređenje mora da bude dovoljno precizan, da se omogući precizno poređenje razlike signala generatora i signala etalona, koja mora biti linearna.



Sl.3 FLUKE 8846A digitalni multimetar

Potrebno je voditi računa o kvalitetu materijala od kojih su napravljeni kablovi koji služe za povezivanje, kao i o njihovoj dužini. Različite smetnje koje oni mogu da izazovu će biti kasnije prodiskutovane. Izolacija na kablovima mora da bude dobra da bi se smanjilo curenje struje i druge greške koje se javljaju zbog dielektričnih osobina.

Postupak mjerenja je sledeći:

- (1) Povezati generator koji se testira na DMM, i postaviti vrijednost izlaznog signala na nominalnu, odnosno  $V_{NOMINAL}$ , i pročitati vrijednost  $V_{OUT}$  koja se ispisuje na displeju DMM
- (2) Povezati etalon koji koristimo za poređenje na DMM, postaviti vrijednosti izlaznog signala na nominalnu, i pročitati vrijednost  $V_{STD}$  (STD – etalon) koja se ispisuje na displeju DMM.
- (3) Jednačinom:

$$C_{OUT} = + C_{STD} - V_{STD} + V_{OUT} \quad (4) \text{ treba odrediti } C_{OUT}.$$

$C_{STD}$  je kalibraciona vrijednost nominalnog napona, koju dobijamo od višeg kalibracionog tjela. Potrebno je obezbjediti mijernu sledljivost  $C_{STD}$ .

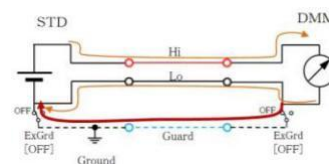
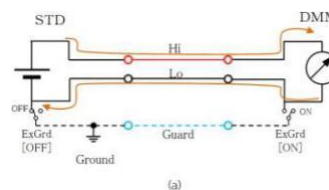
### 3. Postupak etaloniranja

#### 3.1. Standardni uređaji i digitalni multimetri

Za potrebe kalibracije mogu se koristiti uređaji različitih kompanija, koje nabavljaju laboratorije. Neophodno je i te uređaje kalibrisati, što rade viša metrološka tjela, što je u Srbiji Direkcija za mere i dragocene metale.

#### 3.2. Metode povezivanja

Kada se povezuju standardni naponski i strujni generator na DMM, potrebno je uzemljiti jedan od mjernih terminala da bi se povećala stabilnost mjerenja. Standardni naponski i strujni generator i DMM su povezani sa dva zaštićena i izolovana kabla, kod kojih je izolacija povezana na zaštitne priključke. Uređaji se nalaze u faradejevom kavezu radi dodatne zaštite od smetnji prilikom mjerenja.



Sl.4 Povezivanje generatora sa digitalnim multimetrom

### 3.3. Neophodnost puštanja struje prije procesa mjerenja

Može se zaključiti da postoje razlike kod mjerenja DC veličina, ako se uzme u obzir da dolazi do porasta temperature elemenata električnog kola koja prouzrokuje promjenu u vrijednosti otpornosti, pa je neophodno povesti računa prilikom mjerenja.

### 3.4. Rezultati etaloniranja

Broj cifara kod kalibracionih rezultata zavisi od više parametara, i može da ima različite vrijednosti za različite veličine koje digitalni multimetar mjeri. Naravno treba i napomenuti da ukoliko se koriste pojačavači u generatorima signala, oni mogu da unesu značajno veliku nesigurnost, pa se tačnost vrijednosti prikazane na DMMu može dovesti u pitanje.

### 4. Obrada mjerne nesigurnosti

Mjerna nesigurnost koja postoji prilikom kalibracije, se izražava kao prošireni nivo nesigurnosti, i mora da postoji 95% sigurnosti u izvršena mjerenja. Veličina mjerne nesigurnosti zavisi od vrijednosti koju u sistem unosi više različitih parametara, i određuje se jednačinom:

$$u(C_{OUT}) = \sqrt{u(C_{STD})^2 + u(V_{STD})^2 + u(V_{OUT})^2 + s^2} \quad (5) \text{ gdje je:}$$

$u(C_{OUT})$  – Nesigurnost uređaja koji etaloniramo

$u(C_{STD})$  – Nesigurnost etalona koji je korišten prilikom etaloniranja

$u(V_{STD})$  – Nesigurnost vrijednosti mjerenja koju daje DMM, kada je vrijednost signala koju etalon daje na izlaz postavljena na nominalnu

$u(V_{OUT})$  – Nesigurnost vrijednosti mjerenja koju daje DMM, kada je vrijednost signala koju generator daje na izlazu postavljena na nominalnu

$s$  – varijabilnost rezultata kalibracije

#### 4.1. Nesigurnosti standardnih uređaja

U kalibracionom sertifikatu mora da se nalazi izvještaj o proširenom nivou nesigurnosti, koji se dobija množenjem nivoa standardne nesigurnosti sa faktorom  $k=2$ . Tako dobijamo nivo mjerne sigurnosti koji je približno 95%. Etaloniranje standardnih generatorskih uređaja se izvršava jednom godišnje, a karakteristike kalibrisanog uređaja se mijenjaju u toku te godine. Nivo promjene mora da piše u izvještaju, i dok god uređaj nije oštećen, promjene u nivoima izlaznih signala moraju da se slažu sa izvještajem.

#### 4.2. Nesigurnost mjernih rezultata etalona

Kada se etalon poveže na DMM i izvrše se mjerenja, mjerna nesigurnost vrijednosti  $V_{STD}$  zavisi od performansi DMMa, rezolucije DMMa, termoelektričnih efekata i efekata naponskog opterećenja. Zbog nesigurnosti performansi DMMa koji se koristi za mjerenje napona i struje etalona, linearnost i stabilnost multimetra utiču na rezultate kalibracije. Pošto je potrebno malo vremena da se izvrše mjerenja etalona i uređaja koji kalibrišemo, može se smatrati da DMM ima zadovoljavajuću stabilnost. Male razlike u nivou signala koje daju etalon i uređaj koji se kalibriše su u opsegu kod kog je linearnost DMM na zadovoljavajućem nivou. Zbog ovoga se smatra da je nesigurnost izazvana od strane DMMa jednaka 0. Pošto nije moguće znati vrijednosti cifara koje DMM ne može da prikaže, one se smatraju nesigurnošću. Ako se uzme u obzir da je vrijednost mjerenog rezultata 0.98V, onda se ta vrijednost javlja za sve vrijednosti napona koje se kreću u opsegu od 0.975V do 0.985V. Zbog toga što se vrijednost može nalaziti bilo gdje u tom opsegu, raspodjela je uniformna, pa se tako računa i nesigurnost. Kada se vrše mjerenja neophodno je imati podatke o temperaturi prostorije u kojoj se vrše mjerenja, ali i o temperaturama priključaka etalona. Da bi se smanjile smetnje, temperaturna razlika u temperaturi na priključcima etalona mora da bude manja od  $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , i materijal od kog se prave priključci etalona, je standardizovan (da se smanji uticaj Zebekovog efekta) i koristi se legura metala bakra i telura. Zbog toga termički napon koji može nastati, ima linearnu vrijednost, koja se mijenja sa  $^{\circ}\text{C}$  koeficijentim  $1.3\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ . Za mjerenja strujnih veličina, otpornost na priključcima DMM morala bi da bude  $0\ \Omega$ , što nije slučaj. Zbog toga dolazi do pada napona između priključaka na terminalu DMM. Ovaj pad napona se zove efekat naponskog opterećenja, i on zavisi od osobina DMMa koje koristimo prilikom mjerenja, i od osobina etalona, pa treba uvijek imati na umu da on može izazvati manje ili veće greške prilikom mjerenja. Veličine grešaka moraju biti napisane za etalon koji se koristi, kao i za DMM. Kada se uređaj koji kalibrišemo poveže na DMM, vrijednosti  $V_{out}$  moraju da posjeduju određene nesigurnosti koja dolazi iz više izvora. Ti izvori su performanse DMM, rezolucija, termoelektrični efekat, kao i efekat naponskog opterećenja.

#### 4.3. Varijabilnost i smanjenje rezultata mjerenja

Da bi se smanjile varijabilnosti rezultata mjerenja prilikom kalibracije, neophodno je sistematizovati proces mjerenja. Mjerenja se izvršavaju u nekoliko setova, kod kojih jedan set ima 100 mjerenja. Potrebno je smanjiti vrijeme proteklo između procjene mjerne nesigurnosti etalona i kalibracije generatora, takođe idealno bi bilo raditi sa nekoliko etalona istih vrijednosti.

### IV. INDUSTRIJA 4.0 U ETALONIRANJU

#### 1. Industrija 4.0 i IoT-u

Budući da je nauka u procesu neprestane digitalizacije i da se potencira primjena novih tehnologija, trebalo je napraviti okvirne standarde u kojima bi se ona kretala. Čak i kada ti uslovi nisu bili unaprijed određeni i postavljeni, njih bi nauka i industrija organski odredile i poprimile. To je dovelo do

industrije 4.0 koja predstavlja promjenu u tradicionalnim tehnologijama proizvodnje i upravljanja u industriji. Ona obuhvata uvođenje povezanosti, upotrebe vještačke inteligencije i fleksibilne automatizacije.

#### 2. Primjena novih tehnologija u procesu etaloniranja uređaja

Prvo što bi trebalo napomenuti je da je u procesu etaloniranja čovjek, odnosno inženjer koji obavlja etaloniranje, izuzetno značajan faktor. On mora da povezuje uređaje, da upoređuje rezultate, i izvlači zaključke iz tih poređenja. Jasno je da ukoliko on napravi grešku, ta greška se prenosi na sve djelove procesa etaloniranja. Zbog napretka u svjetu tehnologije, neki od djelova procesa etaloniranja se mogu izmijeniti tako da smanjuju mogućnost pravljenja greški.

##### 2.1. Prilagodavanje opreme za etaloniranje

Opisani postupak etaloniranja mora da se izmjeni u skladu sa zahtjevima integracije sa industrijom 4.0. Da bi se to uradilo, morali bi izmijeniti opremu koja se koristi, postupak etaloniranja, kao i pristup problemu etaloniranja.

Većina digitalnih multimetara nema mogućnost komunikacije sa računarom, odnosno nema mogućnost razmjene podataka. I ako ima to je najčešće jednosmjerna komunikacija u vidu prosleđivanja podataka na računar, bez mogućnosti slanja podataka na DMM. U slučaju da je taj problem prevaziđen trebalo bi voditi računa i o brzini konekcije digitalnog multimetra sa računarom, jer ukoliko nije adekvatna, to može da dovede do akvizicije netačnih podataka, ili čak do oštećenja elemenata koji se koriste za akviziciju podataka i etaloniranje, kao i čitavog sistema za etaloniranje. Uređaji koji se koriste prilikom procesa etaloniranja bi na sebi morali da posjeduju poseban modul za komunikaciju koji bi im omogućio komunikaciju sa kontrolnim uređajem, čije se programiranje zasniva na upotrebi vještačke inteligencije.

Komunikacija bi se obavljala po master-slave komunikacionom protokolu. DMM koji koristimo za etaloniranje bio bi slave uređaj (što ostavlja mogućnost povezivanja više slave uređaja, odnosno digitalnih multimetara). Master uređaj bi morao na sebi da posjeduje SOC (System On a Chip) sa AI (Artificial Intelligence) tehnologijom, mogao bi se koristiti i čip iz mobilnih uređaja kao što su Qualcomm Snapdragon [5], Mediatek Dimensity [6] i sl. Slave uređaji bi slao očitane podatke master uređaju, dok bi od njega primao komande koje bi kontrolisale različite funkcije uređaja. DMM koji se koristi u procesu etaloniranja, ukoliko posjeduje mogućnost implementacije sistema automatske kalibracije, mora da posjeduje algoritam koji će smanjiti greške izazvane mjerenjem različitih vrijednosti signala na različitim opsezima. Greška koju bi izazvalo mjerenje signala čija vrijednost iznosi 1% mjernog opsega DMM-a bila bi značajno veća od greške koju bi dobili mjerenjem signala čija vrijednost iznosi 80% mjernog opsega. Da bi to izbjegli, master bi posjedovao algoritam kojim će sam da selektuje opseg na kom će DMM mjeriti. Počeo bi na najvećem opsegu, i rezultat mjerenja bi se poredio sa opsegom u kom se mjeri, kao i sa opsegom ispod njega, tako bi smanjili i mogućnost oštećenja opreme. To bi se ponavljalo dok se ne bi došlo do najmanjeg opsega na kom se može mjeriti.

Informacije o vrijednosti izmjerenog signala, kao i vrijednost opsega bi se prosleđivale inženjeru, nakon čega bi on mogao

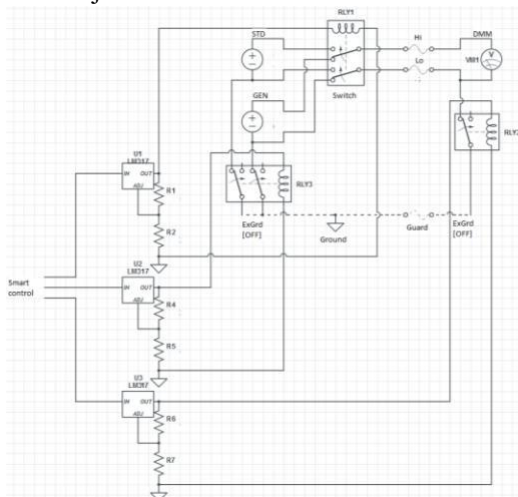
da izvrši provjere, kao i da napravi izmjene opsega ukoliko smatra da je to potrebno.

## 2.2. Izmjena načina povezivanja

Master uređaj bi mogao da šalje upozorenja u slučaju nepravilnog povezivanja uređaja, i da ugasi napajanje uređaja u slučaju da postoji mogućnost njihovog oštećenja. To bi se obavljalo tako što bi rezultati u slučaju pogrešnog povezivanja slave uređaja mogli da pokazuju određene karakteristike koje master uređaj ne očekuje, a određivanje tipa očekivanih rezultata bi zavisilo od vrste mjerenja. Na Sl. 14 vide se izmjene koje su napravljene. Digitalni multimetar bi imao terminal za uzemljenje preko kog bi vezom mogli da uzemnjimo i kućište etalona (generatora), ali ta konekcija bi se morala i softverski autorizovati, jer bi postojao softverski kontrolisan prekidač.

## 2.3. Izmjene prilikom puštanja struje prije procesa mjerenja

Prethodno je naglašeno da je neophodno pustiti struju prije nego što se počne sa mjerenjima, što bi se moglo prilagoditi mogućnostima koje pruža industrija 4.0. AI uređaj koji kontrolise funkcionisanje sistema bi mogao da mjeri vrijeme koje je proteklo od puštanja struje, do vremena kada digitalni multimetar počinje sa mjerenjima signala koje daje etalon. Jedna od mogućnosti je da se rezultati izmjereni u periodu u kom se još nije stabilisao sistem označavaju na poseban način, koji će nam govoriti da postoji veća nesigurnost za te izmjerene vrijednosti, druga je da se ne prosleđuju dok ne prođe vrijeme potrebno za stabilizaciju, koje bi korisnik mogao da odredi. Sličan sistem bi se mogao implementirati i prilikom mjerenja temperature uređaja, kao i prostorijske u kojoj se vrši etaloniranje. Noviji senzori imaju i mogućnost komunikacije sa drugim uređajima korišćenjem zigbee protokola (protokol komunikacije bi se mogao izmjeniti tako da odgovara konkretnom slučaju). Vještačka inteligencija master uređaja može da programira slave uređaje, i tako definiše parametre potrebne za ispravno očitavanje rezultata. Još jedna od mogućnosti je da izmjena DMM, tako da se omogući povezivanje sa više uređaja u isto vrijeme. To ne bi značilo da se istovremeno vrše mjerenja sa više uređaja, ali bi vještačka inteligencija (ili inženjer) određivala sa kog se uređaja očitavaju rezultati.



Sl.15 Izmjenjena šema za povezivanje generatora sa digitalnim multimetrom, sa softverski kontrolisanim uzemljenjem i selektovanja različitih uređaja

## 2.4. Obrada rezultata

Matematička obrada rezultata koja zavisi i od parametara koje daje više kalibraciono tjelo, mogli bi se automatski prosleđivati master uređaju koji bi imao komunikaciju sa računarom koji obrađuje rezultate, ili bi on mogao da bude računar zadužen za obradu rezultata. To bi smanjilo vrijeme potrebno za dostavu tih podataka, jer bi više kalibraciono tjelo automatski moglo prosleđivati nove podatke.

## 2.5. Napredne mogućnosti

Inženjeru bi trebalo dati mogućnost video prikaza objekta i uređaja koji se koriste. Upotreba Google ARCore [7] protokola bi nam omogućila upotrebu tehnologije koja omogućava 3D virtuelni prikaz tog okruženja, što bi pružilo dodatno razumjevanje uslova i procesa etaloniranja, koja bi se mogla koristiti i za obuku budućih inženjera koji će se baviti etaloniranjem.

## V. ZAKLJUČAK

Nakon osvrta na istoriju i proces etaloniranja, potrebno je pogledati gdje bi se mogli napraviti mogući iskoraci u svijetu etaloniranja, što bi potencijalno omogućilo smanjenje cijene proizvodnje sistema za etaloniranje, greške izazvane ljudskim faktorom i tehnološku nepristupačnost.

Jedna je automatizacija fizičkog procesa mjerenja, gdje bi izbacili djelove etaloniranja prilikom kojih inženjer može napraviti greške kao što su greške povezivanja. Isto tako su poželjne izmjene na nivou tehnologije koja se koristi prilikom etaloniranja, odnosno unapređenja procesorske logike i komunikacije među uređajima. Potrebno je naravno ostaviti i mogućnost upotrebe tehnologija u razvoju kao što je virtuelna realnost.

## LITERATURA

- [1] The Ampere, LNE, Laboratoire national de métrologie et d'essais, <https://www.lne.fr/en/learn-more/international-system-units/ampere>
- [2] Richard E. Prange, Steven M. Girvin, The Quantum Hall Effect, Maryland Subseries: Based on Lectures at the University of Maryland, College Park, 1990.
- [3] B.D. Josephson, Possible new effects in superconductive tunnelling, Physicss Letters Volume 1, 1962.
- [4] SRI 6000 Series Programmable Josephson Voltage Standard (PJVS), NIST: National Institute of Standards and Technology, <https://www.nist.gov/sri/standard-reference-instruments/sri-6000-series-programmable-josephson-voltage-standard-pjvs>, Septembar 5, 2019.
- [5] Qualcomm Snapdragon Mobile Platforms, Processors, <https://www.qualcomm.com/snapdragon>
- [6] MediaTek Dimensity 5G, <https://i.mediatek.com/mediatek-5g>
- [7] ARCore - Google Developers, <https://arvr.google.com/arcore/>

## ABSTRACT

This paper represents short historical and technical overview of calibration of direct current and voltage, and in light of new scientific and technological inventions, discussion of potential improvements which can be made. Development of different standard technogies will be discussed, differences between them, as well as their adoption and usage by higher international ogranizations, who are responsible for their appointment and maintenance.

## DC voltage and current calibration in concept of Industry 4.0

Zdravko Gotovac, Marjan Urekar

# Razvoj virtuelne merne instrumentacije u ERP softverskoj aplikaciji

Natalija Vukosavljević, Stefan Mirković

**Apstrakt**— Ovaj rad opisuje izdvajanje ERP komponenti iz EEG signala korišćenjem metode usrednjavanja. Prikazan je način snimanja i data je potrebna instrumentacija za snimanje EEG signala prilikom stimulacije. Softverska aplikacija za analiziranje rezultata realizovana je u LabVIEW programskom okruženju.

**Ključne reči**—EEG; ERP; artefakti; labview; kognitivne neuronauke.

## I. UVOD

EEG predstavlja jednu do ključnih metoda za snimanje moždanih aktivnosti. Mana EEG-a je to, što on predstavlja mešavinu različitih izvora neuronskih aktivnosti, što čini izdvajanje kognitivnih procesa teškim za realizaciju. Međutim unutar EEG-a se nalaze neuronski odgovori koji su povezani sa specifičnim kognitivnim, motornim i čulnim događajima.

Ovi neuronski odgovori, reakcije nose naziv potencijali u vezi sa događajima (Event Related Potentials- ERP). Analiza ERP komponenti je jedna od najinformativnijih dinamičkih metoda za istraživanje i kontrolu faza obrade informacije u ljudskom mozgu. Amplituda i latenca ERP komponenti na specifičnim topografijama reflektuju rane senzorne procese percepcije kao i procese većeg nivoa koji uključuju pažnju, kortikalnu inhibiciju, nadogradnju memorije i druge kognitivne procese. Uprkos značajnom razvoju metoda za snimanje aktivnosti mozga, merenje ERP-a i dalje predstavlja važan alat za istraživanje neuralnih poremećaja, što je posledica toga što različiti poremećaji se korelišu sa određenim uzorcima u ERP-u. ERP signali su manje amplitude u odnosu na EEG i zato se najčešće izoluju korišćenjem metode usrednjavanja. Ranije ERP komponente kao što su P100, N100 i P200 (slovo označava polaritet signala, npr. P100, P-označava pozitivan polaritet, dok broj u ovom slučaju 100 označava latencu izraženu u ms u odnosu na početak stimulusa) se najčešće vezuju za selekzione mehanizme pažnje, dok se kasnije komponente kao P300 (latenca od 300 ms do 500 ms) vezuju za organizaciju i interpretaciju stimulusa tj. P300 komponenta u potpunosti zavisi od zadatka koje ispitanik izvršava, zbog čega je P300 najčešće posmatrana ERP komponenta za proučavanje kognitivnih procesa.

Natalija Vukosavljević– Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad (e-mail: emainata97@gmail.com).  
Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad (e-mail: mirkovicst@gmail.com).

## II. SNIMANJE P300

P300 se najčešće dobija pomoću Oddball paradigme, gde se dva stimulusa predstavljaju u nasumičnom rasporedu, jedan je frekventniji (standardni) dok je drugi ređi (devijantni). Stimulusi mogu biti zvučni, auditivni.

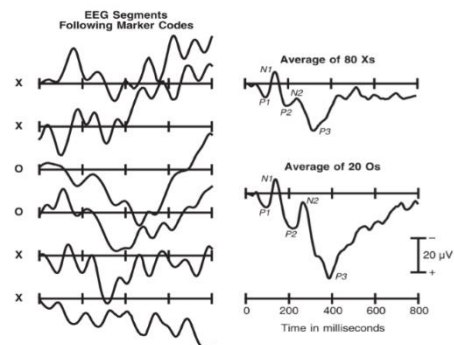
### A. Primer oddball paradigme

Ispitanici posmatraju sekvence koje se sastoje od stimulusa, slova „X“, i „O“ i pritiskaju jedan taster za „X“, a drugi za „O“ (slova su npr. u odnosu 80:20). Izolovanje ERP-ova izazvanih stimulusima „X“ i „O“ se vrši na kraju svake sesije, jednostavnim usrednjavanjem (izraz 1 i izraz 2, gde  $s(t)$  označava signal, dok  $n(t,k)$  označava šum,  $k$ -označava broj pokušaja,  $t$  označava vreme koje je prošlo nakon  $k$ -tog pokušaja). Iz navedenih izraza 1 i 2 može se zaključiti da šum zavisi od specifičnog pokušaja i vremena, dok signal zavisi samo od vremena, takođe se da primetiti da se zajedno sa signalom šum usrednjava, tj. smanjuje se, ali ne u potpunosti (videti IV A).

Pomoću usrednjavanja postiže se uzimanje segmenata (epoha) iz EEG-a koji okružuju svaki „X“ i „O“ koji se potom postrojavaju u odnosu na marker kodove koji se nalaze na početku svakog stimulusa. Posle toga se odgovarajući segmenti sabere, kreirajući tako ERP-ove posebno za „X“ i „O“, za svako merno mesto (elektrodu).

U ovom eksperimentu, stimulus „O“ koji se ređe pojavljivao je izazvao veći P3 talas nego češći stimulus „X“.

Ovaj rezultat je identičan rezultatima hiljadu prethodnih Oddball eksperimenata. Pošto je ovaj eksperiment poprilično jednostavan i daje konzistentne rezultate, često se uzima za pokazni eksperiment.



Sl. 1. Usrednjavanje epoha EEG signala.

$$X(t, k) = s(t) + n(t, k) \quad (1)$$

$$X_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X(t, k) = s(t) + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n(t, k) \quad (2)$$

### III. REALIZACIJA

EEG signali su snimani pomoću elektroda. Primenjene su standardne elektrode sa srebro-hlorid presvlakom. U radu je opisan ostupak analogne i digitalne obrade signala, a detaljnije je prikazana softverska aplikacija za izdavanje ERP-ova, sa prezentacijom dobijenih signala.

#### A. Analogni modul

Signali sa elektroda se dovode na pojačavački blok čija je uloga potiskivanje smetnji, pojačanje EEG signala i filtriranje. Zaštitno kolo ima ulogu zaštite od elektrostatičkog pražnjenja.

Modul se sastoji od zaštitnog kola, prepojačavača, glavnog pojačavačkog stepena, izlaznog pojačavačkog stepena i DRL kola.

U predpojačavačkom stepenu pojačanje iznosi 12.2, a ukupno pojačanje iznosi 7812 puta. DRL kolo invertuje zajednički napon i dovodi ga na ručni zglob ispitanika.

#### B. Digitalni modul

Modul za digitalizaciju baziran je na PIC mikrokontroleru i njegova uloga je digitalizacija pojačanog signala, prijem signala sa tastera reakcije ispitanika i zatim prenos digitalnih informacija ka poslednjem modulu - računaru za dalju obradu signala i njihovo skladištenje.

#### ERP aplikacija

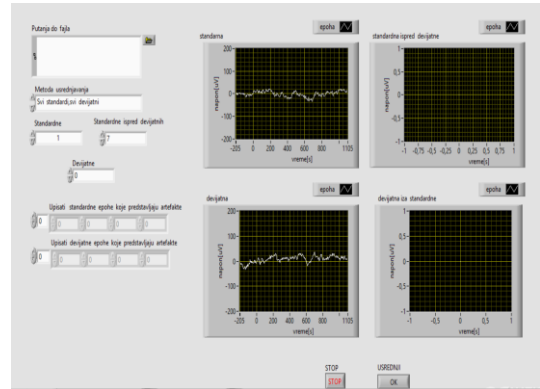
Pomoću ERP aplikacije su se podešavali parametri stimulacije. Prvo su se podešavali vremenski intervali kao što su trajanje intervala, trajanje epohe, prestimulusnog intervala, trajanje stimulusa... Posle toga je izvršeno podešavanje broja stimulusa i određivanje vrste stimulusa (auditivni ili vizuelni).

Posle podešavanja parametara stimulacije, EEG signali su snimani u csv fajlove, kako bi se mogla izvršiti daljna obrada signala i izdvajanje ERP-ova.

### IV. APLIKACIJA ZA IZDVAJANJE ERP-ova

Pomoću aplikacije (sl.2) su čitani fajlovi u koje su snimljeni EEG signali. U svakom fajlu se nalaze podaci o stimulaciji, podaci o ispitaniku i dobijeni signali.

Broj standardnih i devijatnih epoha se razlikuju, u zavisnosti od izabranog odnosa standardnih i devijatnih stimulusa. Epoha u ovom slučaju predstavlja segment neobrađenog signala koji posle merenja ulazi u proces obrade, jedna epoha odgovara jednom stimulusu.

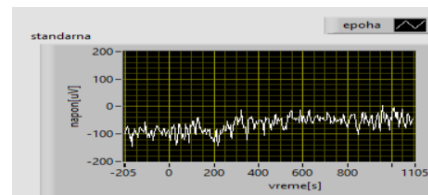


Sl. 2. Izgled aplikacije.

Učitani signali su prikazivani na različitim grafovima u zavisnosti od metode usrednjavanja (na slici iznad „metoda usrednjavanja“) i korisnikove selekcije određene epohe (na slici iznad slider-i „standardne“, „standardne ispred devijatnih“, „devijatne“). Metode usrednjavanja obuhvatale su dve metode - „svi standardni, svi devijatni“, „standardni ispred devijatnih“. Prva metoda podrazumeva da se uzmu sve epohe koje odgovaraju standardnim i devijatnim stimulusima, dok druga metoda obuhvata sve devijatne i standardne koji se nalaze neposredno ispred devijatnih.

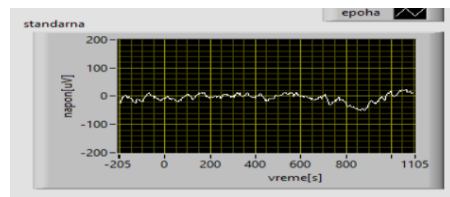
#### A. Artefakti

Kako bi signali koji predstavljaju artefakte odnosno signali koji su zahvaćeni šumom bili eliminisani korisniku je data mogućnost da ručno upiše te signale (sl 2.- polja za unos - „Upisati standardne epohe koje predstavljaju artefakte“, „Upisati devijatne epohe koje predstavljaju artefakte“). Uzroci artefakta mogu biti razni. Jedan od uzroka mogu biti nedovoljno pričvršćene elektrode, što dovodi do pojave artefakta u svim epohama (slika ispod).



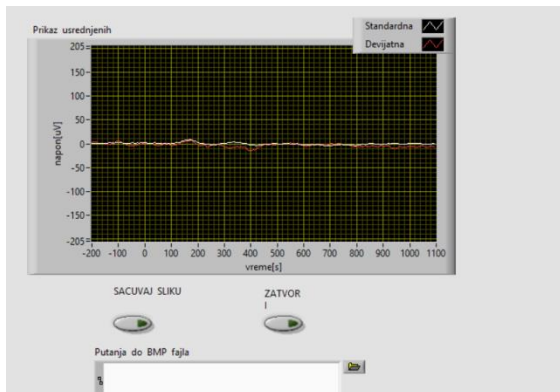
Sl.3 Druga standardna epoha gde je naročito vidljiv artefakt prouzrokovan nepravilno postavljenim elektrodama.

Veoma čest uzrok artefakta mogu biti treptaji koji imaju veću amplitudu u odnosu na EEG signal (slika ispod).



Sl. 4. Četvrta standardna epoha gde je izražen artefakt treptaja(npr. najizraženiji pik koji je usmeren na dole).

Nakon eliminisanja epoha koje predstavljaju artefakte vrši se izbor metode usrednjavanja posle čega se pritisče dugme za usrednjavanje (sl.2). Nakon pritiska dugmeta za usrednjavanje otvara se novi prozor gde su prikazani usrednjeni signali. Dobijena slika usrednjenih signala imala je mogućnost čuvanja (kako bi se mogli lakše uporediti dobijeni rezultati).



Sl. 5. Prikaz usrednjenih signala.

P300 komponenta se može vizuelno prepoznati kao ekstrem, minimum crvene krive (obratiti pažnju da se u ERP studijama negativni napon crta ka gore, zato je P odnosno pozitivni napon okrenut ka dole) i po tome što latenca P300 komponente iznosi od 300-500 ms. Potrebno je obratiti pažnju da ekstrem ponekad može biti artefakt (navedeni treptaj) zato je potrebno izvršiti validnu eliminaciju artefakta u prethodnom koraku.

## V.ZAKLJUČAK

Kao što je već rečeno u uvodu, P300 i ostale ERP komponente postižu značajnu korelaciju sa određenim neurološkim poremećajima, što olakšava i ubrzava njihovu dijagnostiku. Npr, P300 komponenta se razlikuje kod pacijenata sa autizmom, ADHD-om, ASD-om i disleksijom (npr kod ASD-a prve komponente ERP-a imaju značajno veće amplitude i veće latence, u odnosu na uobičajne, dok kod P300 komponente dolazi samo do promene

latence). Takođe P300 komponenta je abnormalna, u ovom slučaju oslabljena kod sledećih oboljenja: šizofrenije, bipolarnog poremećaja i alkoholizma. ERP je u ovim slučajevima, pomoćna dijagnostička metoda u odnosu na metode za snimanje nervnog sistema, ali je veoma jednostavna, neinvazivna, dobre vremenske rezolucije i veoma pristupačne cene. Takođe P300 komponenta se koristi u BCI-ju (Brain computer interface), što je posledica toga što je P300 komponenta u zavisnosti sa primenjenim stimulusom.

### A.Mogućnosti poboljšanje aplikacije obradu signala (izdvajanje ERP-ova)

Kako bi se olakšala primena aplikacije korisniku, mogla bi se uvesti automatska detekcija artefakata (npr. da se prepozna pik koji potiče od treptaja) ili eliminacija artefakata primenom filtriranja. Sledeći koraci koji bi se realizovali bili bi ručna ili automatska oznaka P300 komponente. Nakon čega bi se izračunavala latenca, amplitude standardne i latentne metode i dala bi se mogućnost čuvanja dobijenih podataka u excel fajlu kako bi se lakše procenila odstupanja od standardnih vrednosti.

## LITERATURA

- [1] Sokhadze, Tato & Casanova, Manuel & Casanova, Emily & Lamina, Eva & Kelly, Desmond & Khachidze, Irma. (2017). Event-related Potentials (ERP) in Cognitive Neuroscience Research and Applications.
- [2] Lukas Vareka ,Pavel Mautner Self-organizing Maps for Event-Related Potential Data Analysis,2012
- [3] <https://www.brainlatam.com/blog/event-related-potentials-application-for-eeeg-brain-computer-interface-803>

## ABSTRACT

This paper describes the extraction of ERP components from EEG signals using the averaging method. The recording mode is shown and the necessary instrumentation is given to record the EEG signal during stimulation. The software application for analyzing the results was implemented in the LabVIEW programming environment.

### Development of virtual measure instrumentation in ERP software application

Natalija Vukosavljević, Stefan Mirković



# Fall Detection System Based On GPS Tracking And Accelerometer Module

Sanja Mandić, Đorđe Novaković

**Abstract**—This paper gives an insight into a fall detection system, whose main purpose is assistance to the elderly. Hardware components used in the design of this system are described, as well as adequate firmware. The first section provides a description of the EasyPIC PRO v7 development board, the GSM/GNSS click module, and the MPU-6050 sensor, whereas the remaining section describes code implementation.

**Index Terms**—Fall detection; microcontroller; GPS; accelerometer.

## I. INTRODUCTION

Falls are frequent occurrences for the elderly and can be caused by many factors such as a loss of balance, fainting, strokes, heart attacks, visual impairment, muscle weakness, dementia, spinal deformations, etc. One of the many consequences of aging is the inability to respond to sudden changes in body position within a timely manner and maintain balance. This drastically increases the probability of falling. The main idea of this paper was to design a system that would be used in assistance to the elderly. Namely, in the case of the fall, a compatible sensor would detect this distinct change in movement, and location data would be automatically sent to a computer of an accountable person. In order to detect the moment in which the fall occurred, the MPU-6050 sensor was used, and the location data acquisition was done with GSM/GNSS module. These two modules were integrated on the EasyPIC PRO v7 development board.

## II. EASYPIC PRO v7 DEVELOPMENT BOARD

The EasyPIC PRO v7 development board, Figure 1, is produced by MikroElektronika. This development board is manufactured in PCB (Printed Circuit Board) technology. The EasyPIC PRO v7 development board supports both 3.3 V and 5 V power supply and contains two power regulators. There are several ways in which the board can be powered: using the USB (Universal Serial Bus) cable, using the adapter connector, or with the use of the screw terminals. This development board supports around a hundred different microcontrollers, among which is the 8-bit microcontroller PIC18F87K22, manufactured by Microchip, serving as a

Sanja Mandić is with the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: sanja.mandic98@gmail.com).

Đorđe Novaković is with the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

default microcontroller of the EasyPIC PRO v7 development board. In the realization of this project, we used the PIC18F87K22 microcontroller. The microcontroller is integrated with the MCU card (TQFP – Thin Quad Flat Pack card), which is placed in the MCU socket of the development board. Besides microcontroller, the MCU socket includes the 16 MHz crystal oscillator (which determines the clock frequency), the USB communication lines as well as the jumpers for the USB communication and voltage regulator adjustment. This development board features the on-board programmer – mikroProg, which receives instructions from the computer. Additionally, the on-board programmer has an in-circuit debugger, used for real-time debugging on hardware level. The EasyPIC PRO v7 contains connectors compatible with the ICD2 and ICD3 (Microchip) external programmers. There are several input/output groups (ports: A, B, C, D, E, F, G, H, and J) which include buttons (input), LED (Light Emitting Diodes - output), pins and the three-state switches which determine if the pull-up resistor (up position), pull-down resistor (down position) or neither one of them (middle position) will be enabled on a certain pin.

The EasyPIC PRO v7 development board features three mikroBUS sockets, allowing for various click boards to be added. Every mikroBUS socket consists of power pins – 3.3 V, 5 V, GND, communication pins – RX (UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter receive line), TX (UART transmit line), SCL (I<sup>2</sup>C – Inter-Integrated Circuit clock line), SDA (I<sup>2</sup>C data line), CS (SPI – Serial Peripheral Interface chip select line), SCK (SPI clock line), MISO (SPI master input slave output line), and MOSI (SPI master output slave input), and also contains single pins – PWM (Pulse Width Modulation output line), INT (hardware interrupt line), RST (reset pin) and AN (analog pin).

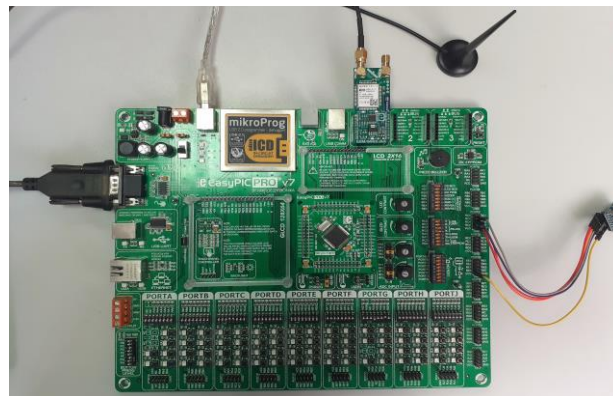


Fig. 1. EasyPIC PRO v7 development board

This development board supports the UART communication through the USB connector and through the RS-232 connector. Also, the board contains the USB connector, through which microcontrollers that support USB communication, can make a connection with other devices.

For the microcontrollers which support the Ethernet communication, there is an RJ-45 connector. The EasyPIC PRO v7 board features an LCD (Liquid Crystal Display) with 2 x 16 character fields, and every field contains a 7 x 5 pixel matrix. The GLCD (Graphical Liquid Crystal Display) with 128 x 64 fields is also included on this board, and touchpanel can be added on the GLCD. Additionally, this development board features a piezo buzzer, an analog temperature sensor, a digital temperature sensor, a reset button, additional GND pins, and a button press level.

A block diagram of the system and connections between the EasyPIC PRO v7 development board and sensors, as well as the PC are presented in Figure 2.

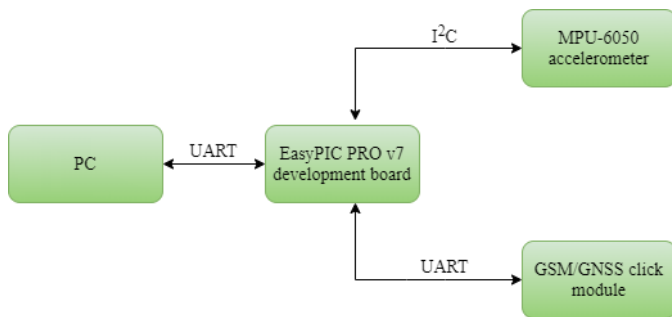


Fig. 2. System block diagram

### III. PIC18F87K22 MICROCONTROLLER

The PIC18F87K22 is the default microcontroller on the EasyPIC PRO v7 development board. This microcontroller features nanoWatt manufacturing technology for energy consumption reduction [2, 3]. There are eighty pins; hence, the number of bidirectional ports is nine. The layout of the pins is shown in Figure 3 [2]. The flash program memory has the capacity of 128 KB. The PIC18F87K22 microcontroller includes six 8-bit timers and five 16-bit timers.

The microcontroller features a 12-bit A/D converter, where the number of A/D channels is sixteen. The number of the CCP (Capture-Compare-PWM) modules is ten, three of which are ECCP (Enhanced CCP). CCP modules are peripheral modules for control of various events, and there are three different modes: Capture (a measurement of event duration), Compare (comparison of values of two different registers at the same time), and PWM (pulse width modulation for generating signals) [6].

This microcontroller supports the USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver-Transmitter), SPI, and I<sup>2</sup>C communication.

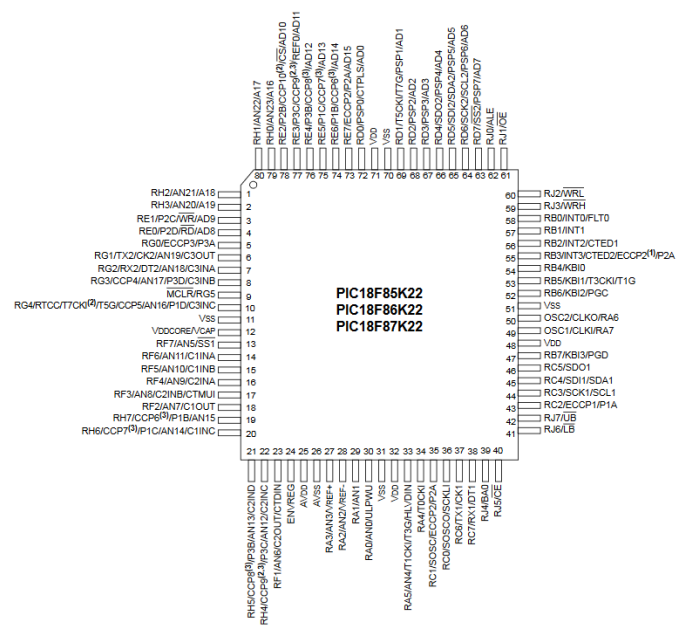


Fig. 3. PIC18F87K22 microcontroller pin layout

### IV. GSM/GNSS CLICK MODULE

The GSM/GNSS click module, shown in Figure 4, manufactured by MikroElektronika, is a location tracking module (GNSS), as well as a module for communication with mobile phones (GSM). The location tracking function is achieved based on GPS (Global Positioning System) and GLONASS (Global Navigation Satellite System). The GSM/GNSS click includes the Quectel MC60 quad-band module, which is the GSM/GPRS module. Communication with a certain microcontroller is realized via the UART protocol. This click board can be powered with 3.3 V and 5 V, and it features Bluetooth antenna, micro SIM and SD card socket, as well as additional pins for connection with the microphone and the speakers.

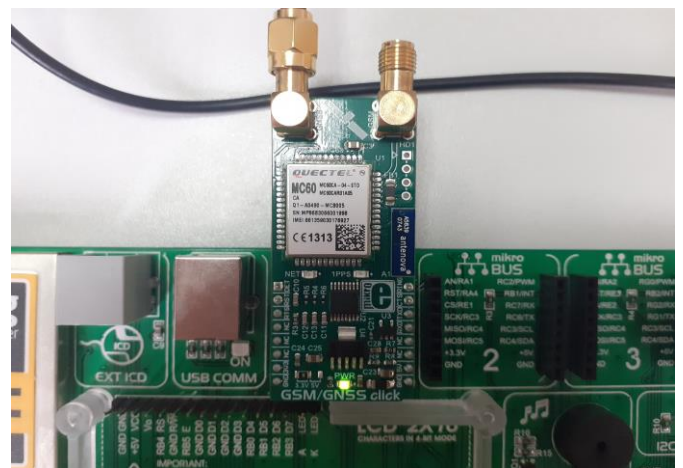


Fig. 4. GSM/GNSS click module

We placed the GSM/GNSS click module in the mikroBUS socket of the EasyPIC PRO v7 development board. Matching pins of this click module and development board are given in Table I.

TABLE I  
MATCHING PINS OF THE GSM/GNSS CLICK MODULE AND THE MIKROBUS SOCKET

GSM/GNSS click pin	mikroBUS pin
DET (SD card detection)	AN
RST (reset)	RST
RTS (ready to send)	CS
NC	SCK
NC	MISO
NC	MOSI
3.3V (power supply)	3.3V
GND (ground)	GND
RING (ring indicator)	PWM
CTS (clear to send)	INT
RXD (UART receive)	RX
TXD (UART transmit)	TX
NC	SCL
NC	SDA
5 V (power supply)	5 V

The GSM/GNSS module can perform all GSM (Global System for Mobile Telecommunications) functions, such as making calls and messaging. GNSS is an abbreviation which integrates two satellite systems – GPS (USA) and GLONASS (Russian Federation). This module allows receiving data from satellites, such as coordinates and time. Data is transmitted as encrypted messages, whose format is defined by the National Marine Electronics Association – NMEA. Every line of data that is being transmitted represents a sentence. Every sentence contains specific location data. Some of these sentences are GLL – latitude and longitude, GSA – satellite information, DTM – date, ZDA – date and time, etc. [5]. In order to receive data from satellite, the GSM/GNSS module must be connected to the antenna [4].

#### V. MPU-6050 SENSOR

The MPU-6050 sensor on the GY-521 board (Fig. 5) integrates the MEMS (microelectromechanical systems) accelerometer with three axes, the MEMS gyroscope with three axes and the DMP (Digital Motion Processor). This sensor uses the I<sup>2</sup>C communication with a microcontroller (pins: SCL – clock and SDA – data). The MPU-6050 chip has three 16-bit A/D converters for data from each axis. Data from all three axes, x, y, and z, is collected simultaneously. The full-scale range of the gyroscope can be  $\pm 250$  °/s,  $\pm 500$  °/s,  $\pm 1000$  °/s, and  $\pm 2000$  °/s, while the full-scale range of the accelerometer can take values  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ , and  $\pm 16g$  ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ). The chip contains 1024 byte FIFO (First In Last Out) buffer. Also, the MPU-6050 chip features an oscillator, as well as a temperature sensor.

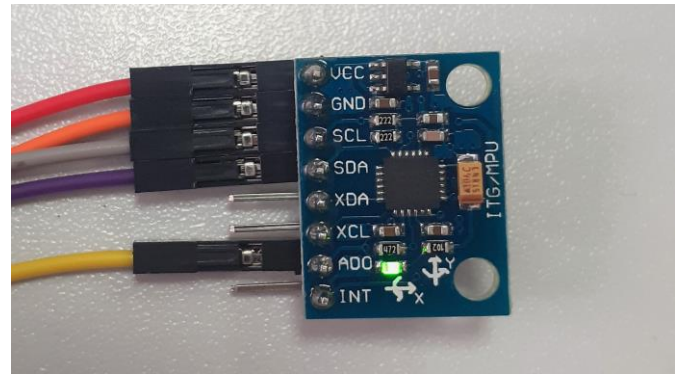


Fig. 5. MPU-6050 sensor (GY-521 module)

TABLE II  
MATCHING PINS OF THE GY-521 MODULE AND THE MIKROBUS SOCKET

GY-521 pin	mikroBUS pin
VCC	VCC
GND	GND
SCL	RC3
SDA	RC4
XDA	NC
XCL	NC
AD0	VCC

Figure 6 shows the connection of the GY-521 board and the EasyPIC PRO v7 board. Matching pins of these two components are given in Table II.

AD0 is connected to Vcc to regulate the I<sup>2</sup>C communication, due to the use of multiple sensors at once.

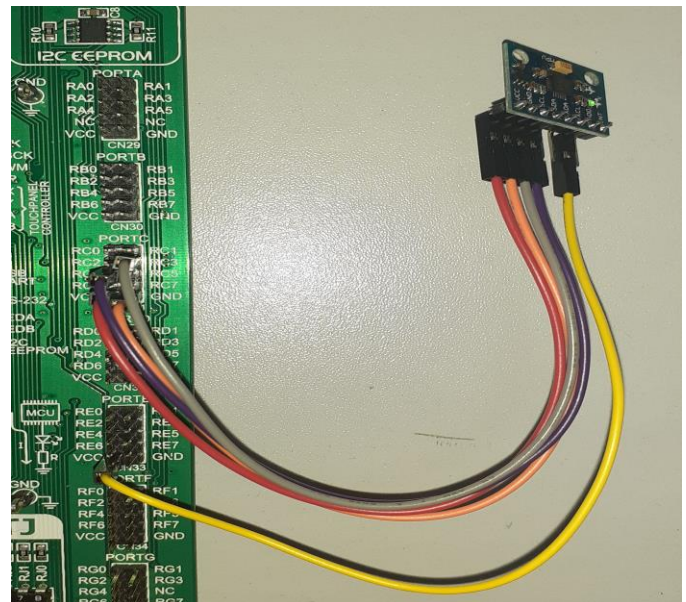


Fig. 6. Connection of the GY-521 and the EasyPIC PRO v7 development board

## VI. FIRMWARE

Figure 7 shows the variable initialization. AT commands are used for the MC60 module. For this project, we used `AT+QGNSSC`, power supply control, and `AT+QGNSSRD` for reading location information. "`AT+QGNSSC=1`" is used for turning the module on, whereas "`AT+QGNSSC=0`" means that the module is turned off.

`AT+QGNSSRD=\NMEA/GGA\` collects GGA sentences, which contains information about time, latitude, longitude, number of satellites, etc. 16-bit variables `X_accelAxis`, `Y_accelAxis` and `Z_accelAxis` store acceleration values for x, y and z-axis. The variable `accelRange` represents the full-scale range for the accelerometer of the MPU-6050 sensor, while the variable `accel` stores values for the total acceleration. To distinguish latitude and longitude data from the GGA sentence, we parse the GGA sentence. This is done within the function `gsmgnss_default_handler`. The function for parsing the sentence is `strtok`, which divides given string, in this case, `rsp` (GGA sentence), into a series of tokens based on the given delimiter, in this case, the comma. Latitude data, information about whether it is north or south, longitude data, and information about whether it is east or west, are contained in places 2-7 in the parsed GGA sentence. Using the `mikrobus_logWrite` function, this data is displayed in the terminal (Fig. 8).

```

55 static char GNSS_CMD_QGNSSC[15] = "AT+QGNSSC=1";
56 static char GNSS_CMD_QGNSSRD[25] = "AT+QGNSSRD=\NMEA/GGA\";
57
58 int16_t X_accelAxis;
59 int16_t Y_accelAxis;
60 int16_t Z_accelAxis;
61
62 uint8_t accelRange;
63 float accel;
64 char demoText[ 50 ];
65
66
67 void gsmgnss_default_handler( uint8_t *rsp, uint8_t *evArgs )
68 {
69     static uint32_t cnt=0;
70     char *ptr;
71     int brojac;
72     cnt++;
73     if(cnt < 8){
74         mikrobus_logWrite( rsp, _LOG_TEXT );
75     }
76     brojac = 0;
77     ptr = strtok( rsp, "," );
78     while(ptr!=0){
79         brojac++;
80         if(brojac>2 && brojac<7){
81             mikrobus_logWrite( ptr, _LOG_TEXT );
82             mikrobus_logWrite( "\n", _LOG_TEXT );
83         }
84     }
85     ptr = strtok(0, ",");
86 }
87
88

```

Fig. 7. Variable initialization and the GGA sentence parsing

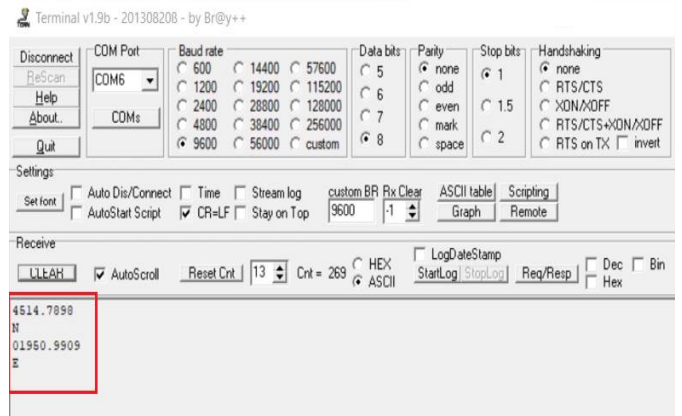


Fig. 8. Location data

In Figure 9, initialization of the system is shown. `mikrobus_gpioInit` initializes GPIO (General Purpose Input Output) pins as input or output, while `mikrobus_uartInit` initializes the UART communication with the GSM/GNSS module.

```

91 void systemInit()
92 {
93     mikrobus_gpioInit( _MIKROBUS1, _MIKROBUS_AN_PIN, _GPIO_INPUT );
94     mikrobus_gpioInit( _MIKROBUS1, _MIKROBUS_PWM_PIN, _GPIO_INPUT );
95     mikrobus_gpioInit( _MIKROBUS1, _MIKROBUS_INT_PIN, _GPIO_INPUT );
96     mikrobus_gpioInit( _MIKROBUS1, _MIKROBUS_RST_PIN, _GPIO_OUTPUT );
97     mikrobus_gpioInit( _MIKROBUS1, _MIKROBUS_CS_PIN, _GPIO_OUTPUT );
98
99     mikrobus_uartInit( _MIKROBUS1, &GSMGNSS_UART_CFG[0] );
100    mikrobus_logInit( _MIKROBUS3, 9600 );
101    mikrobus_logWrite("---- Start Init ----", _LOG_LINE);
102
103    mikrobus_gpioInit( _MIKROBUS1, _MIKROBUS_INT_PIN, _GPIO_INPUT );
104    mikrobus_i2cInit( _MIKROBUS1, &ACCEL0_I2C_CFG[0] );
105
106    mikrobus_logWrite(" --- System Init ---", _LOG_LINE);
107    Delay_ms( 100 );
108 }

```

Fig. 9. System initialization

The `mikrobus_logInit` function defines the UART information logging, where the number of bits that are being transmitted per second is 9600. With this, GSM/GNSS module initialization is achieved. In the `mikrobus_gpioInit` function INT pin of the GY-521 module is initialized as input, and for the I<sup>2</sup>C communication with the MPU-6050 module initialization, function `mikrobus_i2cInit` is used.

Figure 11 shows the initialization of the application. The initialization of the GSM/GNSS module timer is done in line 116, whereas the initialization of the driver of this module is done in lines 118 and 119. The module is turned on within lines 121 and 122.

The `gsmgnss_cmdSingle` function sends a command to the GSM/GNSS module. Further, in lines 131-138, the driver of the MPU-6050 module is initialized, as well as reset and configure this module. In line 140, the full-scale range of the acceleration is defined, and for this project, we used 8g.

Every 100 ms location data is checked, and in the case of detecting acceleration, which indicates the fall, location data is sent to the user. With the `accel8_getAccelAxis` function values of acceleration for all three axes are collected, and the total acceleration is calculated as given in (1). Projections of the acceleration vector on x, y, and z-axis in the Cartesian coordinate system are illustrated in Fig. 10. This is implemented in line 164 of the code (Fig. 12).

As a limit, we used a value of 30 000. This limit was determined experimentally, by observing acceleration within the normal movement and rapid changes in movement.

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

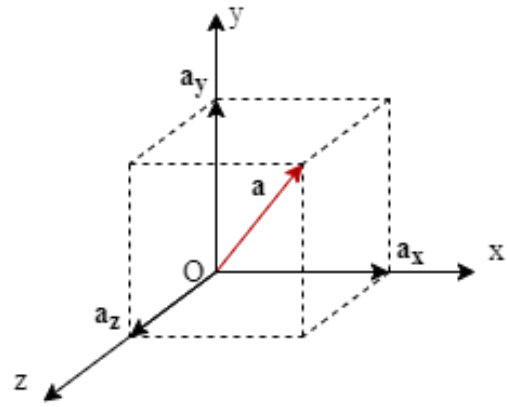


Fig. 10. Projections of the acceleration vector on x, y, and z-axis

```

111 void applicationInit()
112 {
113     //GSM/GNSS:
114
115     // TIMER INIT
116     gsmgnss_configTimer();
117     // DRIVER INIT
118     gsmgnss_uartDriverInit((T_GSMGNSS_P)&MIKROBUS1_GPIO, (T_GSMGNSS_P)&MIKROBUS1_UART);
119     gsmgnss_coreInit(gsmgnss_default_handler, 1500);
120     // MODULE POWER ON
121     gsmgnss_hfcEnable(1);
122     gsmgnss_modulePower(1);
123
124
125     gsmgnss_cmdSingle(&GNSS_CMD_QGNSSC[0]);
126     Delay_ms(3000);
127
128     mikrobus_logWrite("---- GNSS Init done ---", _LOG_LINE);
129
130     //ACCEL:
131     accel8_i2cDriverInit((T_ACCEL8_P)&MIKROBUS1_GPIO, (T_ACCEL8_P)&MIKROBUS1_I2C, _ACCEL8_DEVICE_SLAVE_ADDRESS_ADD);
132     mikrobus_logWrite(" --- Device Reset --- ", _LOG_LINE);
133     accel8_writeByte(_ACCEL8_REG_PWR_MGMT_1, _ACCEL8_PM1_DEVICE_RESET);
134     accel8_writeByte(_ACCEL8_REG_SIGNAL_PATH_RESET, _ACCEL8_GYRO_RESET | _ACCEL8_ACCEL_RESET | _ACCEL8_TEMP_RESET);
135
136     mikrobus_logWrite(" --- Device Configuration --- ", _LOG_LINE);
137     accel8_writeByte(_ACCEL8_REG_PWR_MGMT_1, _ACCEL8_PM1_CLKSEL_INTERNAL_8MHZ_OSCILLATOR);
138     accel8_writeByte(_ACCEL8_REG_INT_ENABLE, _ACCEL8_INTE_DATA_RDY_ENABLE);
139
140     accelRange = accel8_accelConfig(_ACCEL8_ACCEL_CFG_FULL_SCALE_RANGE_8g);
141     accel8_writeByte(_ACCEL8_REG_FIFO_EN, _ACCEL8_FIFO_ENABLE_TEMP |
142         _ACCEL8_FIFO_ENABLE_X_AXIS_GYRO |
143         _ACCEL8_FIFO_ENABLE_Y_AXIS_GYRO |
144         _ACCEL8_FIFO_ENABLE_Z_AXIS_GYRO |
145         _ACCEL8_FIFO_ENABLE_ACCEL);
146     Delay_ms(1000);
147     mikrobus_logWrite(" --- Start Measurement --- ", _LOG_LINE);
148
149 }

```

Fig. 11. Application initialization

```

157 void applicationTask()
158 {
159     gsmgnss_process();
160     if(timerCounter > 100)
161     {
162         {
163             accel8_getAccelAxis(&X_accelAxis, &Y_accelAxis, &Z_accelAxis);
164             accel = sqrt((float)X_accelAxis*X_accelAxis + (float)Y_accelAxis*Y_accelAxis + (float)Z_accelAxis*Z_accelAxis);
165
166             if(accel > 30000){
167                 gsmgnss_cmdSingle(&GNSS_CMD_QGNSSRD[0]);
168                 timerCounter = 0;
169             }
170         }
171     }
172 }

```

Fig. 12. Acceleration data acquisition

## VII. CONCLUSION

Due to falling, many injuries can occur in the elderly, such as fractures of arms, wrists, pelvis, hip, head, internal injuries, and loss of mobility. These injuries can significantly reduce the quality of life of the injured person. The fall detection system could contribute to providing timely medical care to the injured, hence, it could contribute to preventing many injuries and medical complications caused by falling.

The aim of this paper was to give a prototype of the fall detection system. To achieve a more reliable system, further work requires a more elaborate experiment and measurements of acceleration.

Further improvements could include the minimization of the components and their integration in one wearable device. This device could be realized as a bracelet, that can be worn on a wrist, ankle, or attached to a belt. An illustration of such a device is presented in Fig. 13.



Fig. 13. Fall detection system illustration

## REFERENCES

- [1] MikroElektronika. EasyPIC PRO v7 manual. Retrieved February 26, 2020, from <https://download.mikroe.com/documents/full-featured-boards/easy/easypic-pro-v7/easypic-pro-v7-manual-v101.pdf>
- [2] Microchip Technology Inc. PIC18F87K22 Family Data Sheet. Retrieved February 26, 2020, from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39960d.pdf>
- [3] Microchip Technology Inc. nanoWatt Technology. Retrieved February 26, 2020, from [http://ww1.microchip.com/downloads/en/Market\\_Communication/nanowatt1jan03.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/Market_Communication/nanowatt1jan03.pdf)
- [4] MikroElektronika. GSM/GNSS click. Retrieved February 26, 2020, from <https://www.mikroe.com/gsm-gnss-click>
- [5] MikroElektronika (2016). Not all GPS units are created equal. Retrieved February 26, 2020, from <https://www.mikroe.com/blog/not-gps-units-created-equal>
- [6] MikroElektronika. CCP Modules. Retrieved February 26, 2020, from <https://www.mikroe.com/ebooks/pic-microcontrollers-programming-in-assembly/ccp-modules>
- [7] Quectel (2017). MC60 Series GNSS. AT Commands Manual Retrieved February 26, 2020, from [https://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel\\_MC60\\_Series\\_GNSS\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V1.3.pdf](https://www.quectel.com/UploadImage/Downlad/Quectel_MC60_Series_GNSS_AT_Commands_Manual_V1.3.pdf)
- [8] Arduino. MPU-6050 Accelerometer + Gyro. Retrieved February 27, 2020, from <https://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050/>
- [9] InvenSense Inc. (2012). MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification. Retrieved February 27, 2020, from <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/GY-521/mpu6050.pdf>
- [10] MikroElektronika. Accel 8 click. Retrieved February 27, 2020, from <https://www.mikroe.com/accel-8-click>

# Microprocessor based EMG measurement in servo system

Mario Volaš, Jovana Jović, Đorđe Novaković

**Abstract**—The goal of this paper was to find a practical use for electromyography signals that can be detected on a muscle. This was achieved using an EasyPIC PRO v7 with a PIC18F87K22 microcontroller, an EMG click (MIKROE-2621), which is based on a MCP609 operational amplifier and MAX6106 micropower voltage reference, and a servo motor. The signal from the arm is processed by the microcontroller, which also controls the servo motor.

**Index Terms**—Measurement, sensors, EMG signal, servo motor.

## I. INTRODUCTION

Technology in the world is developing at a great speed, which enables people to have access to all sorts of gadgets that help in the household and in the industry.

Electromyography (EMG) is an electrodiagnostic medicine technique for evaluating and recording the electrical activity produced by skeletal muscles [1]. It is often used for checking the health of muscles and neurons that control them. They carry electric signals which are then collected into an EMG signal. On fig. 1. is a display of such a signal.

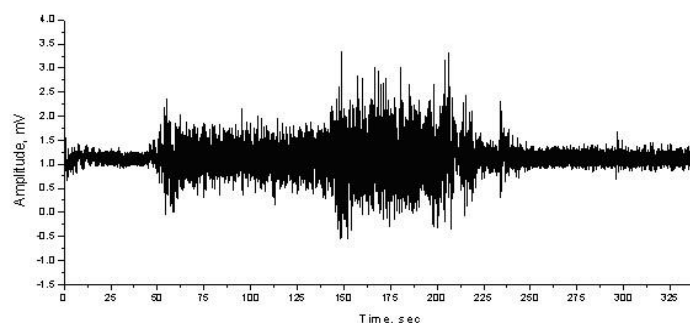


Fig. 1 - Display of an EMG signal

The signals can be analyzed to detect medical abnormalities, activation level, or recruitment order, or to analyze the biomechanics of human or animal movement. In

Mario Volaš - Faculty of technical sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: mariovolas@gmail.com)

Jovana Jović - Faculty of technical sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia (e-mail: jovanajovic180@gmail.com)

Đorđe Novaković - Faculty of technical sciences, University of Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

Computer Science, EMG is also used as middleware in gesture recognition towards allowing the input of physical action to a computer as a form of human-computer interaction [2]. In this project the EMG signal is used as a human-computer interaction.

## II. SYSTEM DESCRIPTION

The basic idea of this project was to find a use for the EMG signals that our muscles produce, so they could be used in everyday life. This was achieved by adding a servo motor to the end of the chain, which can act as an actuator. By doing this, a practical use is given to the concept.

This concept was accomplished by using an EasyPIC PRO v7 [3] development board with a PIC18F87K22 [4] microcontroller. An EMG click [5] was connected to the board using a microBUS [6] terminal. The development board and the EMG click were both developed by Mikroelektronika. The project was done as part of the Microprocessor based measurement and data acquisition systems 1 [7]. For demonstration purposes a Graphical LCD [8] display was also connected to the development board, which plays an animation of an arm moving the same way as the arm to which the electrodes are connected. All of the data acquisition and processing was done in MikroC [9] programming environment. A more detailed explanation of the sensors as well as all the other components will be given in the sections to come.

## III. EMG CLICK

The EMG click measures EMG signals with the help of an MCP609 operational amplifier [10] as well as a MAX6106 micropower voltage reference [11]. It is designed to run on a 5 V power supply and has an analog output pin.



Fig. 2 - EMG click.[5]

The MCP609 operational amplifier from Microchip Technology Inc. is unity-gain stable with low offset voltage (250 $\mu$ V, maximum). Performance characteristics include rail-to-rail output swing capability and low input bias current (80 pA at +85 °C, maximum).

The MAX6106 is a low-cost, low-dropout (LDO), micropower voltage reference. This three-terminal reference is available with output voltage options of 1.25 V, 1.8 V, 2.048 V, 2.5 V, 3 V, 4.096 V, 4.5 V, and 5 V. For this click, the 2.048V option is used.

TABLE I  
EMG CLICK SPECIFICATIONS

Type	Biometrics
Applications	Measuring the electrical activity produced by skeletal muscles.
On-board modules	MAX6106 voltage reference, 3.5 mm audio jack
Key features	ESD protection, Overvoltage protection, High-pass filter
Interface	Analog
Compatibility	mikroBUS
Click board size	L(57.15 x 25.4 mm)
Input Voltage	5 V

The figure below shows the pinout of the EMG click with the corresponding pins of the mikroBUS socket.

Notes	Pin	mikroBUS				Pin	Notes
Analog output	AN	1	AN	PWM	16	NC	
	NC	2	RST	INT	15	NC	
	NC	3	CS	TX	14	NC	
	NC	4	SCK	RX	13	NC	
	NC	5	MISO	SCL	12	NC	
	NC	6	MOSI	SDA	11	NC	
	NC	7	3.3V	5V	10	+5V	Power supply
Ground	GND	8	GND	GND	9	GND	Ground

Fig. 3 - EMG pinout. [5]

The click board measures the EMG signal through an electrode that is connected via a 3.5 mm audio jack. The electrodes collect the voltage from the skin (few milivolts), and that signal then gets amplified and filtered. This process can be presented with a block diagram presented on the figure below.

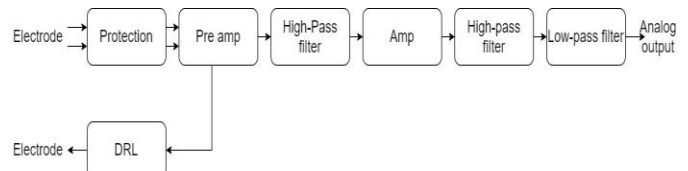


Fig. 4 - EMG click block diagram.

The EMG click should be connected to an MCU that has an at least 10-bit ADC, and the sampling rate should be at least 256 Hz as specified by the manufacturer. On the figure below is a picture showing the position of the electrodes used in this project.

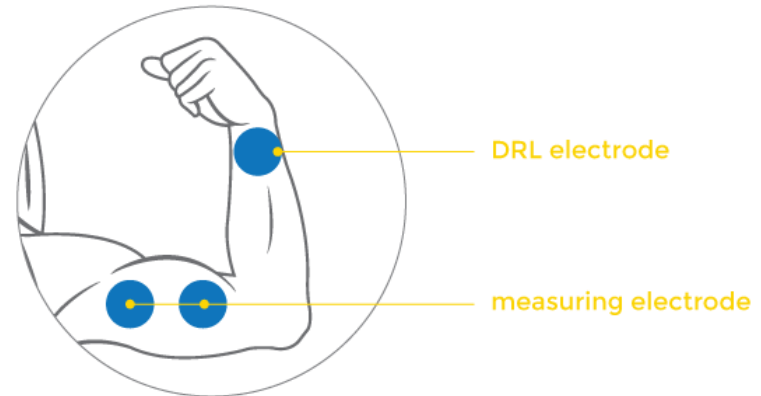


Fig. 5 - Position of the electrodes

The signal from the EMG click was lead to the ADC of the microcontroller found on the development board, from which it was filtered again by using standard deviation for the purpose of recognizing the movement of the arm.

#### IV. SERVO MOTOR

In this project the servo motor serves as an actuator, which we could later connect to some other moving parts. This demonstrates the vast use for configurations like these.

A servo motor is a closed-loop servomechanism that uses position feedback to control its motion and final position.

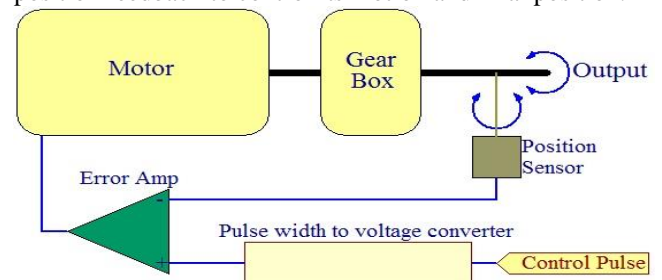


Fig. 6 - Feedback loop of a servo motor

The RC servo motor used here has three input pins, one for control and two for powering the motor. The control signal is used for controlling the angular velocity. The most common form of this signal is a PWM signal. In modern RC servos the angle of mechanical rotation is determined by the width of an electrical pulse that is applied to the control wire. The typical RC servo expects to see a pulse every 20 ms, however this can vary within a wide range



that differs from servo to servo. The width of the pulse will determine how far the motor turns [12].

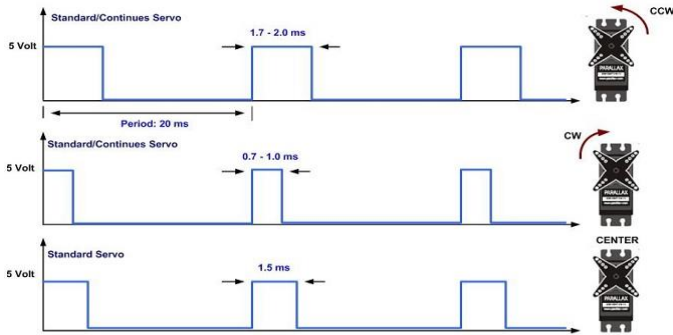


Fig. 7 - Movement of the servo motor depending on the pulse width [13]

## V. THE ALGORITHM OF THE CODE

The algorithm of the code is given on the figure below.

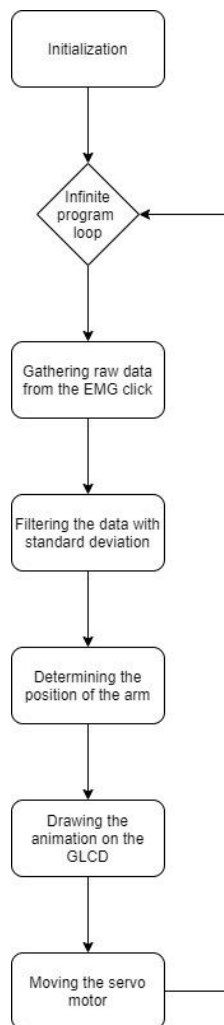


Fig. 8 - Algorithm showing the different steps of the program

The first step is the initialization of all the components that are connected to the development board, such as the EMG click, GLCD display etc. This is the only step outside the infinite program loop, as it should only be executed once.

After that we get into the infinite program loop.

The first step there is to gather the data from the EMG click via the ADC found on the microcontroller. Since the raw data from the EMG click is really noisy, there was a need to filter it out. This was done by getting the standard deviation of the signal. The number of the samples taken for the standard deviation was determined by experiments. After this the signal is smooth, and it is easy to determine the position of the arm by finding the values of the signal for both positions of the arm. For demonstration purposes a GLCD display was connected to the development board to show the movement of the arm via an animation. After this the PWM signal is generated, which depends on the position of the arm, so it turns clockwise if an extension happened, or counterclockwise if a flexion happened.

## VI. CONCLUSION

This project shows a basic example for the EMG click, or other products of this kind, as they are not intended to be used in medical purposes. Also, the project can be developed further to match the practical needs of the industry or household.

On the figure below is a picture of the whole project.

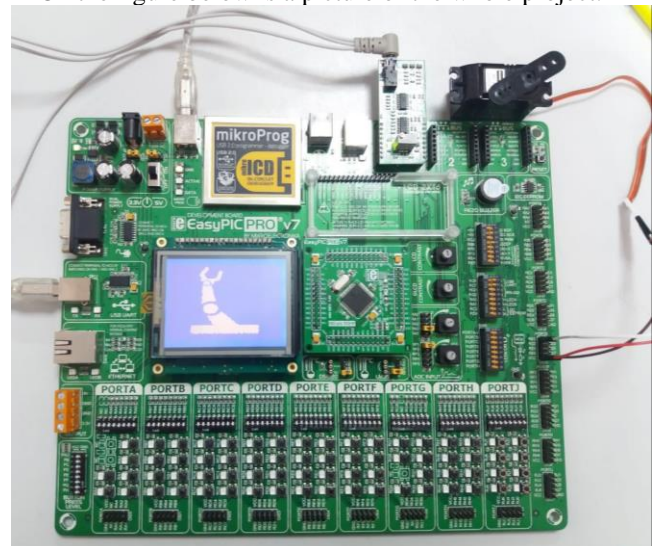


Fig. 9 – Picture of the project

The two main states of the system (flexion and extension) are showed on the figure below.

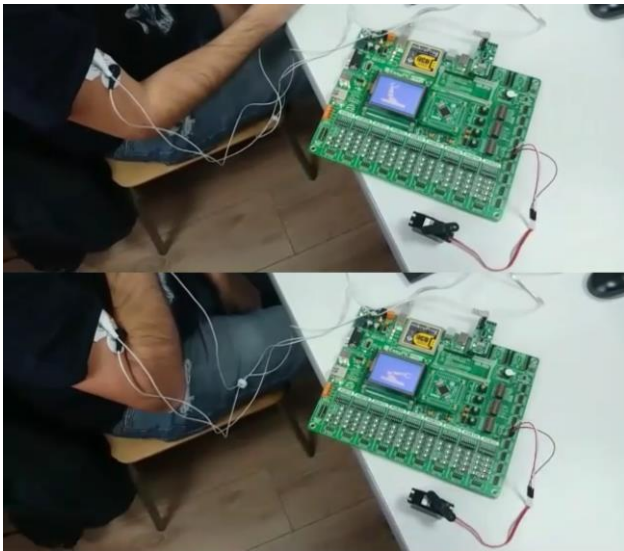


Fig. 9 – The extension (first picture) and flexion (second picture)

#### ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank professor Platon Sovilj for recommending us this conference as well as other members of the chair of Electric measuring. Also we would like to thank Mikroelektronika for the technical support.

#### REFERENCES

- [1] Kamen, Gary. Electromyographic Kinesiology. In Robertson, DGE et al. Research Methods in Biomechanics. Champaign, IL: Human Kinetics Publ., 2004.
- [2] Kobylarz, Jhonatan; Bird, Jordan J.; Faria, Diego R.; Ribeiro, Eduardo Parente; Ekárt, Anikó (2020-03-07). "[Thumbs up, thumbs down: non-verbal human-robot interaction through real-time EMG classification via inductive and supervised transductive transfer learning](#)". *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. Springer Science and Business Media LLC
- [3] Mikroelektronika, "EasyPIC PRO v7", [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/easypic-pro>
- [4] Microchip, "PIC18F87K22", [Online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F87K22>
- [5] Mikroelektronika, "EMG click", [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/emg-click>
- [6] Mikroelektronika, "MikroBUS", [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/mikrobus>
- [7] K. z. E. Merenja, "Mikroprocesorski merno - akvizicioni sistemi 1," [Online]. Available: <http://kelm.ftn.uns.ac.rs/mikroprocesorski-merno-akvizicioni-sistemi-1>
- [8] Mikroelektronika, "Graphic LCD 128x64", [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/glcd-128x64>
- [9] Mikroelektronika, "MikroC PRO for PIC", [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/mikroc-pic>
- [10] Microchip Technology Inc., "Datasheet MCP609", [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11177f.pdf>
- [11] Maxim Integrated, "Datasheet MAX6106", [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6100-MAX6107.pdf>
- [12] Ron Lund. "Servo Frequency and Center Pulse Width Information" Archived 2013-01-19 at the Wayback Machine
- [13] Ermicro, "Basic Servo Motor Controlling with Microchip PIC Microcontroller", [Online]. Available: <http://www.ermicro.com/blog/?p=771>

# Web bazirani merni sistem za monitoring telesnog stanja

Zdravko Gotovac, Milica Mitrović, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*, Ivan Gutai, *Member, IEEE*

**Apstrakt**—U ovom radu je prikazan razvoj jednog kompaktnog veb baziranog senzorskog sistema, koji se koristi u svrhe nadgledanja temperature, ritma disanja i srčanog ritma ispitanika. Razvoj ovog sistema je zasnovan na korišćenju već postojećih, besplatnih ili relativno pristupačnih hardverskih i softverskih rešenja.

**Ključne reči**—Arduino UNO, MongoDB Atlas, senzorski sistem, Google G Suite, Python

## I. UVOD

Rad predstavlja projekat iz predmeta veb bazirani merno akvizicioni sistemi, i osmišljen je tako da objedini gradivo iz više različitih predmeta. Kompaktni sistem za monitoring stanja pacijenta projektovan je tako da se smanje troškovi neophodni za njegovu izradu i održavanje, a da se u isto vreme implementiraju novodosupne besplatne tehnologije. Uzimajući u obzir značajno veće cene uređaja trenutno dostupnih na tržištu, motivacija je bila da se obezbedi finansijski pristupačan uređaj koji bi mogao da prati vitalne parametre korisnika, što bi moglo da pruži velike zdravstvene benefite. Slični sistemi se već nalaze u pametnim satovima, ali treba napomenuti da je njihova preciznost je značajno manja, kao i to da nekim potencijalnim korisnicima nisu neophodne ostale mogućnosti koji oni pružaju, a koje bi morao da plati.

Delovi od kojih se projekat razvoja sastoji su:

- A. dizajniranje kola za akviziciju
- B. povezivanje i učitavanje rezultata merenja
- C. pravljenje baze podataka upotrebom MongoDB Atlas servisa
- D. importovanje podataka iz baze u Google G Suite aplikacije
- E. dizajniranje i izrada veb-sajta
- F. prikaz podataka iz baze na veb-sajtu

Projekat je podeljen u diskretne delove da bi se jednostavnije mogle vršiti izmene prilikom izrade, kao i zbog

Zdravko Gotovac – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gotovaczdravko17@gmail.com).

Milica Mitrović – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: milica.mitroviczv@gmail.com).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs)

Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

Ivan Gutai – Fakul. tet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gutai@uns.ac.rs).

potencijalne mogućnosti unapređivanja pojedinačnih delova rada, kao i rada u celini.

## II. FAZE U RAZVOJU SISTEMA

### A. Dizajniranje kola za akviziciju

Prilikom izrade projekta postojala je mogućnost da se koriste već napravljeni senzori, ali odlučeno je da se naprave kola za akviziciju za potrebe rada. Kola za akviziciju za koje smo se odlučili, i koji su ispunjavali kriterijume neophodne za izradu projekta su pulsni detektor, detektor udisaja i kolo za akviziciju telesne temperature. Kola za akviziciju su napravljena u „trough hole“ tehnologiji, i prvo su napravljeni prototipovi pločica, a nakon toga su napravljene i štampane pločice.

Pulsni detektor je kolo za akviziciju koje služi za detekciju pulsa koristeći TCRT1000 optokapler tako što se on postavlja na krvni sud. Infracrvena LED sa optokaplera emituje zračenje koje se reflektuje, nakon čega ga detektuje uparena foto dioda. Prilikom pulsiranja krvi kroz krvni sud, zbog postojanja hemoglobina u crvenim krvnim zrnima, intenzitet reflektovanog zračenja se menja, što dovodi do promene signala na emiteru foto diode. Taj signal se kasnije pojačava. Ono na šta je potrebno obratiti pažnju je filtriranje neželjenih signala, upotrebom filtarskih kola koja se nalaze u sastavu pojačavača. Filtri su napravljeni tako da propuštaju samo signale frekvencija od 0,1 Hz do 2,5 Hz, gde se može naći vrednost pulsa.

Detektor udisaja je napravljen upotrebom merne trake koja se nalazi prikačena na rastegljivi pojas, koji se povezuje oko abdomena korisnika. Merna traka je povezana kao naponski razdelnik u kombinaciji sa otpornikom fiksne vrednosti. Prilikom disanja traka se rasteže i skuplja, što dovodi do promene odnosa napona koji se nalaze na otporniku i mernoj traci. Taj signal se dalje pojačava i filtriraju se smetnje.

Kolo za akviziciju telesne temperature se sastoji iz dva dela. Prvi je senzor LM35 koji povezan na duže žice da bi se mogao lakše koristiti. Drugi je pojačavačko i filtarsko kolo.

Svaki od kola za akviziciju napaja se sa Arduino mirokontrolera, koji nam pruža mogućnost unipolarnog napajanja. To napajanje može da bude od 0 V do 3,3 V ili od 0 V do 5 V.

To se može uraditi jer operacioni pojačavači koji se nalaze u kolima za akviziciju, kao i ostale aktivne električne komponente mogu da budu unipolarno napajane.

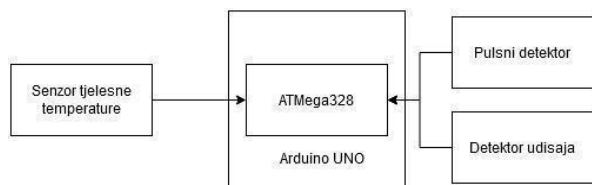
Na pinove koji služe za priključivanje svakog od tri kola za akviziciju povezani su u paraleli keramički kondenzator male

kapacitivnosti i elektrolitički kondenzator veće kapacitivnosti, koji služe za stabilizaciju napojnog signala.

U paraleli vezana sa kondenzatorima, nalazi se zaštitna dioda, koja sprečava da kolo pregori u slučaju nepravilnog povezivanja kola za akviziciju.

### B. Povezivanje i učitavanje rezultata merenja

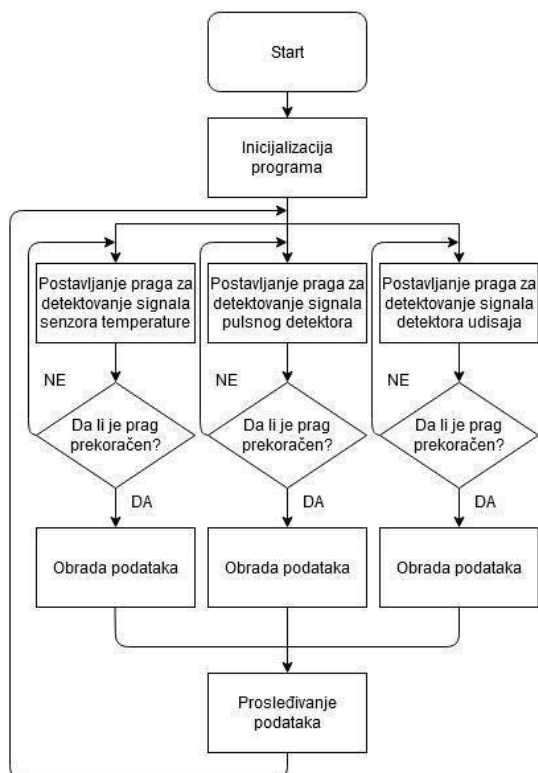
Kola za akviziciju su povezana na Arduino UNO, slika 1, i moguće je očitavanje merenja preko obe vrste pinova (analognih i digitalnih pinova), ali u ovom konkretnom primeru kola za akviziciju su povezana koristeći analogne pinove.



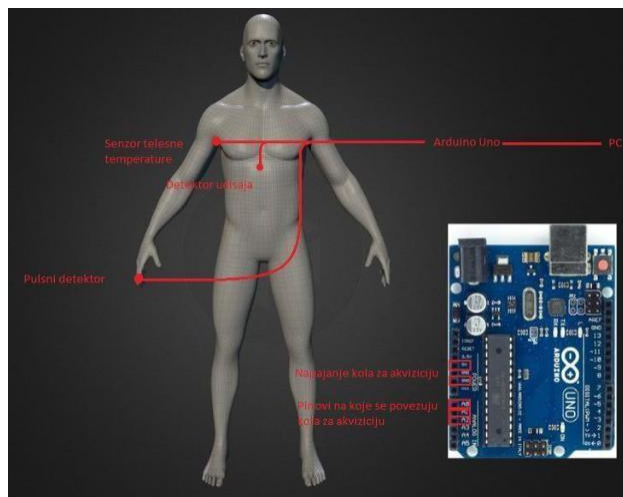
Sl. 1. Šema povezivanja senzora

Rezultati se očitavaju sa ulaznih analognih pinova, slika 3, koristeći ADC konvertor, zbog čega se ne vrši istovremeno učitavanje rezultata sa više različitih ulaznih analognih pinova (ADC konverter može da očitava signal samo sa jednog pina i konvertuje ga, ne postoji mogućnost paralelizacije očitavanja), nego se periodično očitavaju signali sa analognih pinova.

Za potrebe detekcije pulsa i detekcije udisaja mogli su se koristiti i digitalni pinovi jer se signali koje daju kola za akviziciju mogu izmeniti propuštanjem kroz ispravljачko kolo.



Sl. 2. Programski algoritam za akviziciju podataka



Sl. 3. Lokacije senzora, i pinovi na razvojnoj ploči na koje su povezani

### C. Pravljenje baze podataka upotrebom MongoDB Atlas servisa

Bilo je neophodno napraviti bazu podataka na koju će se slati podaci koji su očitavani sa kola za akviziciju.

Baza podataka koja je odabrana je MongoDB, zbog toga što je relativno nova baza podataka sa dosta naprednih opcija, kao i mogućnošću korišćenja "cloud based" baze podataka, što je i upotrebljeno prilikom izrade rada. Neophodno je ući na MongoDB Atlas [1] servis, i napraviti nalog. Nalog je povezan sa Gugl nalogom i možemo da odaberemo besplatnu verziju na koju je moguće besplatno smestiti 512 MB podataka (što je i više nego što nam je potrebno za izradu projekta).

### D. Importovanje podataka iz baze u Google G Suite aplikacije

MongoDB baza podataka takođe je povezana sa Google G Suite [2] aplikacijskim paketom. Da bi to uradili, neophodno je omogućiti komunikaciju MongoDB baze podataka sa Gugl Tabelama i Gugl Diskom.

To je obavljeno preko veb-huk (webhook) aplikacije, koja je kreirana u MongoDB Atlasu koristeći Stitch [3] servis, i ona je URL tipa. Neophodno je napisati program koji skida podatke i skladišti ih u Gugl Tabele.

Da bi napisali jedan takav program treba napraviti novu radnu svesku u Gugl Tabelama, i u postavkama moguće je napisati programsku skriptu u JavaScript jeziku za prikupljanje podataka iz baze podataka.

Pokretanje skripte je moguće izvršiti upotrebom različitih okidača (trigger) u Gugl Kloud Konzoli [4] koje možemo podesiti da se izvršavaju na različite načine (vremenski ili događajem izazvani). Za skriptu koja je napisana za potrebe importovanja podataka iz baze podataka upotrebljen je vremenski okidač (svaki minut).

U konzoli, pored koda za importovanje podataka iz baze podataka, napisan je i program za eksportovanje podataka iz Gugl Tabela u Gugl Disk u vidu JSON datoteke. Pokretanje skripte je podešeno preko okidača tako da svaki put kada se promeni radna sveska, podaci se eksportuju u vidu JSON

datoteke (tako svaki put kada nam pristignu podaci posredstvom import programa, eksport program biva pokrenut).

#### E. Dizajniranje i izrada veb-sajta

Veb-sajt je napravljen preuzimanjem besplatne html-css skripte [5] koja je izmenena tako da odgovara projektu. Uslovi koji su morali da se ispune prilikom izmene skripte su: skalabilnost (jednostavna mogućnost dodavanja stranica i elemenata veb-sajtu), univerzalno formiranje (mora postojati univerzalnost prikaza na različitim uređajima) i jednostavno vizuelno prezentovanje elemenata.

Web hosting je obezbeđen na AWS serveru [6], što se i može videti kada se pogleda veb-adresa sajta.

#### F. Prikaz podataka iz baze na veb-sajtu

Poslednji deo projekta bio je prikazivanje podataka koji su smešteni u bazu podataka u vidu grafika i tabele. To je bilo moguće jednostavno obezbediti upotrebom Charts srevisa [7] iz MongoDB Atlas-a.

U Charts-u možemo da napravimo tabelu i grafik, tako što

kreiramo novi Dashboard, i u njemu kreiramo grafik i tabelu.

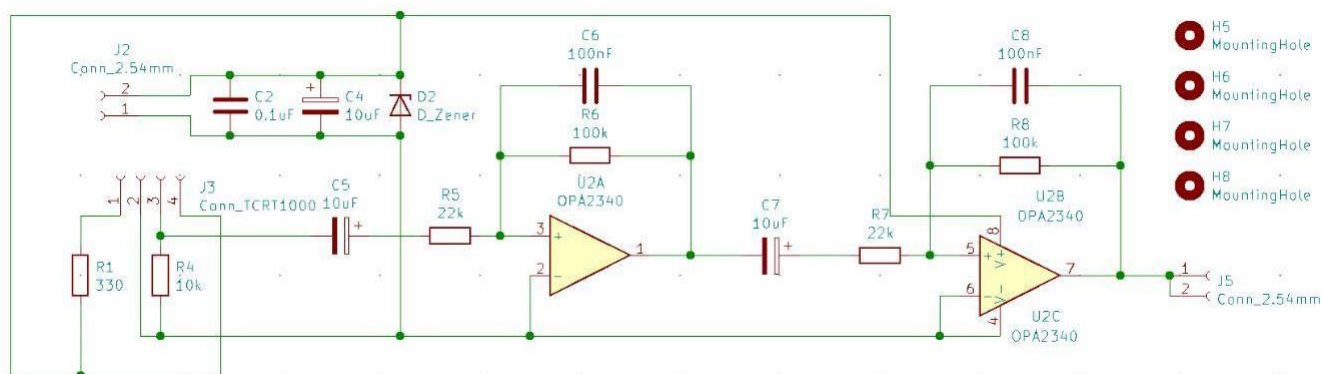
Kada to uradimo, izaberemo opciju uključivanja chart-a u druge skripte (Embed Chart), gde je moguće podesiti veličinu, boje i brzinu osvežavanja podataka koje grafik i tabela koriste. Taj izmenjeni kod moguće je proslediti u veb-sajtu.

### III. REZULTATI

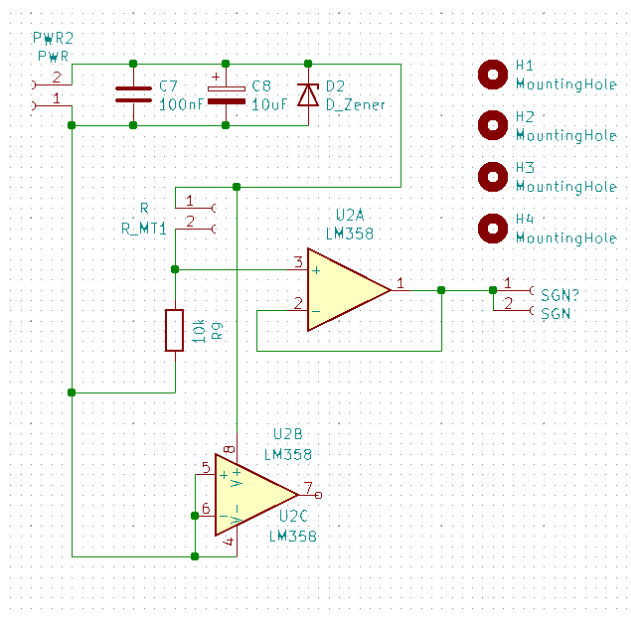
#### A. Prikaz kola za akviziciju

Kola za akviziciju su prvo testirana softverski u vidu simulacije električnih kola u LTspice [8] programskom okruženju, što je prikazano na slikama 4, 5 i 6. Testirana kola za akviziciju su nakon toga skicirana u KiCad [9] programskom paketu, gde je obavljeno i dizajniranje štampanih pločica.

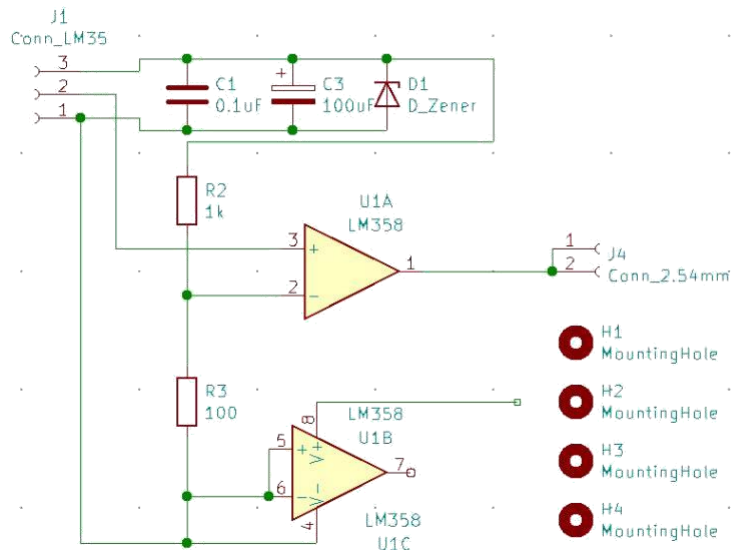
Izgled 3D modela pločica se može videti na slici 7.



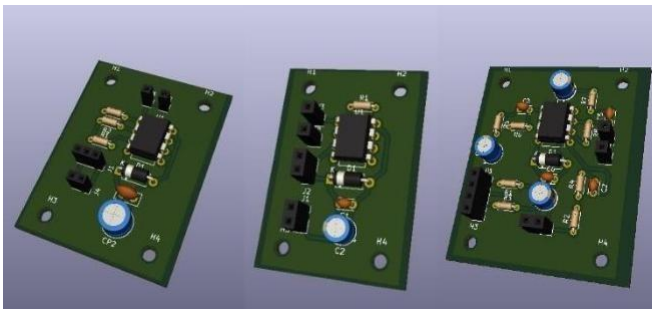
SI. 4. Kolo za akviziciju pulsa



SI. 5. Kolo za akviziciju frekvencije udisaja



Sl. 6. Kolo za akviziciju telesne temperature

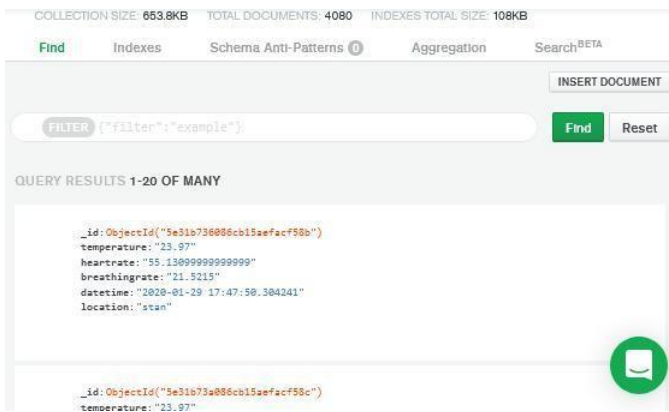


Sl. 7. 3D model štampanih pločica senzora

### B. Prikaz merjenja podataka smeštenih u MongoDB Atlas

Podaci koji su poslani u MongoDB Atlas upotrebom Python programske skripte mogu se pogledati u polju klasteri u MongoDB Atlas servisu.

Napisani su u vidu Python rečnika koji je veoma jednostavan za pregledanje jer razdvaja pojedinačne objekte i reda ih po vremenu dodavanja u kolekciju, kao što je prikazano na slici 8.



Sl. 8. Kolekcija koja je korištena iz MongoDB baze podataka

### C. Prikaz rezultata smeštenih u Gugl Tabele

Radna sveska koja je napravljena za potrebe prikazivanja podataka eksportovanih iz naše baze podataka može biti izmenjena tako da su podaci prezentovani na estetski adekvatniji način, kao i za potrebe pravljenja raznih statističkih modela i grafika.

TABELA II  
PODACI SAČUVANI U GUGL TABELE APLIKACIJI

temperature	heart rate	breathing rate	datetime	location
24.0	55	21	29/01/2020 17:47	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:47	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:47	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:47	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:48	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:48	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:48	stan
24.0	55	21	29/01/2020 17:48	stan

### D. Prikaz JSON datoteke eksportovane u Gugl Disk

Prilikom eksportovanja podataka u Gugl Disk moguće je odabrati, ili kreirati, posebnu lokaciju za smeštanje JSON datoteke. Datoteku je takođe moguće u isto vreme podeliti sa više korisnika i programa.

### E. Prikaz veb-stranice dizajnirane za prezentovanje podataka u obliku tabele i grafika

Veb-stranica je optimizovana za prikazivanje na pc, laptop i mobilnim uređajima kao što je prikazano na slikama 9 i 10.



Sl. 9. Veb-stranica „MONITOR STANJA“ pokrenuta na android mobilnom uređaju

datetime	location	breathingrate	heartrate	temperature
2020-01-09 20:19:21.021002	stan	21.9215	55.13000000000000	23.97
2020-01-09 20:19:17.777338	stan	21.474	55.016	23.92
2020-01-09 20:19:16.550350	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:19:14.341304	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:19:12.132259	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:19:09.921139	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:19:07.696478	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:19:05.483393	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:19:03.273844	stan	21.38540000000000	54.80800000000000	23.83
2020-01-09 20:19:01.062273	stan	21.474	55.016	23.92
2020-01-09 20:18:58.859322	stan	21.38540000000000	54.80800000000000	23.83
2020-01-09 20:18:56.641800	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:18:54.433343	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88
2020-01-09 20:18:52.241680	stan	21.43500000000000	54.92300000000000	23.88

Sl. 10. Veb-stranica „MONITOR STANJA“ pokrenuta na windows računaru

### IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu priloženog može da se vidi da je izrada jednog ovakvog sistema za nadzor pacijenta izuzetno pristupačna i jednostavna. Naravno ono što je bitno je to da nije ni finansijski zahtevna.

Postoji mogućnost upotrebe već napravljenih senzora, bez potrebe da se izrađuju novi posebno za implementaciju u ovakvom sistemi. Platforma za akviziciju podataka se takođe može promeniti tako da odgovara specifičnim zahtevima potencijalnog korisnika.

Treba spomenuti i mogućnost skaliranja sistema, tako da bi se moglo dodati još senzora, i da se može vršiti monitoring više pacijenata.

### ZAHVALNICA

Milica Mitrović i Zdravko Gotovac žele da se zahvale Đorđu Novakoviću, Ivanu Gutaiu, Platonu Sovilju i Draganu Pejiću na korisnim diskusijama i savetima, kao i na obezbeđivanju potrebne opreme prilikom izrade rada.

### LITERATURA

- [1] <https://www.mongodb.com/cloud/atlas>
- [2] <https://gsuite.google.com/>
- [3] <https://www.mongodb.com/stitch>
- [4] <https://console.cloud.google.com/>
- [5] <https://templated.co/>
- [6] [https://aws.amazon.com](https://aws.amazon.com/)
- [7] <https://www.mongodb.com/products/charts>
- [8] <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
- [9] <https://kicad-pcb.org/>

### ABSTRACT

In this paper is shown development of a compact web based sensory system, which is being used for purposes of monitoring body temperature, breathing rate and heart rate of user.. Development of this complete system is based upon usage of existing, free or relatively inexpensive hardware and software solutions.

### Web based measurement system for body monitoring

Milica Mitrović, Zdravko Gotovac, Platon Sovilj, Đorđe Novaković, Ivan Gutai