

МЕТРОЛОГИЈА
/
МЕТРОЛОГИЈ
(МЛ/МЛ)

Obezbeđenje validnosti rezultata ispitivanja nivoa snage smetnji ponavljanjem merenja

Aleksandar M. Kovačević, Nenad Munić, Veljko Nikolić, Ljubiša Tomić

Apstrakt—Akreditovana laboratorija mora da preispituje svoje rezultate ispitivanja radi obezbeđenja njihove validnosti. Jedan od načina je ponavljanje ispitivanja na poznatom uređaju. U radu je prikazano merenje nivoa snage smetnji na kuvalu za vodu. Pri tome, praćenje validnosti rezultata ispitivanja se obavlja u skladu sa utvrđenom procedurom.

Ključne reči—Validnost; merenje; snaga smetnji.

I. UVOD

AKREDITOVANA laboratorija mora da preispituje svoje rezultate ispitivanja radi obezbeđenja njihove validnosti. Pri tome, ona mora da ima proceduru za praćenje validnosti rezultata [1].

Ovo praćenje mora da se planira i preispituje i mora da obuhvati sledeće [1]:

- a) korišćenje referentnih materijala ili materijala za kontrolu kvaliteta;
- b) korišćenje alternativnih instrumenata koji su etalonirani i istog nivoa tačnosti tako da daju sledljive rezultate;
- c) funkcionalnu proveru merne opreme i opreme za ispitivanje;
- d) korišćenje etalona za proveru ili radnih etalona sa kontrolnim kartama, tamo gde je to primenljivo;
- e) međuprovere merne opreme;
- f) ponavljanje ispitivanja ili etaloniranja korišćenjem istih ili različitih metoda;
- g) ponovno ispitivanje ili etaloniranje predmeta koji se čuvaju;
- h) korelacija rezultata za različite karakteristike predmeta;
- i) preispitivanje rezultata o kojima se izveštava;
- j) međulaboratorijska poređenja;
- k) ispitivanje slepih uzoraka.

Pri tome, svaka laboratorija obuhvata ono što joj je odgovarajuće.

Odeljenje za elektromagnetsku kompatibilnost i uticaje okoline je akreditovano u oblasti ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti (u daljem tekstu Odeljenje za EMC i uticaje okoline) u okviru Centra za ispitivanje proizvoda, Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: nenadmunic@yahoo.com; veljkozmaaj@yahoo.com). Ljubiša Tomić – Vojnotehnički institut, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: ljubisa.tomic@gmail.com).

Aleksandar M. Kovačević – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: aleksandar.kovacevic@ftn.kg.ac.rs). Nenad Munić, Veljko Nikolić – Tehnički opitni centar, Generalštab Vojske Srbije, Vojvode Stepe 445, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: nenadmunic@yahoo.com; veljkozmaaj@yahoo.com). Ljubiša Tomić – Vojnotehnički institut, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: ljubisa.tomic@gmail.com).

i uticaje okoline u sklopu obezbeđenja validnosti rezultata ispitivanja redovno vrši sledeće aktivnosti: funkcionalnu proveru merne opreme i opreme za ispitivanje, međuprovere ključne merne opreme, ponavljanje ispitivanja korišćenjem istih metoda, ponovno ispitivanje predmeta koji se čuvaju, preispitivanje rezultata o kojima se izveštava, međulaboratorijsko poređenje. U tu svrhu, u TOC-u je izrađen dokument Uputstvo za obezbeđenje poverenja u kvalitet rezultata ispitivanja [3], a u skladu sa standardom SRPS ISO/IEC 17025:2017 [1]. Neke od navedenih aktivnosti (međulaboratorijsko poređenje, međuprovere ključne merne opreme) su i prezentovane na nacionalnim naučnim skupovima [4, 5].

U ovom radu je prikazano ponavljanje merenja nivoa snage smetnji na kuvalu za vodu (aparatus za domaćinstvo), koja su realizovana 2017. i 2018. godine, respektivno. Merenja nivoa snage smetnji su obavljena na mrežnom vodu (niskonaponska elektroenergetska mreža) prema standardu SRPS EN 55014-1:2010/A1:2010/A2:2012 [6, 7, 8] i SRPS EN 55014-1:2017 [9].

Cilj ponavljanja ispitivanja (merenje nivoa snage smetnji) na poznatom uređaju je da, na osnovu analize dobijenih rezultata i zadatog kriterijumima, Odeljenje za EMC i uticaje okoline obezbedi njihovu validnost. Naime, podaci dobijeni na osnovu ove analize se koriste za upravljanje i poboljšavanje aktivnosti Odeljenja za EMC i uticaje okoline. Ukoliko se nađe da su rezultati analiza dobijenih podataka izvan prethodno definisanih kriterijuma, mora da se preduzima odgovarajuća mera kako bi se sprečilo da se izveštava o netačnim rezultatima [1].

II. USLOVI ISPITIVANJA

Merenje nivoa snage smetnji je vršeno na mrežnom vodu kuvala za vodu prema standardu [6, 7, 8, 9]. Tip kuvala za vodu je FA-5428-2, proizvođača „TZS FIRST Austria“, ser.br. SP-3711, 220 V, 50 Hz, 2200 W.

Kuvalo za vodu je postavljeno na ugao drvenog (neprovodnog) stola da bi apsorpciona klešta bila što bliže drvenoj klupi (Sl. 1). Pri tome, mrežni vod uređaja je bio priključen na pravolinijski deo mrežnog voda, kako bi se u svakom trenutku omogućilo pomeranje apsorpcionih klešta (Sl. 2).

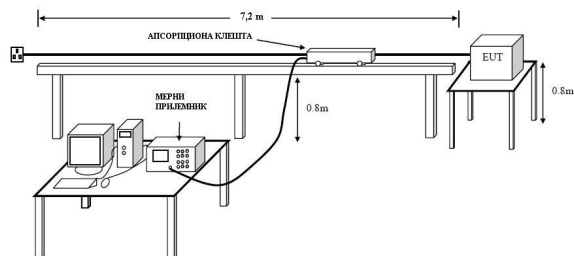
Apsorpciona klešta su bila postavljena oko voda tako da je merena veličina srazmerna snazi smetnji na vodu [6, 7, 8, 9, 10]. Da bi se mogli porediti rezultati merenja, nije vršeno menjanje mernog položaja apsorpcionih klešta, tj. obeležen

je položaj klešta u odnosu na pravolinijski deo mrežnog voda.



Sl. 1. Povezivanje kuvala za vodu na pravolinijski deo mrežnog voda.

Pre početka merenja snage smetnji izvršena je kontrola smetnji okoline kada je uređaj isključen (nivo smetnji ambijenta).



Sl. 2. Merenje snage smetnji na mrežnom vodu.

Merenje nivoa snage smetnji je vršeno na mrežnom vodu u frekventijskom opsegu od 30 MHz do 300 MHz, na 3 izabrane frekvencije, iz 3 frekventijska podopsega (30 MHz do 100 MHz, 100 MHz do 200 MHz, 200 MHz do 300 MHz), respektivno, kako je propisano standardima [6, 7, 8, 9, 10].

Na početku merenja se prvo vrši pretraživanje ili prebrisavanje celokupnog opsega (prvo merenje), za šta se koristi vršni – Pk detektor analizatora spektra [6, 7, 8, 9]. Zatim se za svaku navedenu frekvenciju (odnosno za definisani podopseg oko nje) izvrši drugo merenje sa sva tri detektora analizatora spektra (vršni – Pk detektor, kvazivršni – QP detektor, detektor srednje vrednosti – AVG detektor).

Pri tome, kuvalo za vodu je bilo u radu (grejalo je vodu).

Za navedena merenja korišćena su sledeća merna sredstva i oprema:

- EMC analizator spektra E7402A, „AGILENT“, od 100 Hz do 3 GHz,
- Apsorpciona klešta AMZ 41A, Teseq, od 30 MHz do 1 GHz,

- Stoni računar ASUS sa aplikacijom za automatizaciju merenja (EMC Measurement Application E7415A);
- BNC kabl, Teseq,
- Kabl RG-214/U.

Pri tome, karakteristike merne opreme zadovoljavaju propisane standarde [11, 12].

Uslovi okoline:

- temperatura okoline: $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- relativna vlažnost vazduha: $65\% \pm 15\%$.

III. KRITERIJUM ZA OCENU REZULTATA MERENJA

Za ocenu rezultata merenja korišćena je sledeća formula:

$$|X_2 - X_1| \leq U_m - \text{zadovoljavajući (prihvatljiv) rezultat} \quad (1)$$

gde su:

X_1 – izmereni nivo snage smetnji (dBpW), 2017. godine,

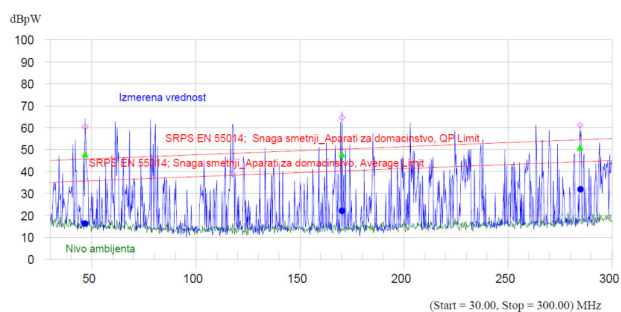
X_2 – izmereni nivo snage smetnji (dBpW), 2018. godine,

U_m – proširena merna nesigurnost merenja nivoa snage smetnji (za faktor proširenja ili prekrivanja $k = 2$).

Kao kriterijum za ocenu validnosti ponovljenih rezultata merenja uzeta je zadovoljenost (1). Naime, ukoliko je zadovoljenost (1) ispunjena, tj. razlika u dobijenim vrednostima je u granicama merne nesigurnosti, smatra se da je obezbeđena validnost rezultata merenja, pa nema potrebe za korektivnim merama. U suprotnom, potrebno je uvesti korektivne mere (npr. vanredno etaloniranje merne opreme i sl.).

IV. REZULTATI MERENJA

Grafički prikaz rezultata merenja nivoa snage smetnji na mrežnom vodu (2018) je dat na Sl. 3.



Sl. 3. Grafički prikaz rezultata merenja nivoa snage smetnji na mrežnom vodu (2018).

Prvo je izvršeno pretraživanje ili prebrisavanje celokupnog opsega (prvo merenje) sa Pk detektorom analizatora spektra. Zatim se za svaku navedenu frekvenciju (odnosno za definisani podopseg oko nje) izvrši drugo merenje sa sva tri detektora analizatora spektra (Pk detektor, vrednosti na grafiku su označene rombićima; QP detektor, vrednosti na

grafiku su označene trouglićima; AVG detektor, vrednosti na grafiku su označene kružićima).

Brojčane vrednosti su date u Tabeli 1 (2017) i Tabeli 2 (2018), respektivno.

TABELA I
REZULTATI MERENJA NIVOA SNAGE SMETNJI (2017)

f (MHz)	Detektor	X_1 (dBpW)
46	Pk	57,5
	QP	48,9
	AVG	17,0
170	Pk	66,4
	QP	48,6
	AVG	24,5
284	Pk	64,5
	QP	53,1
	AVG	33,7

TABELA II
REZULTATI MERENJA NIVOA SNAGE SMETNJI (2018)

f (MHz)	Detektor	X_2 (dBpW)
46	Pk	60,5
	QP	47,9
	AVG	15,9
170	Pk	64,4
	QP	47,6
	AVG	22,8
284	Pk	61,0
	QP	50,1
	AVG	30,7

Proširena merna nesigurnost, U_m , za merenje nivoa snage smetnji ($k = 2$) iznosi 4,183 dB (u radu je usvojena vrednost od 4,2 dB). Pri tome, obračun merne nesigurnosti za snagu smetnji dat je detaljno u internoj Proceduri za određivanje merne nesigurnosti kod ispitivanja EMC [13].

Na osnovu dobijenih rezultata (Tabela 1 i Tabela 2) i postavljenog kriterijuma formirana je Tabela 3.

TABELA III
VALIDNOST REZULTATA MERENJA NIVOA SNAGE SMETNJI

f (MHz)	Detektor	X_1 (dBpW)	X_2 (dBpW)	$ X_2 - X_1 $ (dB)	U_m (dB)	$ X_2 - X_1 \leq U_m$
46	Pk	57,5	60,5	3,0	4,2	Da
	QP	48,9	47,9	1,0	4,2	Da
	AVG	17,0	15,9	1,1	4,2	Da
170	Pk	66,4	64,4	2,0	4,2	Da
	QP	48,6	47,6	1,0	4,2	Da
	AVG	24,5	22,8	1,7	4,2	Da
284	Pk	64,5	61,0	3,5	4,2	Da
	QP	53,1	50,1	3,0	4,2	Da
	AVG	33,7	30,7	3,0	4,2	Da

Iz Tabele 3 se vidi da je zadovoljenost (1) ispunjena.

Na osnovu svega, utvrđeno je da je razlika u dobijenim vrednostima u granicama merne nesigurnosti, tako da je

obezbeđena validnost rezultata merenja, pa nema potrebe za korektivnim merama.

V. ZAKLJUČAK

Odeljenje za elektromagnetsku kompatibilnost i uticaje okoline iz Tehničkog opitnog centra iz Beograda, koje je akreditovano u oblasti ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti (EMC), svake godine vrši praćenje validnosti rezultata ispitivanja, koje se obavlja u skladu sa utvrđenom procedurom [3].

Ponavljanje ispitivanja na poznatom uređaju je jedan od postupaka za praćenje validnosti rezultata. Pri tome, cilj ponavljanja ispitivanja (merenje nivoa snage smetnji) na poznatom uređaju (kuvalo za vodu) je da, na osnovu analize dobijenih rezultata i zadatog kriterijumima, Odeljenje za EMC i uticaje okoline obezbedi njihovu validnost.

U ovom radu je prikazano ponavljanje merenja nivoa snage smetnji na kuvalu za vodu (aparatus za domaćinstvo), koja su realizovana 2017. i 2018. godine, respektivno. Merenja nivoa snage smetnji su obavljena na mrežnom vodu (niskonaponska elektroenergetska mreža) prema standardima [6, 7, 8, 9]. Kao kriterijum za ocenu validnosti ponovljenih rezultata merenja uzeta je zadovoljenost (1), tj. da razlika u dobijenim vrednostima bude u granicama merne nesigurnosti.

Kako je utvrđeno da je razlika u dobijenim vrednostima u granicama merne nesigurnosti, to je obezbeđena validnost rezultata merenja, pa nema potrebe za korektivnim merama.

LITERATURA

- [1] *Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje*, SRPS ISO/IEC 17025, ISS, 2017.
- [2] <http://www.toc.vs.rs>.
- [3] *Uputstvo za obezbeđenje poverenja u kvalitet rezultata ispitivanja*, Interni dokument, TOC, 2005.
- [4] A. Kovačević, N. Munić, V. Nikolić, Lj. Tomić, I. Kostić, "Međulaboratorijsko poređenje merenja snage smetnji na mrežnom vodu", Zbornik radova 62. konferencije ETRAN-a, Palić, Srbija, str. 256-259, 11-14.06.2018.
- [5] A. Kovačević, N. Munić, V. Nikolić, Lj. Tomić, I. Kostić, "Međuprovera EMC analizatora spektra između dva etaloniranja", Zbornik radova 63. konferencije ETRAN-a, Srebno jezero, Srbija, str. 523-526, 03-06.06.2019.
- [6] *Elektromagnetska kompatibilnost – Zahtevi za aparate za domaćinstvo, električne alate i slične uređaje – Deo 1 : Emisija*, SRPS EN 55014-1, ISS, 2010.
- [7] *Elektromagnetska kompatibilnost – Zahtevi za aparate za domaćinstvo, električne alate i slične uređaje – Deo 1 : Emisija – Izmena 1*, SRPS EN 55014-1/A1, ISS, 2010.
- [8] *Elektromagnetska kompatibilnost – Zahtevi za aparate za domaćinstvo, električne alate i slične uređaje – Deo 1 : Emisija – Izmena 2*, SRPS EN 55014-1/A2, ISS, 2012.
- [9] *Elektromagnetska kompatibilnost – Zahtevi za aparate za domaćinstvo, električne alate i slične uređaje – Deo 1 : Emisija*, SRPS EN 55014-1, ISS, 2017.
- [10] *Specifikacija aparata i metoda za merenje radio-smetnji i imunosti – Deo 2-2: Metode merenja smetnji i imunosti – Merenje snage smetnje*, SRPS EN 55016-2-2, ISS, 2012.
- [11] *Specifikacija aparata i metoda za merenje radio-smetnji i imunosti – Deo 1-1: Aparati za merenje radio-smetnji i imunosti – Merni aparati*, SRPS EN 55016-1-1:2011/A1:2012/A2:2015, ISS.
- [12] *Specifikacija aparata i metoda za merenje radio-smetnji i imunosti – Deo 1-3: Aparati za merenje radio-smetnji i imunosti – Pomoćna oprema – Snaga smetnji*, SRPS EN 55016-1-3:2011/A1:2017, ISS.
- [13] *Procedura za određivanje merne nesigurnosti kod ispitivanja EMC*, Interni dokument, TOC, 2018.

ABSTRACT

An accredited laboratory shall review its test results to ensure their validity. One way is to repeat the test on a known device. The paper presents the measurement of disturbance power levels on an electric kettle. In addition, the monitoring of the validity of test results is performed in accordance to a defined procedure.

Ensuring the validity of test results of disturbance power levels by repeating the measurement

Aleksandar M. Kovačević, Nenad Munić,
Veljko Nikolić, Ljubiša Tomić

Očitavanje pseudoslučajnog koda pomoću linearnog niza fotodetektora kod pseudoslučajnih pozicionih enkodera

Ivana Randelović, Dragan Denić i Goran Miljković

Apstrakt— U radu se predlaže primena linearnog niza fotodetektora za paralelno očitavanje pseudoslučajnog binarnog koda kod apsolutnih pseudoslučajnih pozicionih enkodera. Predloženom metodom očitavanja koda bi se eliminisala potreba za inicijalnim kretanjem osovine enkodera prilikom njegovog startovanja u slučaju serijskog očitavanja koda. Urađena je simulacija rada predloženog rešenja pozicionog enkodera primenom softverskog paketa LabVIEW. Digitalna simulacija je realizovana u formi dva programa, pri čemu jedan program simulira sistem za očitavanje koda pseudoslučajnog pozicionog enkodera, dok drugi program simulira funkcionisanje elektronskog bloka takvog enkodera. Predstavljena je analiza primene komercijalno dostupnog linearnog niza fotodetektora za očitavanje koda sa realizovanog staklenog diska enkodera na kome je pseudoslučajna kodna traka.

Ključne reči— pseudoslučajni pozicioni enkoder, merenje pozicije, paralelno očitavanje pseudoslučajnog koda, linearni niz fotodetektora, virtuelna instrumentacija, LabVIEW.

I. UVOD

Za određivanje pozicije pokretnih sistema u industriji sve više se koriste pseudoslučajni pozicioni enkodori koji predstavljaju značajan pravac u razvoju novih tipova apsolutnih enkodera. Enkodori sa pseudoslučajnim kodom omogućuju visoku tačnost i dobru pouzdanost. Prilikom razvoja pseudoslučajnih enkodera potrebno je podjednako dobro realizovati sve njegove sastavne komponente: realizacija kodnog diska shodno optičkom čitaču koji će se koristiti, način očitavanja pseudoslučajnog koda [1], metoda skeniranja koda, konverzija pseudoslučajnog u prirodni kod [2], implementacija detekcije grešaka očitavanja koda [3], kao i postupak određivanja nulte pozicije prilikom montaže enkodera na osovinu motora [4].

Primena pseudoslučajnih pozicionih enkodera je široka. Mogu se naći u raznim oblastima: za merenje pozicije u industriji i robotici, pozicioniranje kranova i dizalica [5], za kontrolu kretanja automatski vođenih mašina [6], itd.

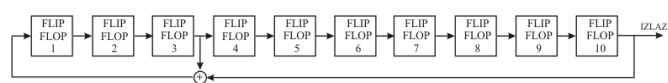
Prvi korak u realizaciji pseudoslučajnog pozicionog enkodera jeste nanošenje pseudoslučajne binarne sekvence

Ivana Randelović – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: ivana.randjelovic@elfak.ni.ac.rs).

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

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

(PRBS) na kodnu traku pri čemu je sekvenca prethodno generisana uz pomoć pomeračkog registra sastavljenog od n flip flopova i odgovarajuće povratne sprege definisane na osnovu tabele primitivnih polinoma. Paralelno, na sve stepene registra (flip-flobove) se dovodi signal takta i naredno stanje pomeračkog registra zavisi od prethodnog stanja i od definisane povratne sprege. Međutim, prilikom generisanja pseudoslučajne sekvence nije dozvoljeno pojavljivanje stanja u kome su svi stepeni pomeračkog registra na nuli, pošto generator ne može da izađe iz tog stanja. Primenjuje se linearna povratna sprega koja definiše ulazni bit pomeračkog registra kao linearnu funkciju prethodnog stanja registra. Naziv “linearna” potiče od činjenice da je povratna sprega izvedena primenom linearnih operacija, npr. sabiranjem po modulu 2, nad sadržajem memorijskih elemenata pomeračkog registra. Samo povratna sprega definisana na osnovu tabele primitivnih polinoma, [7], generisaće na izlazu pomeračkog registra sekvencu maksimalne dužine $2^n - 1$. Ovako generisana pseudoslučajna binarna sekvenca rezolucije n je maksimalne dužine $2^n - 1$ i sadrži $2^n - 1$ različitih kodnih reči dužine n . Preciznost merenja pozicije u pokretnim sistemima je veća ukoliko je veća rezolucija n . Kada je reč o industrijskim pokretnim sistemima sve više se povećavaju zahtevi što se tiče tačnosti i pouzdanosti pozicionog enkodera, a rezolucija koja se zahteva je reda $n)10$. U radu, na slici 1. prikazano je generisanje pseudoslučajne binarne sekvence maksimalne dužine, za $n = 10$ i odgovarajuće povratne sprege dobijene primenom primitivnog polinoma $h(x) = x^{10} + x^3 + 1$.



Sl. 1. Generisanje pseudoslučajne binarne sekvence za $n=10$.

Obrtni optički enkodori visoke rezolucije, kao i linearni pozicioni enkodori mogu da koriste metod pseudoslučajnog kodiranja. Određivanje pozicije kod ovih enkodera se zasniva na “osobini prozora” pseudoslučajne binarne sekvence [7], pri čemu prozor dužine n koji se kreće duž pseudoslučajne binarne sekvence izdvaja jedinstvenu kodnu reč. Susedne kodne reči koje su raspoređene na kodnoj traci se međusobno razlikuju samo u jednom bitu, što je omogućilo serijsko očitavanje koda. Međutim, serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda zahteva početno inicijalno kretanje prilikom startovanja enkodera kako bi se formirala prva

validna kodna reč, zbog čega su takvi enkoderni poznati na tržištu pod imenom "virtuelni enkoderni". Kako bi dizajnirali enkoder koji je potpuno apsolutni u svim segmentima svog funkcionisanja, u ovom radu se uvodi paralelno očitavanje pseudoslučajnog koda. Odnosno, cilj je da se informacija o apsolutnoj poziciji dobija odmah i prilikom samog startovanja enkodera, i prilikom nestanka napajanja enkodera kao i u toku obrtanja osovine enkodera.

U prvom delu rada je objašnjen princip paralelnog očitavanja pseudoslučajnog koda korišćenjem linearnog niza fotodetektora. Pri tome je objašnjena procedura određivanja apsolutne pozicije, kao i problemi koji se pri tome javljaju. Istaknuta su ograničenja i prednosti korišćenja ovakvog načina funkcionisanja pseudoslučajnog enkodera. U drugom delu rada je predstavljena simulacija očitavanja koda korišćenjem LabVIEW okruženja, kao i simulacija rada elektronskog bloka ovakvog enkodera po prijemu signala iz sistema za očitavanje koda. Eksperimentisano je sa različitim putanjama kretanja, kao i sa različitim situacijama koje se mogu javiti pri funkcionisanju enkodera u industrijskom okruženju. Takođe, prikazana je i mogućnost primene linearnog niza fotodetektora, koji se trenutno mogu naći na tržištu, za paralelno očitavanje pseudoslučajnog koda na realizovanom staklenom kodnom disku.

II. PARALELNO OČITAVANJE PSEUDOSLUČAJNOG KODA KOD POZICIONIH ENKODERA NA BAZI LINEARNOG NIZA FOTODETEKTORA

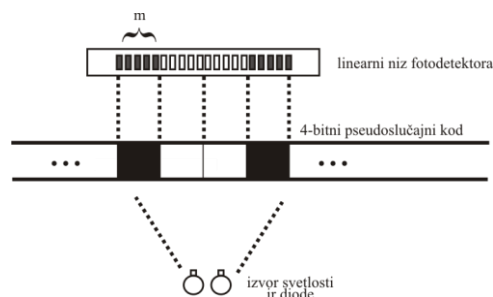
Primena pozicionog pseudoslučajnog enkodera u aplikacijama gde je neprihvatljivo postojanje početnog inicijalnog kretanja kako bi se formirala prva apsolutna pozicija je dovelo do ideje primene metode paralelnog očitavanja pseudoslučajnog koda. Paralelno očitavanje pseudoslučajnog koda se može realizovati pojedinačnim fotodiodama, ali je njihova fotoosetljiva oblast reda 0.3 mm što sa kućištem bude 4-5 mm, pri čemu se značajno ograničava realizacija enkodera visoke rezolucije. Veće rezolucije se mogu postići primenom detektora sa integrisanim nizom fotodetektora na jednom čipu [8, 9], ili primenom CCD senzora [10]. Brzina očitavanja CCD senzora je manja od brzine očitavanja niza fotodetektora, pa se CCD senzori mogu koristiti za enkodere u aplikacijama gde imamo manje brzine rotacije osovine.

Na tržištu se mogu naći komercijalni integrisani linearni nizovi fotodetektora sa različitim širinama fotoosetljivog elementa, odnosno različitim razmacima između susednih fotodetektora koji su reda 400 μm , 100 μm , 50 μm , 25 μm itd. Neki od proizvođača ovakvih linearnih nizova fotodetektora su: iC-Haus GmbH [14], Hamamatsu company, [15], Sensors Unlimited [16].

Osnovni princip funkcionisanja pseudoslučajnog enkodera sa paralelnim očitavanjem na bazi primene linearnog niza fotodetektora je prikazan na slici 2. i sastoji se u sledećem.

Primenjuje se kodni disk transparentnog tipa gde se sa jedne strane pseudoslučajne kodne trake nalazi izvor svetlosti, infracrvene diode, a sa druge strane kodne trake integrisano

kolo sa linearnim nizom fotodetektora. Za određivanje apsolutne pozicije potrebno je očitati n uzastopnih bitova sa pseudoslučajne kodne trake.



Sl. 2. Primer korišćenja linearnog niza fotodetektora za očitavanje 4-bitnog pseudoslučajnog koda

Kodna traka je tako projektovana da je širina bita, zbog pouzdanosti očitavanja, značajno veća od širine fotoelementa linearnog niza fotodetektora. Odnosno, jedan bit sa pseudoslučajne kodne trake čitaju m susednih fotodetektora. Na primer, ako je $m=5$ u idealnom slučaju dobili bismo ovakvo očitavanje kodne reči $\{1001\}$ sa 4-bitne pseudoslučajne kodne trake pomoću linearnog niza fotodetektora $\{\dots 111111000000000111111\dots\}$. Može se uočiti da je broj uzastopnih jedinica i uzastopnih nula po jednom bitu upravo m . U realnom sistemu, broj uzastopnih jedinica i nula će varirati od broja m , $\{\dots 111111100000000111110\dots\}$, zbog vibracija, temperature, prašine, itd. Kako je poznat razmak između susednih bitova, određuje se gruba apsolutna pozicija prikupljanjem susednih n bitova i njihovom konverzijom iz pseudoslučajnog u prirodni kod.

Očitavanja pseudoslučajnog bita koja se prikupljaju sa krajnje desnim fotodetektorima omogućavaju dodatnih $(m-1)$ bitova koji se mogu iskoristiti za određivanje fine pozicije pokretnog sistema. Time bi se mogla povećati rezolucija pseudoslučajnog pozicionog enkodera. Takođe, smer kretanja pokretnog sistema se može odrediti praćenjem promena vrednosti fine pozicije. Gruba pozicija se određuje uvek kada se javi skok fine pozicije. Što se tiče određivanja smera kretanja pokretnog sistema može se zaključiti da prilikom kretanja pokretnog sistema udesno, fina pozicija skače od vrednosti "fina pozicija= $m-1$ " na "fina pozicija= 0 ". Kada je skok detektovan, fina pozicija dobija vrednost 0, i sledi određivanje grube pozicije. U slučaju kretanja pokretnog sistema ulevo, fina pozicija skače od vrednosti "fina pozicija= 0 " na "fina pozicija= $m-1$ ". Gruba pozicija se određuje kada je vrednost "fina pozicija= $m-1$ " i smanjuje se za jedan.

Algoritmi rada enkodera na osnovu kojih je i urađena digitalna simulacija rada predloženog enkodera detaljno su opisani u referencama [11, 12] i omogućavaju opsežna istraživanja različitih varijanti rešenja enkodera pre njihove praktične realizacije. Algoritam u referenci [11] je u kasnijim istraživanjima modifikovan u pogledu dobijanja

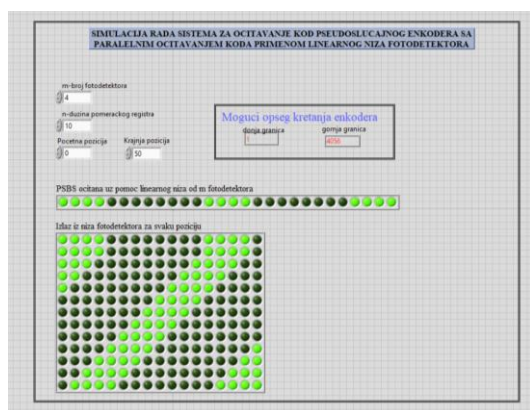
jednostavnijeg rešenja i kao takav prikazan u referenci [12] pri čemu je pokazano da u predloženom rešenju greške koje uzrokuju skok fine pozicije ne utiču na performanse sistema.

III. DIGITALNA SIMULACIJA RADA PREDLOŽENOG REŠENJA ENKODERA SA PARALELNI OČITAVANJEM PSEUDOSLUČAJNOG KODA

U cilju poboljšanja funkcionalnosti i brzine algoritma potrebno je izvršiti veći broj eksperimenata. Istraživanja su vršena na polju gde realna proba određenih rešenja zahteva velika ekonomska sredstva. Razvoj pozicionog pseudoslučajnog enkodera korišćenjem realnih komponenti enkodera bi bio skup i vremenski duži postupak, zbog čega se primenjuje računar i LabVIEW okruženje u cilju dobijanja raznih varijanti rešenja enkodera na brži i jeftiniji način. U tom pogledu, za istraživanje je najbolje posedovati dobar eksperimentalni sistem. Kvalitetnim programima za simulaciju kretanja pokretnog sistema, generisane su što tačnije informacije koje bismo dobili na izlazima sistema za očitavanje kod realnog enkodera. Dobijene informacije se zatim koriste kao ulaz programa koji simulira rad elektronskog bloka i algoritma rada enkodera. Programi za simulaciju rada enkodera su realizovani primenom softverskog paketa LabVIEW, [13].

Simulacija počinje startovanjem prvog programa koji generiše niz digitalnih signala koji se upisuju u datoteku, odakle se mogu očitati drugim programom za simulaciju rada elektronskog bloka enkodera. U samoj izradi simulatora enkodera najpre se krenulo od pretpostavke da sistem radi idealno, odnosno bez grešaka u očitavanju koda. Zatim su u simulator implementirani različiti ometajući faktori koji bi se javili u realnim industrijskim uslovima i određeno je kako to utiče na izlazne signale simulatora.

Dakle, u okviru razvijenog rešenja, dat je primer za pseudoslučajnu sekvencu sa potrebnim brojem bitova $n = 10$, broj fotodetektora po jednom bitu koda je $m = 4$, i zadati opseg kretanja (0–50), slika 3.

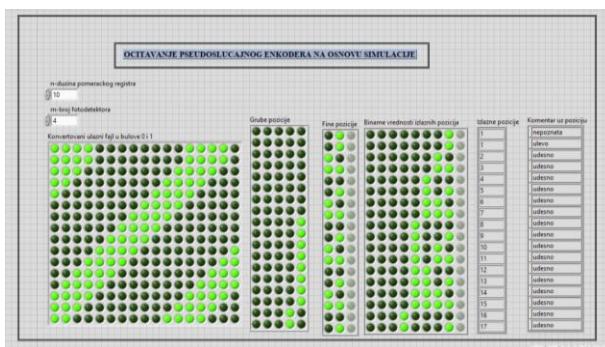


Sl. 3. Front panel simulatora rada sistema za očitavanje kod pseudoslučajnog pozicionog enkodera sa paralelnim očitavanjem koda

Podaci se upisuju u datoteku a zatim se startovanjem drugog programa određuje pozicija pokretnog sistema, slika 4.

Trebalo bi naglasiti da su grube i fine pozicije date u dekadnom sistemu, čije se vrednosti prevode u binarni oblik. Na vrednost grube pozicije u binarnom obliku dopisuje se binarna vrednost fine pozicije i prevodenjem u dekadni sistem dobija se trenutna vrednost izlazne pozicije. Na primer: ako je “gruba pozicija=7”, “fina pozicija=0”, binarne vrednosti su “gruba pozicija=111 i “fina pozicija=000”. Izlazna pozicija je sada binarno “111000” što bi u dekadnom sistemu odgovaralo poziciji $p = 56$. Smer kretanja pokretnog sistema jeste u formi “komentar uz poziciju”.

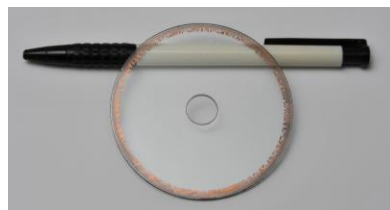
Velike su prednosti ovakvog realizovanog sistema. Testiranje određenog rešenja je veoma slično kao i kod realnog pozicionog enkodera. Rezultati simulacije se mogu prikazati ili odštampati što obezbeđuje brze korekcije eventualnih grešaka u testiranom rešenju.



Sl. 4. Front panel simulatora elektronskog bloka pseudoslučajnog pozicionog enkodera sa paralelnim očitavanjem koda

IV. ANALIZA METODE PARALELNOG OČITAVANJA PSEUDOSLUČAJNOG KODA PRIMENOM LINEARNOG NIZA FOTODETEKTORA KOD PREDLOŽENOG ENKODERA

U cilju dalje praktične provere predloženog rešenja enkodera za koje je urađena digitalna simulacija korišćen je stakleni disk enkodera i data je analiza primene linernog niza fotodetektora konkretnih proizvođača. Kodni disk je izrađen od optičkog stakla, odgovarajućeg kvaliteta obrade, debljine 1,6 mm i prečnika 72,7 mm. Prečnik otvora u centru kodnog diska iznosu 12 mm. Na površinu kodnog diska, koja je polirana do traženog kvaliteta obrade, nanosi se kodna traka u vidu preciznih podela, odnosno šara, sačinjenih od prozračnih i neprozračnih polja, kao što je prikazano na slici 5. Rezolucija pseudoslučajne trake je 10 bita, odnosno svaka pseudoslučajna traka sadrži 1024 polja. Polje jednog bita na pseudoslučajnoj kodnoj traci je širine 201 μm i visine 800 μm .



Sl. 5. Fotografija realizovanog staklenog diska pseudoslučajnog pozicionog enkodera

Kodni disk je urađen za serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda, poseduje dodatnu pseudoslučajnu kodnu traku i sinhronizacionu traku, koje nisu potrebne za analizu ovde predloženo rešenja očitavanja koda.

Za analizu očitavanja pseudoslučajnog binarnog koda je izabran senzor, LC/LSC serije, proizvođača Sensors Unlimited [16], čitač sa linearnim nizom veoma brzih InGaAs fotodetektora pri čemu je razmak između fotodetektora 25 μm dok je broj fotodetektora 512. Analizom širine kodnog bita i širine fotodetektora ustanovljeno je da je za očitavanje jednog bita sa pseudoslučajne kodne trake potrebno $m=4$ fotodetektora. Odnosno, za očitavanje 10-bitnog pseudoslučajnog koda bi se koristilo 40 susednih fotodetektora. Na osnovu kataloških podataka, brzina ovih senzora je 91,912 kHz dok je vreme očitavanja 10,88 μs pri takt frekvenciji od 12,5 MHz. Ukoliko bi se koristio integrisani niz fotodetektora drugog proizvođača, konkretno InGaAs G7151-16 proizvođača Hamamatsu company [15], koji sadrži 16 fotodetektora i razmak između senzora iznosi 100 μm tada bi bilo potrebno $m=2$ fotodetektora da bi se očitao jedan bit sa pseudoslučajne kodne trake na staklenom disku enkodera.

Istraživanja vezana za paralelno očitavanje pseudoslučajnog koda na bazi linearnog niza fotodetektora kod pozicionog enkodera su samo započeta. Primenom konkretnih integrisanih nizova fotodetektora poznatih proizvođača upotrebljenih za paralelno očitavanje pseudoslučajnog koda otvara se mogućnost i praktične realizacije enkodera kao pozicionog enkodera opšte namene visoke rezolucije.

V. ZAKLJUČAK

Danas, sve je više prisutan zahtev u industriji za pouzdanim i tačnim informacijama o poziciji pokretnog sistema. Za potrebe razvoja pseudoslučajnih pozicionih enkodera implementirana su dva programa primenom softverskog paketa LabVIEW pri čemu jedan program simulira sistem za očitavanje koda pseudoslučajnog pozicionog enkodera, dok drugi program simulira funkcionisanje elektronskog bloka takvog enkodera. Predstavljena su neka trenutno dostupna kola lineranih nizova fotodetektora na tržištu i data je analiza primene nekih od njih za predloženo rešenje enkodera. Potrebno je još dosta eksperimentisanja kako bi se došlo do konačnog praktičnog rešenja ovakvog enkodera, pri čemu bi on mogao da ima niz prednosti u odnosu na neka prethodna rešenja u literaturi. Predloženi enkoder bi bio apsolutni enkoder gde se ne zahteva početno inicijalno kretanje i koji omogućuje primenu metoda za povećanje njegove rezolucije korišćenjem informacija o finoj poziciji sistema. Sa druge strane, kao nedostatak ovako realizovanog rešenja bi bila veličina senzora kao i sporije očitavanje senzora.

ZAHVALNICA

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

LITERATURA

- [1] D. Denić, G. Miljković, "Code reading synchronization method for pseudorandom position encoders", *Sensor. Actuat. A-Phys.* vol. 150, pp. 188-191, 2009.
- [2] D. Denić, I. Stojković, "Pseudorandom/natural code converter with parallel feedback logic configuration", *Electron. Lett.* vol. 46, pp. 921-922, 2010.
- [3] D. Denić, M. Arsić, "Checking of pseudorandom code reading correctness", *Electron. Lett.* vol. 29, pp. 1843-1844, 1993.
- [4] D. Denić, I. Randelović, G. Miljković, "Recent trends of linear and angular pseudorandom encoder development", *Proceedings of International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Taormina, Sicily, Italy, pp. 746-750, 2006.
- [5] I. Stojković, G. Miljković, D. Denić, D. Živanović, "Application of pseudorandom position encoder for crane positioning", *Proceedings of the International Scientific Conference UNITECH 2017*, Gabrovo, Bugarska, vol. 3, pp. 289-292, 2017.
- [6] 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.
- [7] F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane, "Pseudo-random sequences and arrays", *Proceeding of IEEE*, Vol. 64, No. 12, pp. 1715-1728, 1976.
- [8] J.T.M. Stevenson and J.R. Jordan, "Absolute position measurement using optical detection of code patterns", *J. Phys. E. Sci. Instrum.* 21, pp. 1140-1145, 1988.
- [9] M. Durana, P. Gallay, P. Robert, F.C. Pruvot, "Novel type submicrometre resolution pseudorandom position optical encoder", *Electronic Letters*, Vol 29, No 20, pp. 1792-1794, 1993.
- [10] H. Khalifallah, E.M. Petriu, F.C.A. Groen, "Visual position recovery for an automated guided vehicle", *IEEE Trans. Instrum. and Meas.*, Vol. 41, No. 6, pp. 906-910, 1992.
- [11] D. Denić, M. Rančić, G. Miljković, "Pseudoslučajni apsolutni pozicioni enkoder visoke rezolucije", *Zbornik radova 47. Konferencije ETRAN*, str. 452-455, 2003.
- [12] D. Denić, I. Randelović, M. Rančić, "High-resolution pseudorandom encoder with parallel code reading", *Electronics and electrical engineering Nr 7(56)*, Kaunas, Litvania, pp. 9-14, 2004.
- [13] LabVIEW, *User's Manual*, National Instruments, www.ni.com, USA, 2010.
- [14] www.ichaus.com
- [15] www.hamamatsu.com
- [16] www.sensorsinc.com

ABSTRACT

The paper proposes the application of linear array of photodetectors for parallel code reading of pseudorandom binary code in absolute pseudorandom position encoders. The proposed method of code reading would eliminate the need for the initial movement of the shaft of encoder during starting in the case of serial code reading. A simulation of the proposed solution of position encoder using the LabVIEW software package was performed. Digital simulation was realized in the form of two programs, where one program simulates a code reading system of a pseudorandom position encoder, while the other program simulates the operation of an electronic block of such an encoder. An analysis of the application of a commercially available linear array with photodetectors for code reading, realized from glass disk of an encoder with pseudorandom code track, is presented.

A code reading based on linear array of photodetectors at pseudorandom position encoders

Ivana Randelović, Dragan Denić i Goran Miljković

Snimanje UI karakteristike odvodnika prenapona

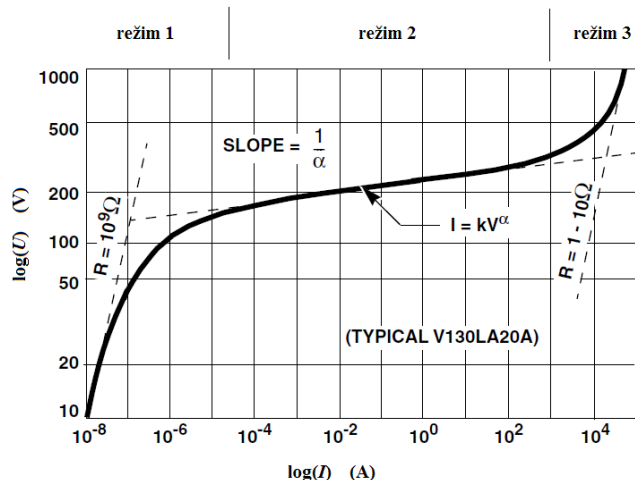
Dragan Pejić, Boris Antić, Zoran Mitrović, Nemanja Gazivoda, Marina Subotin

Apstrakt—Ovaj rad daje prikaz iskustava prilikom snimanja naponsko-strujne (UI) karakteristike odvodnika prenapona (ZnO varistor). Snimanje je obavljeno korišćenjem dvokanalnog digitalnog osciloskopa. Napon sa krajeva varistora je dovođen na jedan kanala osciloskopa, a drugi kanal je iskorišćen za određivanje struje kroz varistor merenjem napona na redno vezanom šantu. Analiza je obavljena na dva načina: a) posmatranjem efektivne vrednosti napona i struje i b) posmatranjem trenutne vrednosti napona i struje varistora. Na kraju su dobijeni rezultati i primenjene metode upoređene sa oskudnim informacijama dostupnim u literaturi.

Ključne reči—naponsko-strujna karakteristika, efektivna vrednost, odvodnik prenapona, varistor.

I. UVOD

Varistor je nelinearni dvokrajni element sa naponsko-strujnom (UI) karakteristikom pogodnom za zaštitu elektronskih kola, energetskih postrojenja i dalekovoda od prenaponskih pojava. UI karakteristika varistora [1] se može podeliti u tri zone, Sl. 1.



Sl. 1. Naponsko-strujna (UI) karakteristika varistora, sa obeleženim režimima rada

Kada je napon manji od napona prvog "kolena" reč je o režimu velike otpornosti, tako da kroz varistor protiče mala struja reda 10^{-8} A do 10^{-3} A (režim curenja). S obzirom da je

Dragan Pejić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Dositeja Obradovića 6, Novi Sad (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).

Boris Antić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Dositeja Obradovića 6, Novi Sad (e-mail: antic@uns.ac.rs).

Zoran Mitrović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Dositeja Obradovića 6, Novi Sad (e-mail: zoranmit@uns.ac.rs).

Nemanja Gazivoda, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Dositeja Obradovića 6, Novi Sad (e-mail: nemanjagazivoda@uns.ac.rs).

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

napon manji od kritične vrednosti, varistor se "trudi" da bude neprimetan; idealno bi bilo da je struja kroz varistor jednaka nuli. U ovom režimu na ponašanje varistora značajno utiče ekvivalentna kapacitivnost, zbog koje, u prosto-periodičnom kolu, dolazi da faznog pomeranja između napona i struje za približno 90° .

U drugom režimu rada varistor ima mnogo manju dinamičku otpornost (idealno bi bilo da je dinamička otpornost jednaka nuli), tako da porastu napona odgovara višestruko povećanje struje. U ovom režimu rada, varistor ograničava prenapon konzumiranjem vrlo velikih struja, reda kA (normalan režim rada varistora). Ako je reč o elektrostatičkim pražnjenjima, usled konzumiranja vrlo velike struje se očekuje da električna energija u kratkom vremenskom intervalu bude potrošena, te da se varistor vrati u prvi režim rada.

Na kraju normalnog režima rada se nalazi drugo "koleno" karakteristike varistora. Za napone veće od napona drugog kolena, nastaje treći deo UI karakteristike (režim preokreta). U trećem režimu rada varistor povećava svoju otpornost, tako da sa daljim porastom napona struja sporije raste. Ukoliko ne bi bilo ovog režima, postojala bi opasnost da se, usled razvijanja velike disipacije, ošteti varistor ili štice objekta.

Na Sl. 1 je horizontalna osa prikazana u logaritamskoj raspodeli, kako bi se dobio pregledan grafik za veliki opseg struje od 10^{-8} A do 10^5 A.

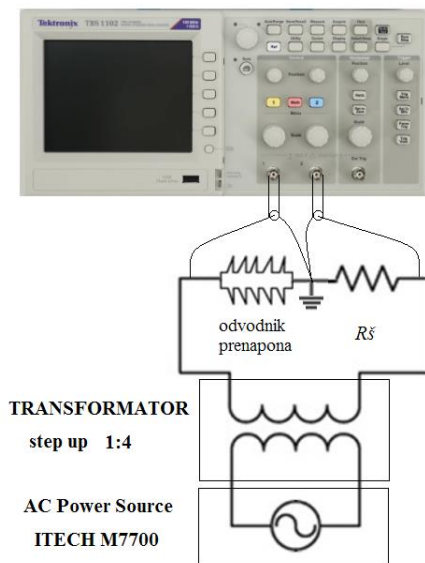
II. LABORATORIJSKI EKSPERIMENT

Na Sl. 2 je prikazana šema koja je korišćena za snimanje UI karakteristike varistora B72232D 271K161 [2]. Ovaj varistor je namenjen za zaštitu od prenapona niskonaponske mreže 230 V. Napon od 275 V je napon "kolena" koji razgraničava režim curenja i normalan režim rada varistora.

Naponski izvor maksimalne snage 300 W i maksimalnog napona 300 V proizvođača ITECH [3] napaja transformator prenosnog odnosa 1:4. Transformator napaja rednu vezu ispitivanog varistora i rednog otpornika - šanta R_s . Dvokanalni digitalni osciloskop [4] je sondama odgovarajućeg faktora slabljenja povezan tako da se na jedan kanal dovodi napon sa varistora, a na drugi kanal napon sa šanta. Poznavanjem otpornosti šanta i primenom Omovog zakona određuje se struja kroz rednu vezu šanta i varistora.

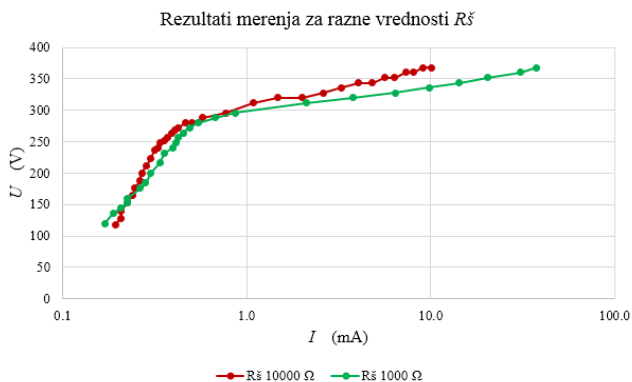
Osciloskop je korišćen na dva načina. U prvoj situaciji je podešeno da osciloskop određuje efektivnu vrednost jednog i drugog napona. Za razne vrednosti prostoperiodičnog napona je beležena efektivna vrednost napona varistora, a primenom Omovog zakona je određivana efektivna vrednost struje na osnovu efektivne vrednosti napona i poznavanja otpornosti šanta. Budući da se snimanje UI karakteristike vrši u naizmeničnom režimu, autorima se učinilo logičnim

da se vrši beleženje efektivne vrednosti napona na varistoru, kao i efektivna vrednost napona na šantu na osnovu koje je računata efektivna vrednost struje kroz varistor. „Step-up“ transformator je korišćen zbog nedovoljnih naponskih mogućnosti izvora napona ITECH M7700.



Sl. 2. Šema korišćena za snimanje UI karakteristike varistora primenom dvokanalnog osciloskopa

Eksperiment je ponavljan za dve vrednosti šanta: $1 \text{ k}\Omega$ i $10 \text{ k}\Omega$. Ideja je bila da se vrednosti šanta prilagode redu veličine struje koja se želi meriti, kako bi se dobijao napon na šantu merljiv primenom osciloskopa. Na Sl. 3 su prikazani rezultati merenja dobijeni za pomenute vrednosti šanta.

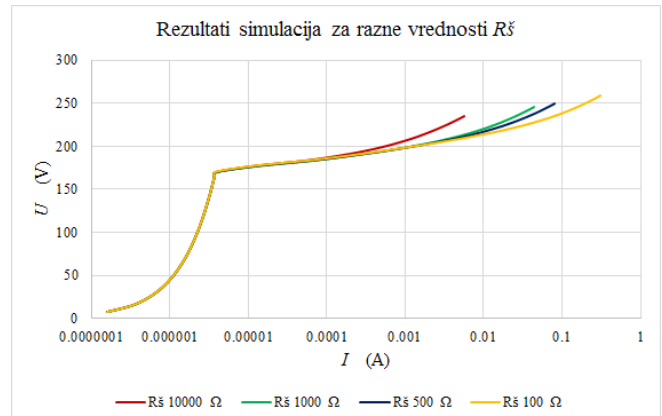


Sl. 3. Rezultati merenja na osnovu efektivne vrednosti napona i struje varistora

Dobijeni rezultati, na prvi pogled deluju zbujujuće, jer se čini da se UI karakteristika varistora menja u zavisnosti od vrednosti redno vezanog šanta. Napominjemo da je na merenje primenjena procedura koja je interpretirana na osnovu preporuka međunarodnih standarda za ispitivanje UI karakteristike odvodnika, te da su sve greške proizišle iz dvosmislenosti ili nedorečenosti koje postoje u ovim standardima.

Da bi se eliminisao uticaj grešaka merenja, urađene su simulacije u paketu LT Spice [5]. Na Sl. 4 su prikazani rezultati dobijeni simulacijama, uz verno oponašanje opisanog načina merenja. U nedostatku modela ispitivanog varistora, korišćen je model varistora manjeg napona kolena,

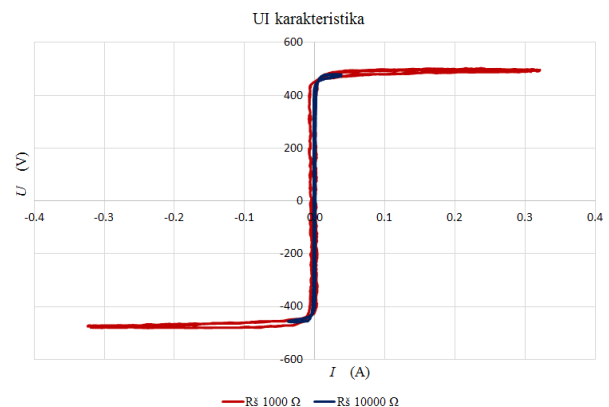
što ne umanjuje ispravnost zaključaka koji se iz rezultata simulacija mogu izvesti.



Sl. 4. Rezultati simulacija u paketu LT Spice na osnovu efektivne vrednosti napona i struje varistora

Na osnovu rezultata simulacija može se zaključiti da i simulacije potvrđuju da ovako dobijena UI karakteristika varistora zavisi od vrednosti redno vezanog šanta. Rezultati simulacija daju UI karakteristiku pravilnijeg oblika u poređenju sa UI karakteristikom dobijenom na osnovu merenja. Objašnjenje leži u uticaju grešaka koje postoje u procesu merenja, a ne postoje u procesu simuliranja. Greške se mogu pripisati ugrađenim AD konvertorima u digitalni osciloskop, kao i načinu računanja efektivne vrednosti na osnovu odbiraka napona.

Snimanje UI karakteristike je obavljeno i na drugi način. Kratko, u trajanju od nekoliko sekundi, je na rednu vezu varistora i šanta doveden prostoperiodični napon maksimalne efektivne vrednosti. Pod ovim se misli na maksimalnu vrednost koju je ukupna aparatura prikazana na Sl. 2 bila u stanju da da, kako po pitanju napona, tako i po pitanju struje. Osciloskop je konfigurisan da radi u režimu „one shot“. Na ovaj način su autori pokušavali da postignu najveće moguće napone i struje varistora, a da izbegnu pregrevanje i eventualno oštećivanje varistora. Ovog puta je pristup merenju bio drugačiji. Osciloskop nije korišćen kao merilo efektivne vrednosti dva napona. U memoriju osciloskopa su snimljeni odbirci napona varistora i šanta. Na osnovu odbiraka napona šanta su, primenom Omovog zakona, određene trenutne vrednosti struje kroz rednu vezu varistora i šanta.



Sl. 5. UI karakteristika varistora dobijena na osnovu odbiraka napona i struje

Na Sl. 5 je prikazana UI karakteristika varistora dobijena

ovim postupkom. Budući da vrednosti odbiraka mogu biti i pozitivne i negativne (za razliku od efektivne vrednosti koja ne može biti negativna), grafik na Sl. 5 je prikazan u sva četiri kvadranta. Zbog činjenice da su u eksperimentu postignute male vrednosti struje, dovoljne tek da se pređe prvo koleno karakteristike, nije bilo potrebe za logaritamskom horizontalnom osom, već je korišćena linearna osa za struju. Primetno je da UI karakteristika prikazana na Sl. 5 ne zavisi od vrednosti korišćenog šanta.

U svim prethodnim situacijama, isključivo zbog ograničenja i mogućnosti raspoložive opreme, izvršeno je snimanje u prva dva režima: u režimu curenja i normalnom režimu rada. Nije vršeno snimanje u režimu preokreta, zbog nemogućnosti raspoložive opreme da obezbedi dovoljno veliku struju za ispitivanje varistora, a i zbog činjenice da se u ovom režimu rada ispitivani varistor nađe samo u ekstremnim situacijama, nakon kojih najčešće biva nepovratno oštećen i isključen iz zaštitnog kola.

III. DISKUSIJA

Omov zakon u kolu vremenskih promenljivih napona i struja, a za otpornost R dat je (1).

$$u(t) = R \cdot i(t) \quad (1)$$

Sada možemo odrediti srednju kvadratnu vrednost leve i desne strane jednakosti.

$$\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T R^2 \cdot i^2(t) dt \quad (2)$$

Kada je otpornost konstantna i nezavisna od vremena i struje koja kroz nju protiče (a time i od napona na njenim krajevima), a imajući u vidu definiciju efektivne vrednosti, kvadrat otpornosti možemo izvući ispred integrala, onda dobijamo (3). Jednačina (3) pokazuje da se vrednost otpornosti može dobiti deljenjem efektivne vrednosti napona na krajevima otpornika i efektivne vrednosti struje koja protiče kroz otpornik.

$$U_{ef}^2 = R^2 \cdot I_{ef}^2 \Rightarrow R = U_{ef} / I_{ef} \quad (3)$$

U slučaju varistora, kao nelinearnog otpornog elementa, situacija je komplikovanija. Ovoga puta otpornost nije konstantna, nego zavisi od napona i struje. U tom slučaju (2) poprima drugačiji oblik.

$$\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T R^2(t) \cdot i^2(t) dt \quad (4)$$

Važno je primetiti da sada nije moguće iz integrala sa desne strane (4) izvući kvadrat otpornosti R , jer zavisi od struje i , a struja zavisi od vremena t . Iz ovoga sledi da nije moguće dobiti izraz koji odgovara (3) u slučaju linearnog otpornika. To znači da određivanje otpornosti na osnovu količnika efektivne vrednosti napona i efektivne vrednosti struje daje ispravan rezultat samo ako je posmatrana otpornost linearna. S druge strane, ovaj postupak bi bio pogrešan ako bismo ga primenjivali u slučaju nelinearne

otpornosti. To je ujedno i osnovni uzrok greške u interpretaciji rezultata, usled načina na koji se UI karakteristike i preporučene šeme merenja prikazuju u standardima ili katalozima proizvođača varistora, jer je svuda indikovano merenje prostoperiodičnom pobudom uz napomenu da su sve vrednosti efektivne.

U prvom načinu snimanja UI karakteristike varistora (rezultati merenja prikazani na Sl. 3, a rezultati simulacija na Sl. 4) otpornost je određivana na osnovu efektivne vrednosti napona i efektivne vrednosti struje. U slučaju određivanja efektivne vrednosti struje na osnovu efektivne vrednosti napona na šantu, struja je određena korektno, jer je otpornost šanta konstantna i linearna. Propust je učinjen kod primene istog načina razmišljanja na varistor, jer je varistor vrlo nelinearan dvokrajni element. UI karakteristika snimljena na ovaj način zavisi od vrednosti šanta u normalnom režimu rada, gde je i nelinearnost izraženija, dok se u režimu curenja (u uslovima približne linearnosti) uticaj vrednosti šanta i ne primećuje, pogotovo u rezultatima dobijenim simulacijama. Ovo je objašnjenje naizgled paradoksalne pojave prikazane na Sl. 3 i 4, po kojima ispada da UI karakteristika zavisi od vrednosti korišćenog šanta.

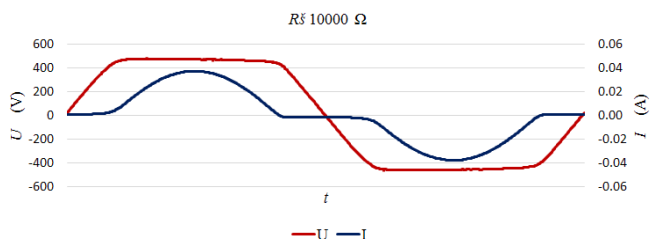
U drugom načinu snimanja UI karakteristike ne dolazi do ovakvog propusta jer je rađeno sa trenutnim vrednostima napona i struje.

Zbog čega je moguće da u interpretaciji preporuke za ispitivanje UI karakteristike varistora dođe do ovakve zabune?

U slučaju primene varistora kao odvodnika prenapona u niskonaponskoj mreži, napon na krajevima varistora je naizmjenični, približno prostoperiodičnog talasnog oblika. Proizvođači daju naponsko-strujnu karakteristiku varistora u prvom kvadrantu, dakle za pozitivne vrednosti napona i struja. Ovo može biti obrazloženo na nekoliko načina: a) zbog simetrije karakteristike dovoljno je prikazivati ponašanje u prvom kvadrantu (za pozitivne vrednosti napona i struje), odnosno nema potrebe da se prikazuje i situacija kada napon i struja imaju negativne vrednosti, b) naponsko-strujna karakteristika je snimljena na osnovu merenja efektivne vrednosti napona i efektivne vrednosti struje, a poznato je da su efektivne vrednosti nenegativne.

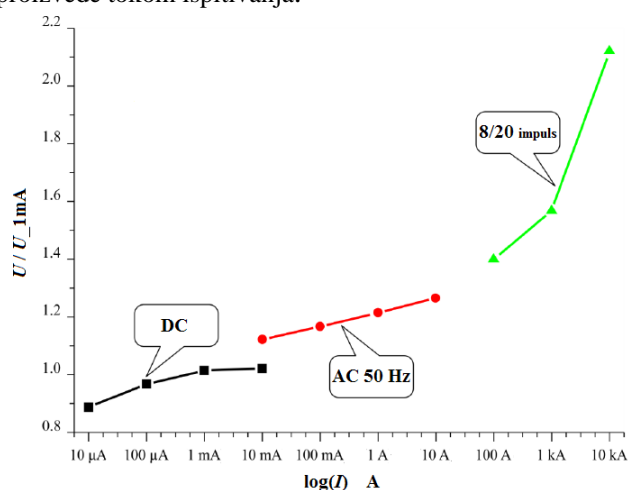
Na osama UI karakteristike su date efektivne vrednosti napona i struje, jer su odvodnici napona namenjeni za korišćenje u naizmjeničnom režimu, gde se uglavnom operiše efektivnim vrednostima napona i struja mnogo češće nego trenutnim vrednostima.

Na Sl. 5 je prikazana UI karakteristika varistora snimljena na osnovu trenutnih vrednosti napona i struja. Zato se UI karakteristika proteže u prvom i trećem kvadrantu UI ravni. Zbog toga što su na osama prikazane trenutne vrednosti napona i struje, dobijeni grafik se po obliku slaže, ali se po vrednostima ne slaže sa specifikacijom proizvođača. Proizvođač je napone i struje na osama naveo u formi efektivnih vrednosti. Tek kada se vrednosti napona i struje na osama na Sl. 5 deljenjem faktorom $\sqrt{2}$ ponderišu, dobija se slaganje snimljene UI karakteristike varistora sa specifikacijom proizvođača. Pomenuti faktor $\sqrt{2}$ predstavlja odnos amplitude i efektivne vrednosti za prostoperiodičan talasni oblik, a sa Sl. 6 se jasno vidi da ni struja ni napon nemaju podrazumevani prostoperiodični oblik.



Sl. 6. Oblik napona i struje varistora pri korišćenju šanta od 10000 Ω

Daljim proučavanjem slabo dostupne i nejasne dokumentacije, autori su došli do saznanja da su i drugi imali slične probleme prilikom određivanja UI karakteristike varistora. Kao primer ovde ćemo navesti UI karakteristiku sa Sl. 7 preuzetog iz [6], na kojoj su naznačene tri zone. U svakoj od zona je otpornost određena drugačijim postupkom. Razlog za ovo jeste izuzetno veliki opseg struja za koje je potrebno ispitati varistor, što za posledicu ima veliku snagu, odnosno energiju koju bi izvor trebalo da proizvede tokom ispitivanja.



Sl. 7. UI karakteristika snimljena na tri načina, u DC, AC i impulsnom režimu

Na Sl. 7 se vidi da postoje diskontinuiteti u snimljenoj UI karakteristici. Za najmanje vrednosti struja, koje se javljaju u režimu curenja, predlaže se ispitivanje varistora u jednosmernom (DC) režimu. Varistor je tada moguće modelovati paralelnom vezom vrlo velike otpornosti (približno linearne u režimu curenja) i malom kapacitivnošću. Merenjem u DC režimu se uticaj kapacitivnosti svesno zanemaruje. U normalnom režimu rada varistora se predlaže snimanje UI karakteristike primenom napona mrežne učestanosti (AC režim). U trećem režimu, režimu preokreta, se predlaže korišćenje impulsa definisanog oblika [6], čija uzlazna ivica traje 8 μ s, a silazna 20 μ s.

IV. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana dva načina snimanja UI karakteristike ZnO varistora namenjenog za zaštitu niskonaponske mreže od prenapona. Na grafiku koji daju proizvođači su date efektivne vrednosti napona i struja. Problem nastaje kada se UI karakteristika varistora pokušava snimiti merenjem efektivne vrednosti napona i struje, jer se u tom slučaju dobija da UI karakteristika zavisi od vrednosti redno vezanog šanta korišćenog za merenje struje.

U radu je pokazano da se ispravan način snimanja UI karakteristike sprovodi beleženjem trenutnih vrednosti napona i struje. S obzirom da je u naizmeničnom režimu rada uobičajeno iskazivanje efektivnih vrednosti mnogo češće nego trenutnih vrednosti, konačan izgled UI karakteristike se dobija pravilnim ponderisanjem trenutnih vrednosti napona i struja radi dobijanja efektivnih vrednosti. Problem nastaje kada se pretpostavlja ponder vrednosti $\sqrt{2}$ (odnos amplitude i efektivne vrednosti u slučaju prostoperiodičnog talasnog oblika), a da pri tome ni struja ni napon nemaju podrazumevani prostoperiodični oblik.

Autori predlažu snimanje, ali i prikazivanje UI karakteristike varistora na osnovu trenutnih vrednosti napona i struja i bez dodatnog ponderisanja, čime će se dobijati verodostojniji rezultati, koji će biti ponovljivi, neće zavisiti od uslova merenja i moći će se nedvosmisleno interpretirati.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je finansirano od strane projekta Fonda za inovacionu delatnost Republike Srbije, pod nazivom "New generation of silicone and zinc oxide surge arrester and insulators for low and medium voltage levels", broj projekta IF ID: 50205.

LITERATURA

- [1] Morris, W., "Physical Properties of the Electrical Barriers in Varistors," J. Vac. Sci. Technol., 13,1976, pp. 926-931.
- [2] Metal Oxide Varistor, Round Disk Metallised, <https://www.tdk-electronics.tdk.com/>
- [3] IT-M7700 High Performance Programmable AC Power Supply, <https://www.itechate.com/en/product/ac-power-supply/IT-M7700.html>
- [4] Tektronix TBS1102 Digital Storage Oscilloscope, <https://www.tequipment.net/TektronixTBS1102.html>
- [5] LT Spice, <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html#>
- [6] Surge protective component application guide - metal oxide varistor (MOV) component

ABSTRACT

This paper shows the experience of recording of a voltage-current (UI) characteristic of a surge arrester (ZnO varistor). A two channel digital oscilloscope was used for the recording. The voltage from the terminals of the varistor was fed into one of the channels of the oscilloscope, while the other channel was used to determine the value of current through the varistor by measuring voltage on a series shunt. The analysis included: a) observing the RMS values of current and voltage; and b) observing the instantaneous values of the varistor's voltage and current. This was followed by obtaining the results and comparing the methods applied with the scarce information that the literature offers.

The Recording of an UI Characteristic of a Surge Arrester

Dragan Pejić, Boris Antić, Zoran Mitrović, Nemanja Gazivoda, Marina Subotin

Sortiranje predmeta prema boji akvizicijom videa primenom virtuelne instrumentacije

Branko Stojković, Branko Koprivica, Alenka Milovanović i Tatijana Dlabač

Apstrakt—Cilj ovog rada je prikaz laboratorijske postavke za sortiranje predmeta prema boji, akvizicijom videa u programskom paketu LabVIEW. U radu su date osnovne informacije o programskim dodacima koji su potrebni za rad sa videom i slikom u programu LabVIEW i njihove mogućnosti primene, a ukratko je opisan i HSL sistem konverzije slike. Princip rada postavke za sortiranje predmeta prema boji, programska kalibracija USB kamere i postupak izvođenja laboratorijske vežbe su takođe opisani u radu. Na kraju rada su prikazani rezultati merenja mase sortiranih predmeta i data je odgovarajuća diskusija.

Ključne reči—Virtuelna instrumentacija; Akvizicija videa i slike; USB kamera; LabVIEW; Sortiranje.

I. UVOD

Kako bi se odgovorilo trenutnim zahtevima koji su postavljeni u toku razvoja industrije i tehnologije potrebno je osmisлити nove ili unaprediti postojeće metode i tehnike za automatizaciju procesa proizvodnje i poboljšanje proizvoda. U proizvodnji sveže hrane je često potrebno izdvojiti neispravan proizvod od ispravnog na osnovu razlike u boji [1]. Tako, sistem za sortiranje hrane sadrži i optički podsistem koji sadrži kamere za detektovanje neispravnog proizvoda. U mnogim drugim oblastima industrije se koristi robotska ruka kao sastavni deo automatizovanog sistema, a poboljšanje njenog rada može se postići dodavanjem optičkog sistema pomoću kojeg je moguće prepoznati boju ili oblik nekog proizvoda [2]. Ovakvi primeri upućuju na to da i obrazovni sistem u tehničkim disciplinama treba da se razvija u sličnom smeru, kroz realizaciju novih laboratorijskih postavki posvećenih novim metodama i tehnikama za industrijske procese. Zahvaljujući ubrzanom razvoju digitalne elektronike i mikrokontrolerskih platformi, to se može uraditi korišćenjem gotovih elektronskih komponenti i senzora [3]. U ovom radu je opisana jedna laboratorijska postavka za sortiranje predmeta prema boji bazirana na akviziciji slike pomoću USB kamere i personalnog računara.

Rad je baziran na akviziciji i obradi slike primenom programskog paketa LabVIEW [4, 5]. Realizovan je sistem

Branko Stojković – Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, (e-mail: stojkovicbranko@mts.rs) – student master studija.

Branko Koprivica – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, (e-mail: branko.koprivica@ftn.kg.ac.rs).

Alenka Milovanović – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, (e-mail: alenka.milovanovic@ftn.kg.ac.rs).

Tatijana Dlabač – Univerzitet Crne Gore, Pomorski fakultet, Dobrota 36, 85331 Kotor, Crna Gora, (e-mail: tanjav@ucg.ac.me).

koji vrši detekciju boje određenog predmeta pomoću kamere, i na osnovu detektovane boje vrši sortiranje i merenje mase sortiranih predmeta.

Na početku rada su date su osnovne informacije o upravljačkom programu NI Vision Acquisition Software, namenjenog za akviziciju slike sa određenih uređaja, i dodatnog programa NI Vision Development Module, namenjenog za obradu slike u programu LabVIEW. Takođe je objašnjen princip rada funkcije IMAQ ColorLearn koja je korišćena za određivanje boje predmeta.

Zatim je dat prikaz realizovane laboratorijske postavke kojom se vrši sortiranje predmeta prema detektovanoj boji. Objasnjeno je postupak programske kalibracije USB kamere, prikazani su snimci ekrana računara u toku izvršavanja LabVIEW aplikacije u toku kalibracije i merenja, kao i prikaz rezultata merenja. Takođe, data je i odgovarajuća diskusija namene opisanog sistema i njegovog značaj u nastavi.

II. LABVIEW PROGRAMI ZA AKVIZICIJU VIDEA I SLIKE

Za akviziciju videa i slike u programu LabVIEW potrebno je instalirati upravljački program NI Vision Acquisition Software. Nakon instalacije programa u paleti funkcija se formira paleta Vision and Motion unutar koje se nalaze podpaleta NI-IMAQ i NI-IMAQdx, sa funkcijama koje se koriste za akviziciju videa i slike sa uređaja priključenih na računar.

Podpaleta NI-IMAQ se koristi za rad sa sledećim uređajima:

- National Instruments Camera Link Frame Grabbers,
- National Instruments Parallel Digital Frame Grabbers,
- National Instruments Analog Frame Grabbers i
- National Instruments 17xx Smart Cameras.

Podpaleta NI-IMAQdx se koristi za rad sa sledećim uređajima:

- Gigabit Ethernet Cameras Supporting GigE Vision,
- FireWire IEEE 1394 Cameras,
- USB 2.0 Cameras Supporting Microsoft DirectShow i
- USB 3.0 Cameras Supporting USB3 Vision.

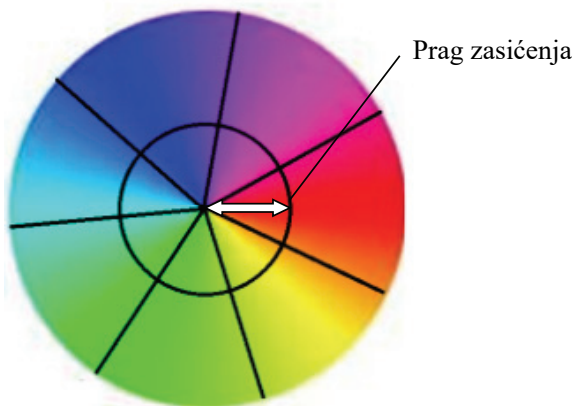
Za akviziciju i obradu videa i slike potrebno je instalirati i dodatni modul NI Vision Development Module. Nakon instalacije modula, u paleti funkcija Vision and Motion se formiraju sledeće podpalete:

- Vision Utilities – koja sadrži podpaleta funkcija pomoću kojih se vrši kreiranje memorijskog prostora za sliku, podešavanje ili očitavanje atributa slike, kopiranje slike, definisanje oblasti slike koja se analizira i druge,
- Image Processing – koja sadrži podpaleta funkcija

pomoću kojih se vrši obrada, filtriranje i analiza slike i
 – Machine Vision – koja sadrži podpalette funkcija pomoću kojih se vrši merenje rastojanje između detektovanih ivica, detekcija ivica (vertikalne, horizontalne ili kružne), merenje intenziteta piksela, detekcija objekta i druge.

III. ANALIZA BOJE SLIKE U LABVIEW PROGRAMU

Akvizicija videa i slike se najčešće vrši u RGB formatu, ali je za analizu slike pogodniji HSL format [6]. Funkcija IMAQ ColorLearn prvo vrši konverziju slike iz formata RGB u format HSL, a zatim generiše spektar boje (izlaz Color Spectrum) u vidu jednodimenzionalnog niza HSL modela boje od $n+2$ broja elementa. Poslednja dva elementa niza daju informaciju o beloj i crnoj boji. Broj elemenata u nizu zavisi od izbora nivoa osetljivosti (ulaz Color Sensitivity). Postoji mogućnost izbora tri nivoa osetljivosti nizak (Low), srednji (Medium) i visoki (High). Za nizak nivo osetljivosti, spektar boja HSL modela je podeljen na 7 jednakih sektora, kao što je prikazano na Sl. 1. Za srednji nivo osetljivosti HSL model je podeljen na 14 jednakih sektora, a za visoki nivo osetljivosti na 28 jednakih sektora [6].

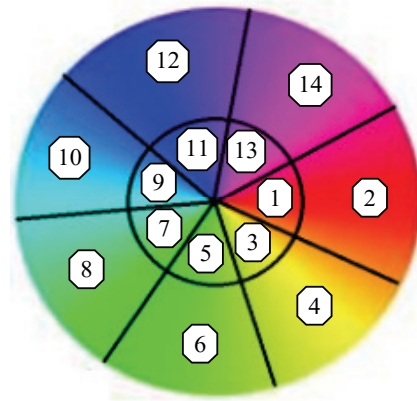


Sl. 1. Ilustracija HSL kruga boja podeljenog na sedam sektora, sa označenim pragom zasićenja.

Ulazom Learn Saturation Threshold funkcije IMAQ ColorLearn se definiše prag zasićenosti neke boje, odnosno granica između svetlije i tamnije nijanse te boje. Vrednost ovog parametra se može podesiti u granicama od 0 do 255 (100 %), gde vrednost 0 odgovara najmanje čistoj nijansi (rezultat je crna boja), a vrednost 255 najčistijoj nijansi (rezultat je detektovana boja). Na ovaj način se svaki sektor može podeliti na dva dela, kao što je to prikazano na Sl. 1. Podrazumevana vrednost je 80 i ona je korišćena za detektovanje boje u ovom radu.

Parametar prag zasićenja deli jedan sektor na dva dela. Tako, broj elemenata izlaznog niza koji opisuje spektar boja iznosi 14 za nizak nivo osetljivosti, kao što je prikazano na Sl. 2, odnosno 28 elemenata za srednji nivo osetljivosti i 56 za visok nivo osetljivosti. Vrednost svakog elementa niza se kreće u granicama od 0 do 1 i predstavlja procenat piksela slike koji se nalazi u nekom od sektora HSL modela boje.

Navedena funkcija ne daje podatak o osvetljenosti analizirane slike.



Sl. 2. Raspored spektra boja u izlaznom nizu za nizak nivo osetljivosti.

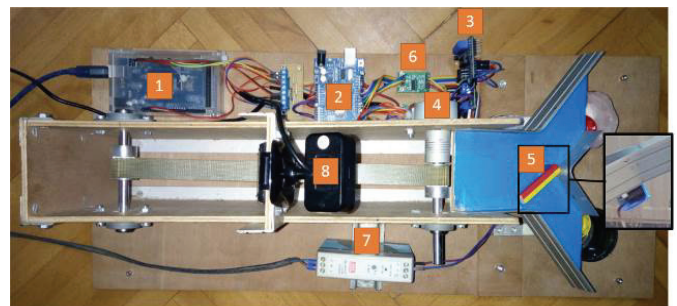
IV. KONSTRUKCIJA LABORATORIJSKE POSTAVKE ZA SORTIRANJE PREDMETA PREMA BOJI

Realizovana postavka za sortiranje predmeta prema boji i merenje mase sortiranih predmeta, prikazana na Sl. 3, se sastoji od:

1. Arduino MEGA 2560,
2. Arduino UNO,
3. četvorokanalnog drajvera za motore – Arduino L293D,
4. koračnog motora MOTS2 sa pokretnom trakom,
5. servo motora SG90 sa rampom,
6. dve merne ćelije za 1 kg sa pojačavačem HX711,
7. izvora jednosmernog napona MDR-20-12 i
8. USB kamere CNE-CWC1.

Rad koračnog motora koji pokreće traku na koju se postavljaju predmeti kontroliše Arduino UNO kartica (sa upisanim programskim kodom). Rad servo motora koji pomera rampu kontroliše Arduino MEGA kartica i pomoću nje se vrši merenje mase predmeta, pri čemu se podaci o masi predmeta preko serijskog interfejsa prosleđuju ka računaru i LabVIEW aplikaciji, a od računara ka Arduino kartici se prosleđuje podatak o boji predmeta, na osnovu kojeg se zadaje položaj rampe. Rad USB kamere kontroliše samo računar.

Pokretna traka se okreće stalnom brzinom, predmeti se na traku postavljaju ručno, a kamera vrši kontinualno snimanje. Nakon detektovanja boje predmeta, podešava se položaj rampe i vrši sortiranje predmeta koji pada u odgovarajuću posudu. Predviđeno je da se na traci mogu naći predmeti u dve boje, pa se oni i razvrstavaju u dve grupe, smeštanjem u dve posude. Ispod posuda se nalazi merna ćelija pomoću koje se kontinualno vrši merenje mase predmeta.



Sl. 3. Laboratorijska postavka za sortiranje predmeta prema boji i merenje njihove mase - pogled odozgo.

V. OPIS LABVIEW APLIKACIJE I POSTUPKA IZVOĐENJA LABORATORIJSKE VEŽBE

Za potrebe izvođenja laboratorijske vežbe „Sortiranje predmeta prema boji“ je napravljena LabVIEW aplikacija. Ona je podeljena na tri dela po karticama, i to:

1. Kalibracija detektora boje,
2. Sortiranje predmeta prema boji i
3. Rezultati.

Na početku je potrebno izvršiti kalibraciju detektora boje postavljanjem predmeta poznate boje. Pri tome je najbolje koristiti predmete sa bojom koja je najpribližnija osnovnim bojama. U skladu sa tom preporukom, kalibracija i merenje se može sprovesti na niskom nivou osetljivosti. Predviđeno je da se vrši razvrstavanje dve grupe jednobojnih predmeta, pa je u postupku kalibracije potrebno izvršiti kalibraciju dve boje. Prvo se na traku koja miruje postavi predmet u prvoj boji i podese se oblast od interesa koja će se koristiti za određivanje boje (zeleni pravougaonik na Sl. 4). Na osnovu vrednosti koje se pokazuju u izlaznom nizu spektra boja se definiše prva boja. Za plastični čep crvene boje je očitana vrednost 0,907 za drugi član niza, dok su svi ostali bili jednaki ili bliske nuli. Shodno tome, prva boja je podešena na vrednost 2, Sl. 4a. Postupak se ponavlja sa predmetom u drugoj boji i nakon očitavanja vrednosti u izlaznom nizu se podešava vrednost druge boje. Za žuti plastični čep je očitana vrednost 0,878 u četvrtom članu niza dok su sve ostale vrednosti bile jednake ili bliske nuli, Sl. 4b. Druga boja je podešena na vrednost 2.

Ovime se kalibracija detektora boje završava, nakon čega se prelazi na sledeću karticu Sortiranje predmeta prema boji.

Dobijeni rezultati odgovaraju rasporedu spektra boja prikazanom na Sl. 2.

Kartica Sortiranje predmeta prema boji se sastoji od indikatora slike, indikatora boje, numeričkih indikatora za prikaz broja detektovanih predmeta određene boje, grafičkih indikatora za signalizaciju detekcije predmeta određene boje i numeričkih indikatora za ukupnu masu sortiranih predmeta, kao što je prikazano na Sl. 5. Pored indikatora, postavljena je i kontrola za izbor serijskog porta za ostvarivanje komunikacije između računara i Arduino kartica, kao i kontrole za početak očitavanja i snimanje očitanih podataka.

Aplikacija vrši kontinuirano snimanje predmeta koji se kreću po traci i na osnovu podešenih vrednosti boja iz prethodnog koraka vrši se određivanje boje predmeta. Nakon detektovanja boje se menja broj detektovanih predmeta, šalje se komanda motoru sa rampom, u slučaju da je nova boja različita od prethodne, a ujedno se meri i ukupna masa predmeta koji su smešteni u posudama. Omogućeno je ručno snimanje rezultata merenja prema potrebama korisnika.

Na Sl. 5 je prikazan izgled ekrana računara u toku izvršavanja ovog dela laboratorijske vežbe u toku kojeg se vrši sortiranje predmeta i merenje njihove mase. Može se uočiti da su uspešno detektovana dva predmeta crvene i tri predmeta žute boje. Izmerene ukupne mase predmeta nakon razvrstavanja su: 2,26 g za crvene čepove i 5,23 g za žute čepove.



a)



b)

Sl. 4. Izgled LabVIEW aplikacije - kartica Kalibracija detektora boja.



Sl. 5. Izgled LabVIEW aplikacije - kartica Sortiranje predmeta prema boji.

Nakon završenog razvrstavanja predmeta se na kartici Rezultati može izvršiti uvid u zabeležene rezultate.

Na Sl. 6 je dat prikaz ove kartice sa zabeleženim rezultatima. U tabeli su dati podaci o datumu i vremenu, detektovanoj boji, sektoru HSL modela za detektovane boje, ukupan broj detektovanih predmeta i njihova ukupna masa.

Datum	Vreme	Boja	Sektor HSL modela	Ukupan broj sortiranih predmeta	Ukupna težina sortiranih predmeta [g]
01-Nov-20	10:23:05 PM	tamno crvena	2	1	3,18
01-Nov-20	10:23:39 PM	tamno žuta	4	3	5,13
01-Nov-20	10:24:25 PM	tamno crvena	2	2	8,75

Sl. 6. Izgled LabVIEW aplikacije - kartica Rezultati.

Nakon uvida u rezultate je moguće izvršiti štampanje izveštaja u PDF formatu. Izveštaj sadrži podatke o kompletnoj proceduri, uključujući kalibraciju boja, detektovanje boja i same rezultate, uključujući i slike predmeta.

VI. ZAKLJUČAK

Ovaj rad prikazuje realizaciju laboratorijske postavke za sortiranje predmeta prema boji. Sortiranje je zasnovano na akviziciji videa sa USB kamere priključene na računar i obradi slike u programu LabVIEW.

Na osnovu snimljene slike se vrši određivanje spektra boja HSL modela, a na osnovu tog spektra se vrši kalibracija detektora boje i određivanje boje snimljenog predmeta. Prema detektovanoj boji se vrši sortiranje predmeta u dve grupe i vrši se merenje ukupne mase tako sortiranih predmeta.

Rad upotrebljenih komponenti (motora, mernih ćelija i kamere) kontroliše se pomoću Arduino kartica sa programskim kodom i računara sa LabVIEW aplikacijom. Između računara i Arduino kartica je ostvarena serijska komunikacija za razmenu podataka za kontrolu i rezultata merenja mase sortiranih predmeta.

U radu je opisana LabVIEW korisnička aplikacija za upravljanje radom realizovanog sistema i očitavanja rezultata merenja sa senzora. Ona se sastoji iz tri dela: prvi za kalibraciju detektora boje, drugi za razvrstavanje predmeta po boji i merenje njihove mase i treći za prikaz sačuvanih rezultata. Krajnji korak u izvođenju laboratorijske vežbe je kreiranje izveštaja koji sadrži sve relevantne podatke, uključujući i slike detektovanih predmeta.

Takođe, u radu je opisan i konkretan primer razvrstavanja plastičnih čepova crvene i žute boje, dati su rezultati dobijeni u toku kalibracije i u toku merenja i njihova diskusija.

Ovaj rad je nastao u sklopu studentskog istraživanja u okviru predmeta Virtuelna instrumentacija i Električna merenja neelektričnih veličina na master studijama Elektrotehničkog i računarskog inženjerstva na Fakultetu tehničkih nauka u Čačku. To istraživanje je sastavni deo obimnijeg istraživanja koje zajedno sprovode FTN Čačak i Pomorski fakultet Kotor sa ciljem unapređenja praktične nastave. Opisana laboratorijska postavka će biti korišćena u realizaciji praktičnog dela nastave sa budućim generacijama studenata. Na taj način će se studenti upoznati sa osnovnim pojmovima i metodama za akviziciju i obradu videa i slike. Takođe, biće u mogućnosti da istu unaprede kroz hardverska i programska poboljšanja, kao i da na sličnom principu osmisle nove postavke. Poboljšanja ili nova rešenja mogu biti posvećena drugim aspektima obrade slike, određivanja

kontura i dimenzija predmeta, poređenju slika po obliku i dimenzijama, prebrojavanju objekata na slici i drugo. Takođe, mogu se realizovati i sistemi sa većom brzinom rada i boljim kvalitetom slike, prema uzoru na neka industrijska rešenja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je rezultat bilateralnog projekta koji finansiraju Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije i Ministarstvo prosvjete, nauke, sporta i kulture (prethodno Ministarstvo nauke) Crne Gore.

LITERATURA

- [1] J.M. Low, W.S. Maughan, S.C. Bee, M.J. Honeywood, "Sorting by colour in the food industry," in *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*, ch. 5, pp. 117–136, Cambridge, England/UK: Woodhead Publishing, 2001.
- [2] E. Apriaskar, Fahmizal, M. R. Fauzi, "Robotic technology towards industry 4.0: Automatic object sorting robot arm using kinect sensor," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1444, p. 012030, Feb., 2020.
- [3] M. A. Alaya, Z. Tóth, A. Géczy, "Applied Color Sensor Based Solution for Sorting in Food Industry Processing," *Period. Polytech. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 63, no. 1, pp. 16-22, Feb., 2019.
- [4] A. Milovanović, M. Bjekić, B. Koprivica, *Virtuelna instrumentacija*, Čačak, Srbija: UKG-TF Čačak, 2010.
- [5] M. Janković, M. Barjaktarović, M. Novičić, P. Atanasijević, *Praktikum iz merno-akvizicionih sistema*, Beograd, Srbija: UB-ETF, 2019.
- [6] National Instruments Corporation, "IMAQ Vision Concepts Manual", Austin, Texas, USA, 2003.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present a laboratory setup for sorting of objects according to colour by video acquisition in the LabVIEW software package. The paper gives basic information about the software add-ons required to work with video and images with LabVIEW software and their possibilities for application and briefly describes the HSL image conversion system. The construction of the model for sorting of objects by colour, software calibration of the USB camera and the procedure of the laboratory exercise are also described in the paper. At the end of the paper, the results of measurement of the mass of the sorted objects are presented as well as appropriate discussion.

Sorting of objects according to colour by video acquisition using virtual instrumentation

Branko Stojković, Branko Koprivica, Alenka Milovanović
and Tatijana Dlačić

Mogućnost primene Hamonovih presloživih otpornika u naizmeničnom režimu

Stefan Mirković, Dragan Pejić, Marina Subotin, Nemanja Gazivoda, Zdravko Gotovac

Apstrakt—U većini primena u praksi Hamonovi (presloživi) otpornici nalaze svoje mesto u DC režimu. Njihova prvenstvena uloga nije da budu etaloni otpornosti, već etaloni prenosnog odnosa otpornosti. U ovom radu su izneti osnovni predlozi primene Hamonovih otpornika u AC režimu. Zbog svojih dobrih metroloških karakteristika u DC režimu, u radu su postavljene hipoteze koje pokušavaju da te karakteristike iskoriste u AC režimu.

Ključne reči—merenje; odnos; etalon; standard; otpornik.

I. HAMONOVI OTPORNICI

Pod Hamonovim otpornicima se smatra grupa od n otpornika iste nazivne vrednosti koji su međusobno trajno redno povezani preko četvorožičnih spojeva. Otpornost izvoda ovih spojeva uračunata je u otpornost pojedinačnih otpornika. Kod Hamonovih otpornika, teži se da se postigne visoka tačnost pojedinačnih otpornika. Na naponske i strujne izvode otpornika dodaju se kompenzacioni otpornici koji svi zajedno čine kompenzacionu mrežu. Prespajanje u paralelnu vezu vrši se preko te specijalne kompenzacione mreže otpornika i pomoću posebnih kratkospojnika. Za n redno vezanih otpornika pri povezivanju u paralelnu vezu postiže se smanjenje otpornosti za veoma približno n^2 puta. Odnos otpornosti redne i paralelne veze naziva se i transferom Hamonovog otpornika. Kako bi se potisnuli negativni efekti otpornosti spojeva u cilju povećanja tačnosti Hamonovog transfera, koriste se četvorožični spojevi otpornika. Grešku transfera izazivaju takozvane prolazne (podužne i poprečne) otpornosti četvorožičnih spojeva. Ovaj negativni efekat se kompenzuje dodavanjem pomenutih kompenzacionih otpornika koji realizuju kompenzacionu mrežu.

Posmatra se grupa od n otpornika iste nazivne vrednosti. Stvarna vrednost pojedinačnog otpornika je:

$$R_i = R + \Delta R_i \quad (1)$$

gde je R srednja vrednost grupe otpornika a ΔR_i razlika između stvarne vrednosti pojedinačnog otpornika i srednje vrednosti grupe. Srednja vrednost grupe otpornika je:

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, Novi Sad, Srbija (e-mail: mirkovicst@uns.ac.rs).
 Dragan Pejić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, Novi Sad, Srbija (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).
 Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, Novi Sad, Srbija (e-mail: marina.bulat@uns.ac.rs).
 Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, Novi Sad, Srbija (e-mail: nemanjagazivoda@uns.ac.rs).
 Zdravko Gotovac – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg D. Obradovića 6, Novi Sad, Srbija (e-mail: zdravko.gotovac@uns.ac.rs).

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

Ako se (1) svede na sledeći način:

$$R_i = R \left(1 + \frac{\Delta R_i}{R} \right) \quad (3)$$

može se reći da je

$$R_i = R(1 + \delta_{R,i}) \quad (4)$$

gde je $\delta_{R,i}$ relativno odstupanje pojedinačnih otpornika od srednje vrednosti grupe. Ekvivalentna otpornost redne veze n otpornika (R_S) je:

$$R_S = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n R(1 + \delta_{R,i}) = nR \left(1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{R,i} \right) \quad (5)$$

Pošto je zbir odstupanja pojedinačnih uzoraka od aritmetičke sredine nekog skupa jednak nuli, to znači da je član:

$$\sum_{i=1}^n \delta_{R,i} = 0 \quad (6)$$

Prema tome, (5) dobija sledeći oblik:

$$R_S = \sum_{i=1}^n R_i = nR \quad (7)$$

Ekvivalentna otpornost paralelne veze n otpornika (R_P) može se odrediti na osnovu sledećeg izraza:

$$\frac{1}{R_P} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \Rightarrow R_P = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R(1 + \delta_{R,i})}} = \frac{R}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{R,i})}} \quad (8)$$

Odnos ekvivalentne otpornosti serijske i paralelne veze n otpornika je:

$$\frac{R_S}{R_P} = \frac{nR}{R} = n \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{R,i})}} \quad (9)$$

Za $|\delta_i| < 1$, može se primeniti razvoj elementarne funkcije u Maklorenov red:

$$\frac{1}{(1 + \delta_{R,i})} = \sum_{k=0}^{\infty} (-\delta_{R,i})^k = 1 - \delta_{R,i} + \delta_{R,i}^2 - \delta_{R,i}^3 + \dots \quad (10)$$

Zbog (6) dolazi do poništavanja linearnih članova u sledećem izrazu, i uz zanemarivanje članova 3. i višeg reda, dobija se sledeća aproksimacija:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{R,i})} \approx \sum_{i=1}^n (1 - \delta_{R,i} + \delta_{R,i}^2) = \sum_{i=1}^n (1 + \delta_{R,i}^2) \quad (11)$$

Na osnovu toga, (9) dobija sledeći oblik:

$$\frac{R_S}{R_P} = n \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{R,i})} \approx n^2 \left(1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{R,i}^2 \right) \quad (12)$$

Poslednji izraz pokazuje da je odnos redne i paralelne veze (transfer) istih n otpornika sa velikom tačnošću jednak kvadratu broja otpornika. Ako se pri ovoj analizi zanemare otpornosti spojeva, može se videti da je glavni uzročnik greške transfera rasipanje vrednosti otpornika oko srednje vrednosti grupe. Relativna vrednost ove greške je:

$$\delta_{DC} = \frac{\frac{n^2 - R_S}{R_P}}{\frac{R_S}{R_P}} \approx \frac{-\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{R,i}^2}{1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{R,i}^2} = -\frac{\left(\frac{\sigma(R_i)}{R} \right)^2}{1 + \left(\frac{\sigma(R_i)}{R} \right)^2} \quad (13)$$

Greška odnosa (transfera) približno zavisi od varijanse otpornosti grupe. Pri merenju odnosa otpornosti (transfera), nije od velike važnosti tačnost pojedinačnih otpornika već njihova međusobna ujednačenost. Takođe nije potrebna ni visok dugoročna stabilnost otpornosti. Potrebno je i dovoljno da odgovarajuća stabilnost bude održana unutar intervala trajanja jednog merenja. Visoka tačnost transfera važi samo za velike otpornosti, kada se otpornosti spojnih vodova mogu zanemariti. Kod otpornosti pojedinačnih otpornika ispod 100Ω otpornosti spojnih vodova mogu uzrokovati značajne greške, pa se kompenzacione mreže obavezno koriste.

Hamonovi etaloni pored svoje prvenstvene uloge da budu etaloni prenosnog odnosa otpornosti, nalaze primenu i kao etaloni otpornosti. Razlog ovome je što se oni prave od vrlo kvalitetnih otpornika pa se po svojoj tačnosti mogu porediti sa radnim etalonima. Međutim, pažljivom izradom pojedinačnih otpornika i spojeva, postiže se da greška transfera bude znatno manja od grešaka samih otpornika. Kod poređenja dve otpornosti Hamonovim etalonom, jedna otpornost se poredi sa Hamonovim etalonom kojem su otpornici presloženi u rednu vezu, a drugi otpornik sa istim Hamonovim etalonom kojem su otpornici presloženi u paralelnu vezu. Sada kada se raspolaze sa dva različita rezultata poređenja, traženi odnos te dve otpornosti se računa kao količnik ta dva rezultata poređenja pomnožen sa n^2 , tj. sa transferom tog Hamonov etalona. Kod komercijalnih Hamonovih etalona greška transfera može biti ispod 1 ppm. Metodom indirektnog poređenja dve otpornosti pomoću odgovarajućeg Hamonovog etalona postiže se visoka tačnost. Na primer, kod prenošenja vrednosti otpornosti reprodukovane kvantnim Holovim (Hall) efektom na vrednost od 1Ω i pri dvostrukom transferu $10\,000 \Omega : 100 \Omega$ i $100 \Omega : 1 \Omega$, postignuta je merna nesigurnost krajnjeg rezultata od oko 10^{-8} .

II. OTPORNIK KAO IMPEDANSA

Glavna hipoteza ovog rada se odnosi na to da li ono što važi u DC režimu, na neki način može da važi i u AC režimu, kada se umesto otpornika posmatraju impedanse (moduli i faze)?

U cilju procene ponašanja Hamonovih otpornika ako bi se posmatrali kao impedanse, koje imaju svoj moduo i svoju fazu, izvršene su pre svega matematičke procene, a zatim i računarske simulacije. Glavna ideja je bila da se uoči zavisnost transfera grupe otpornika od promene modula i faze pojedinačnih otpornika. Posmatrana je grupa od n impedansi, sa istim nazivnim modulom i fazom. Tolerancija nazivne vrednosti modula za sve impedanse grupe je ista. Isto važi i za fazu.

Ako se umesto grupe otpornika posmatra grupa od n impedansi, stvarna vrednost pojedinačne impedanse je:

$$\underline{Z}_i = R_i + jX_i = Z_i \cdot e^{j\theta_i} \quad (14)$$

gde je Z_i moduo pojedinačne impedanse, a θ_i njena faza. Aritmetička sredina impedansi grupe je:

$$\underline{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \underline{Z}_i = R + jX = Z \cdot e^{j\theta} \quad (15)$$

Z predstavlja moduo aritmetičke sredine grupe, a θ fazu aritmetičke sredine grupe. Moduo i faza pojedinačne impedanse može se napisati u sledećem obliku:

$$Z_i = Z(1 + \delta_{Z,i}) \quad (16)$$

$$\theta_i = \theta(1 + \delta_{\theta,i}) \quad (17)$$

gde je $\delta_{Z,i}$ relativno odstupanje modula pojedinačne impedanse od modula aritmetičke sredine grupe. Isto tako, $\delta_{\theta,i}$ je relativno odstupanje faze pojedinačne impedanse od faze aritmetičke sredine grupe. Izraz za ekvivalentnu impedansu serijske veze impedansi grupe je:

$$\underline{Z}_S = \sum_{i=1}^n \underline{Z}_i = Z_S e^{j\theta_S} \quad (18)$$

Na osnovu (15) i (18) može se napisati da je:

$$\underline{Z}_S = n\underline{Z} \quad (19)$$

Izraz za admitansu paralelne veze impedansi grupe je:

$$\frac{1}{\underline{Z}_P} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\underline{Z}_i} = \frac{1}{Z_P e^{j\theta_P}} \quad (20)$$

Pomoću (19) i (20), dobija se da je odnos impedansi serijsko i paralelno vezanih impedansi grupe:

$$\frac{\underline{Z}_S}{\underline{Z}_P} = \frac{Z_S e^{j\theta_S}}{Z_P e^{j\theta_P}} = n\underline{Z} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\underline{Z}_i} = \sum_{i=1}^n \frac{nZ e^{j\theta}}{Z_i e^{j\theta_i}} \quad (21)$$

Uzimanjem u obzir (16) i (17), prethodni izraz se može napisati u sledećem obliku:

$$\frac{\underline{Z}_S}{\underline{Z}_P} = n \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} e^{-j(\theta - \delta_{\theta,i})} \quad (22)$$

Sređivanjem (22) dobija se:

$$\frac{\underline{Z}_S}{\underline{Z}_P} e^{j(\theta_S - \theta_P)} = n \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} e^{-j(\theta - \delta_{\theta,i})} \quad (23)$$

Prevođenjem leve i desne strane prethodne jednakosti iz polarnog u Kartezijanski (Dekartov) sistem, dobijaju se sledeće dve jednakosti:

$$\frac{Z_S}{Z_P} \cos(\theta_S - \theta_P) = n \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} \cos(\theta \cdot \delta_{\theta,i}) \quad (24)$$

$$-\frac{Z_S}{Z_P} \sin(\theta_S - \theta_P) = n \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} \sin(\theta \cdot \delta_{\theta,i}) \quad (25)$$

$$(\theta_S - \theta_P) = \arctan \left(- \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} \sin(\theta \cdot \delta_{\theta,i})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} \cos(\theta \cdot \delta_{\theta,i})} \right) \quad (26)$$

Uvođenjem smene i rešavanjem ove dve jednakosti, dobijaju se krajnji izrazi koji pokazuju kakav je moduo i faza odnosa serijske i paralelne veze impedansi grupe:

$$\frac{Z_S}{Z_P} = \frac{n}{\cos(\theta_S - \theta_P)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} \cos(\theta \cdot \delta_{\theta,i}) = - \frac{n}{\sin(\theta_S - \theta_P)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + \delta_{Z,i})} \sin(\theta \cdot \delta_{\theta,i}) \quad (27)$$

Z_S / Z_P predstavlja moduo navedenog odnosa, a $(\theta_S - \theta_P)$ njegovu fazu (fazu transfera). U (26) i (27) argument funkcija \sin i \cos je ugao $\theta \cdot \delta_{\theta,i}$, koji ustvari predstavlja razliku faza pojedinačne impedanse i aritmetičke sredine grupe.

Vidi se da u ovim izrazima vrednost modula pojedinačnih impedansi ne utiče na rezultat, dok njihove tolerancije, odnosno rasipanje tih modula utiče. Što se tiče faze, vidi se da u ovim izrazima figuriše ugao $\theta \cdot \delta_{\theta,i}$. Utvrđeno je da se ugao $\theta \cdot \delta_{\theta,i}$ nalazi u opsegu koji je veoma sličan opsegu definisanim nazivnom vrednošću faze pojedinačnih impedansi i njihovim tolerancijama.

Ako se pogleda (22), izraz za transfer impedansi, i ako se pretpostavi da su sve faze impedansi jednake, bez obzira koliko one iznose, ugao $\theta \cdot \delta_{\theta,i}$ jednak je nuli. Pod ovim uslovom, kompleksni deo u (22) nestaje. Ovo dovodi do sledećeg zaključka da što je rasipanje faza impedansi grupe manje, transfer te grupe je bliži realnom broju. Ako se pretpostavi idealan slučaj da je $\sigma(R_i)$ i $\sigma(X_i)$ jednako nuli, transfer impedansi će biti n^2 , bez obzira na to kolika je faza impedansi. Relativna greška transfera može se definisati kao:

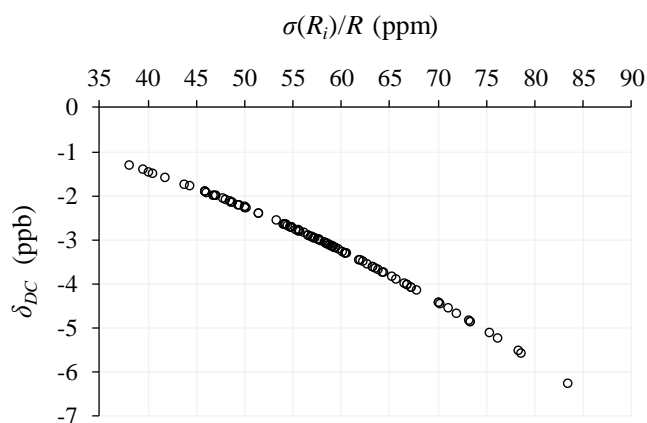
$$\delta_{AC} = \frac{n^2 - \frac{Z_S}{Z_P}}{\frac{Z_S}{Z_P}} \quad (28)$$

III. REZULTATI

U cilju dobijanja konkretnih rezultata kao smernica za dalja istraživanja, izvršena je simulacija kojom je određivan odnos serijske i paralelne veze n impedansi. Pretpostavka je bila da su simulirane takve impedanse, čiji bi moduli, rasipanje tih modula, faza i rasipanje tih faza odgovaralo realnim

situacijama.

Prvi slučaj je simulacija određivanja transfera n otpornika (DC režim). Simuliranje je vršeno tako što je definisana nazivna vrednost otpornika, kao i tolerancija. Na osnovu tih parametara, izgenerisano je n otpornosti. Zatim je određena ekvivalentna serijska, kao i paralelna otpornost. Nakon toga, određen je količnik (odnos) otpornosti serijske i paralelne veze, tj. transfer. Simulirana je situacija sa $n=10$ otpornika nazivne vrednosti R_n sa tolerancijom 100 ppm prema uniformnoj raspodeli. Određivanje odnosa je ponovljeno 100 puta, gde su dobijana različita rasipanja grupe otpornika. Na sledećoj slici nalazi se zavisnost greške transfera od relativne standardne devijacije (tj. koeficijenta varijacije) grupe otpornika.

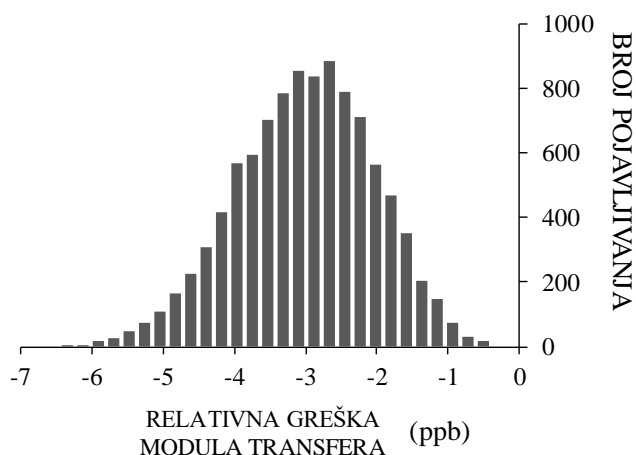


Sl. 1. Greška transfera u DC režimu

Kako se očekivanja rezultata simulacija zasnivaju na teorijskom modelu (13), dobijeni su očekivani rezultati, i u skladu su sa teorijskim modelom. Ako se posmatra grupa od n otpornika nazivne vrednosti R_n sa tolerancijom 100 ppm sa uniformnom raspodelom, matematički (statistički) procenjena relativna standardna devijacija te grupe bila bi približno 58 ppm. Prema (13), grešku transfera treba očekivati da je približno $-(58 \text{ ppm})^2 / (1 + (58 \text{ ppm})^2) = -0,0033 \text{ ppm} = -3,3 \text{ ppb}$ (pod "ppb" se smatra da je to relativna vrednost 10^{-9} , odnosno $1:10^9$). Prethodni grafik sa rezultatima simulacija to potvrđuje. Greška transfera približno je jednaka kvadratu koeficijenta varijacije grupe. Za približnu procenu maksimalne greške transfera, uzima se da je koeficijent varijacije grupe otpornika jednak njihovoj toleranciji. Može se videti da je relativna vrednost greške transfera značajno manja od tolerancija samih otpornika kojima se realizuje taj transfer. Upravo zbog ovoga Hamonovi etaloni obezbeđuju visoku tačnost pri prenosu jedne otpornosti na drugu.

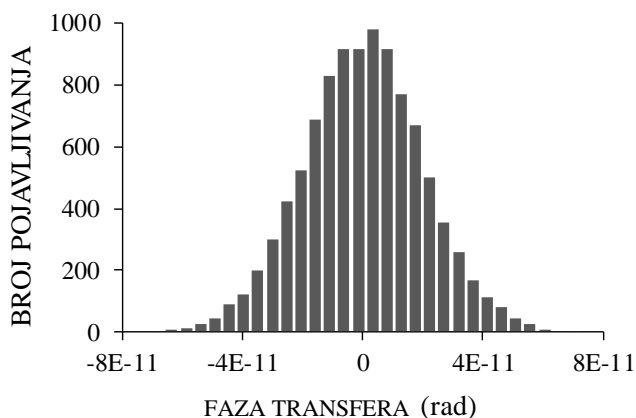
Drugi slučaj je simulacija određivanja transfera n impedansi (AC režim). Simuliranje je vršeno na isti način kao i prethodno, ali su umesto otpornosti u račun uzete impedanse. Simulirano je $n=10$ impedansi nazivnog modula Z_n sa tolerancijom od 100 ppm (uniformna raspodela), i nazivne faze $\theta_n = 0.01$ rad sa tolerancijom od 100 ppm (uniformna

raspodela). Simulacija je izvršena u 10 000 iteracija.



Sl. 2. Histogram greške modula transfera u AC režimu

Na prethodnoj slici predstavljen je histogram relativne greške modula transfera ($(n^2 - Z_s/Z_p)/(Z_s/Z_p)$). Može se videti da se moduo transfera prilično simetrično rasipa oko neke vrednosti. Veoma sličan opseg dobija se i u DC režimu. Može se reći da moduo transfera ima vrlo malo rasipanje i odstupanje od n^2 , što je prvo bitno zapažanje. Na sledećoj slici nalazi se histogram faza transfera.



Sl. 3. Histogram faze transfera u AC režimu

Sledeće veoma bitno zapažanje je da se faza transfera rasipa u veoma uskom opsegu. Razlog tome je što su faze serijske i paralalene veze impedansi iste grupe veoma slične. Primera radi, kada bi se tolerancije modula i faza gore pomenutih impedansi grupe postavile na 1% (uniformna raspodela), faze serijske od faza paralalene veze bi se razlikovale za približno do 90 ppm. U slučaju da su tolerancije kao i u simulaciji 100 ppm, ove faze bi se razlikove do otprilike 10 ppb.

IV. ZAKLJUČAK

U situacijama kada se Hamonovi otpornici koriste u DC režimu, pokazuje se da greška transfera zavisi od koeficijenta varijacije grupe otpornika. Što je rasipanje otpornosti oko

njihove aritmetičke sredine manje, tim je i greška transfera manja. Simulacije su pokazale da i kod AC režima moduo transfera ima takođe malo odstupanje od n^2 . Sledeće bitno zapažanje je da se faza transfera rasipa u okolini ili u blizini nule. Treba obratiti pažnju da se, prema ovoj simulaciji i za ovu grupu otpornika, greška transfera u DC režimu i greška modula transfera u AC režimu, nalaze u sličnom opsegu, i reda su ppb-a.

Ove simulacije, kao i prikazane matematičke hipoteze, daju ohrabrujuće rezultate za dalja istraživanja i primenu Hamonovih etalona u AC režimu.

LITERATURA

- [1] "SR-1010 Series Resistance Transfer Standards User and Service Manual," *IET LABS, INC.*, 534 Main Street, Westbury, NY 11590, November, 2008.
- [2] R. Radetić, *Električna otpornost: pojava i merenja: sa originalnim rešenjima autora*, Agencija Eho, Niš, 2015.
- [3] D. G. Jarrett, "Evaluation of Guarded High-Resistance Hamon Transfer Standards," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 48, no. 2, April, 1999.
- [4] B. V. Hamon, "A 1-100 Ω build-up resistor for the calibration of standard resistors", *Jour. Sci. Instr.*, vol. 31, pp. 450-453, 1954.
- [5] J. Bohacek, "Evaluation of frequency performance of resistance standards", IMTC/2002. Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002.
- [6] J. C. Riley, "The Accuracy of Series and Parallel Connections of Four-Terminal Resistors", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 16, 1967.
- [7] White, D.R., Jones, K., Williams, J.M., Ramsey, I.E., "A simple resistance network for calibrating resistance bridges", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 46, 1997.
- [8] L. Cimeanu, M. Simionescu, "Metrological characterization of reference standard resistors group of 100 Ω by means of Hamon resistor," 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, Iasi, Romania, 25-27 October, 2012.

ABSTRACT

In most practical applications, Hamon transfer resistors find their place in DC mode. Their primary role is not to be a standards of resistance, but standards of ratio of resistance. In this paper are presented the basic proposals for Hamon standard use in AC mode. Due to their good metrological characteristics in DC mode, paper presents hypotheses that try to use these characteristics in AC mode.

Possibility of using Hamon resistors in alternating mode

Stefan Mirković, Dragan Pejić, Marina Bulat, Nemanja Gazivoda

Metoda etaloniranja multifunkcijskog kalibratora za ispitivanje bezbednosti električnih instalacija

Dorđe Novaković, *Student Member, IEEE*, Nemanja Gazivoda, *Member, IEEE*, Dragan Pejić, *Member, IEEE*, Marjan Urekar, *Member, IEEE*, Ivan Gutai, *Member, IEEE*, Zdravko Gotovac

Apstrakt—U radu je opisan razvoj i validacija merne metode za etaloniranje vremena reakcije zaštitnih uređaja diferencijalne struje (RCD - Residual current device), kao jedne od funkcija multifunkcijskog kalibratora Time Electronics 5030. Metoda je razvijena sa ciljem kompletiranja sistema mernih metoda kojima se realizuje etaloniranje svih funkcija multifunkcijskog kalibratora za ispitivanje bezbednosti električnih instalacija. U ovu svrhu je razvijen namenski firmver i hardver. Teorijski i eksperimentalno je pokazano da predložena metoda može uspešno da se primenjuje za etaloniranje vremena reakcije RCD uređaja. Merna nesigurnost realizovanog mernog sistema je dvadeset puta manja od merne nesigurnosti zadavanja vremena reakcije RCD uređaja u okviru multifunkcijskog kalibratora.

Ključne reči— RCD; STM32; multifunkcijski kalibrator; etaloniranje; merna nesigurnost

I. UVOD

Laboratorija za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu predstavlja akreditovanu metrološku laboratoriju za etaloniranje mernih instrumenata u oblastima električnih veličina, termometrije i vremena i frekvencije.

Merne metode koje se koriste u etaloniranjima se konstantno inoviraju, kako bi pratile korak sa razvojem tehnologije i novim trendovima u naučnoj i industrijskoj oblasti metrologije.

Prenosna merila - analizatori bezbednosnih parametara električnih instalacija poslednjih godina postaju sve složenija i nude mogućnost merenja sve većeg broja veličina. U skladu sa tim je Laboratorija za metrologiju prepoznala potrebu za nabavkom kalibratora koji bi predstavljao zaokruženo rešenje za etaloniranje ovakvih analizatora. Nedostatak adekvatne

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

Nemanja Gazivoda – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: nemanjagazivoda@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).

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

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

dokumentacije na temu etaloniranja svih funkcija nabavljenog multifunkcijskog kalibratora Time Electronics 5030 je nadomešten analizom i ispitivanjem različitih metoda etaloniranja. Jedina preostala funkcija, za koju nije uspešno odabrana pogodna metoda etaloniranja je bila funkcija pri kojoj multifunkcijski kalibrator simulira rad zaštitnih uređaja diferencijalne struje, odnosno vreme reakcije za definisanu vrednost struje aktivacije.

Zaštitni uređaji diferencijalne struje su električni uređaji koji isključuju električno kolo kada god se detektuje postojanje razlike između vrednosti struje u faznom i nultom provodniku. Pomenuta nesrazmernost struja je rezultat curenja struje ka uzemljenju preko metalne konstrukcije koja se usled kvara nalazi pod naponom. Svaki RCD uređaj, pre svega karakterišu dva parametra: struja reakcije i vreme reakcije.

Dalja podela se vrši prema tipu diferencijalne struje na:

- Tip AC - ovakvi RCD uređaji reaguju samo pri pojavi neželjene naizmernične struje sinusnog talasnog oblika;
- Tip A - ovakvi RCD uređaji reaguju pri pojavi neželjene naizmernične struje sinusnog talasnog oblika i pri pojavi jednosmerne pulsirajuće struje;
- Tip U - RCD uređaji osetljivi na naizmerničnu i pulsirajuću jednosmernu struju, prilagođeni primeni sa frekventnim pretvaračima;
- Tip B - univerzalno osetljiv RCD uređaj koji će reagovati kod svih tipova neželjenih struja (naizmerničnih, pulsirajućih jednosmernih i konstantnih jednosmernih).

Prema vremenu reakcije RCD uređaji se dele na:

- Standardne - imaju definisano samo maksimalno vreme reakcije;
- Tip S - RCD uređaj sa selektivnim vremenom reakcije (minimalno 40 ms) i sa mogućnošću dodatnog kašnjenja u reakciji;
- Tip G - RCD uređaj sa definisanim minimalnim vremenom reakcije od 10 ms.

Multifunkcijski kalibrator Time Electronics 5030 nudi mogućnost simuliranja rada svih pomenutih tipova RCD uređaja, kako bi se omogućilo etaloniranje analizatora bezbednosnih parametara električnih instalacija, kao deo obima akreditacije Laboratorije.

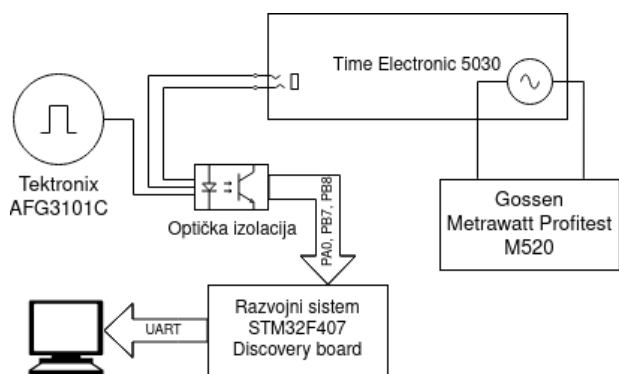
Usledilo je detaljno ispitivanje kako bi se došlo do odabira odgovarajuće metode etaloniranja i zatim je usledio razvoj

prototipskog sistema za etaloniranje vremena reakcije [1,2].

II. REALIZOVANI MERNI SISTEM - HARDVER

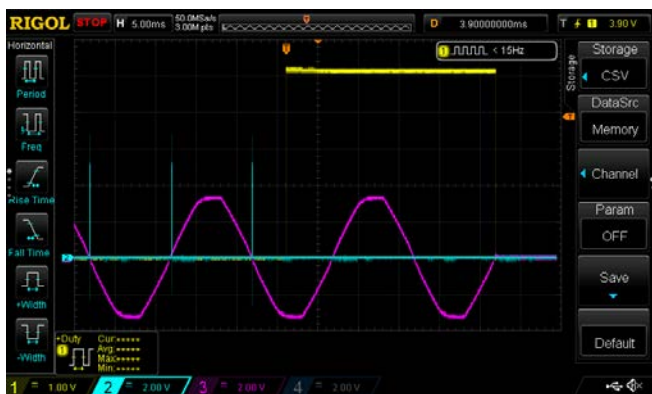
Realizovani merni sistem se sastoji iz kola za izolaciju signala i mikrokontrolerskog kola za akviziciju signala. Izolovani su signali kalibratora Time Electronics 5030, kao i digitalni signal (četvrtke) sa generatora referentnog takta Tektronix AFG3101C. Signali se dovode na mikrokontroler koji vrši merenje vremena na osnovu pristiglih signala. Izmerena vrednost prosleđuje se serijskom portu računara posredstvom standardizovanog RS-232 protokola (UART).

Na slici 1 je prikazana blok šema realizovanog mernog sistema za etaloniranje vremena reakcije RCD uređaja.



Sl. 1 Blok šema mernog sistema

Zbog nedokumentovanog moda kalibracije kalibratora Time Electronics 5030, korišćenjem 3,5 mm stereo audio konektora posmatrani su signali na izlazu, na zadnjem panelu kalibratora. Pored posmatrana dva signala na izlazu za kalibraciju, posmatran je i signal na šuko utičnici kalibratora koji je snimljen sondom sa faktorom deljenja 1:100. Dobijeni signali prikazani su na slici 2.



Sl. 2 Izgled signala dobijenih akvizicijom sa multifunkcijskog kalibratora Time Electronics 5030

Svi signali su zabeleženi pri funkciji simulacije rada RCD uređaja na multifunkcijskom kalibratoru i nakon aktivacije iste od strane test uređaja-analizatora Gossen Metrawatt Profitest M520.

Signal označen plavom bojom na slici 2 predstavlja trenutak kada sinusni signal prolazi kroz nulu. Ovi

pravougaoni impulsi će se pojavljivati sve dok korisnik ne pokrene RCD test na Gossen Metrawatt Profitest M520 test instrumentu. Kada se pokrene RCD test pojavljuje se žuti signal na drugom kanalu audio izlaza kalibratora i traje do trenutka koji je definisao korisnik na kalibratoru. Važno je napomenuti da korisnik može podesiti vrednost sa rezolucijom od 10 ms, što upravo odgovara jednoj poluperiodi (jedan signal detekcije prolaska kroz nulu) mrežnog signala. Eksperimentalno je utvrđeno da kalibrator meri vreme od uzlazne ivice signala plave boje pa sve do silazne ivice signala žute boje. Na slici 3 prikazani su signali zabeleženi pri podešenom parametru vremena reakcije RCD-a od 10 ms, 20 ms, 30 ms i 40 ms.



Sl. 3 Izgled signala dobijenih akvizicijom sa multifunkcijskog kalibratora Time Electronics 5030 pri različitim vrednostima vremena reakcije

III. REALIZOVANI MERNI SISTEM - FIRMVER

Na osnovu opisanog postupka realizovan je i mikrokontrolerski kod za akviziciju signala sa multifunkcijskog kalibratora. Korišćeni mikrokontroler je STM32F407VGT 32 bitni RISC ARM Cortex M4 procesor sa taktom do 168 MHz i sa 1 MB fleš memorije, kao i 196 KB SRAM memorije. Ima mogućnost široke primene zbog velikog broja perifernih jedinica poput: 3 nezavisna 12 bitna AD konvertora, 2 nezavisna 12 bitna DA konvertora, 17 tajmersko brojačkih modula, 3 I2C interfejsa, 6 UART interfejsa, 2 CAN interfejsa itd. [3].

Ovaj kontroler je sastavni deo razvojnog sistema STM32F407 Discovery Board koji je proizveden od strane STMicroelectronics. Razvojni sistem sadrži još i STLink (in-circuit debugger/programmer) za programiranje kontrolera i otklanjanje grešaka, mikrofona i audio pojačavača u klasi D za obradu i reprodukciju zvuka, akcelerometar itd. Jedna od mana ovog razvojnog sistema je nepostojanje FTDI čipa za konverziju sa UART na USB, pa je zbog toga ovaj sistem povezan na STM32F4 Discovery Shield proizveden od strane Mikroelektronike. Pomenuta dodatna ploča pored toga što omogućuje jednostavno povezivanje velikog broja senzora korišćenjem click adaptera, sadrži još FTDI čip. Podešavanje i prilagođavanje pinova, kao i programiranje realizovano je u razvojnom okruženju STM32Cube IDE.

U ovom projektu korišćen je tajmer 5 u modu 32-bitnog

brojača spoljašnjih impulsa. Signal koji broji tajmer 5 zapravo predstavlja referentni takt generisan referentnim generatorom takta Tektronix AFG3101C i doveden je na ulaz TIM5_CH1 tajmera, tačnije PA0 pin. Signali koji se dovode sa izlaza kalibratora dovode se na pinove GPIO_EXTI7 i GPIO_EXTI8, tačnije pinove PB7 i PB8, respektivno, a pinovi su podešeni u mod detekcije spoljašnjeg prekida. Takođe, podešen je UART na pinovima PA2 i PA3, sa brzinom prenosa 115 200 b/s, u modu sa 8 bita podataka, jednim stop bitom i bez bita pariteta. Signal koji se dovodi na TIM5_CH1 ulaz tajmera se sinhronizuje sa taktom periferije koja kontroliše rad tajmersko brojačkog modula. Izvor takta je spoljašnji oscilator frekvencije takta 8 MHz koji je integrisan na razvojnom sistemu.

Signal sa spoljašnjeg oscilatora se dovodi na PLL strukturu gde se takt procesora podiže na 168 MHz. Pri ovoj brzini takta procesora, maksimalna frekvencija takta za kontrolu tajmersko brojačkog modula je 84 MHz.

Uzimajući u obzir da je frekvencija referentnog takta dovedenog na brojač 100 kHz, kašnjenje signala ne igra bitnu ulogu pa se zato može zanemariti. Takođe, jedan od potencijalnih problema je kašnjenje koje se može desiti u slučaju detekcije prekida i skoka u prekidnu rutinu. U dokumentaciji je navedeno da je kašnjenje procesora od trenutka prekida do prve instrukcije u prekidnoj rutini 12 ciklusa (za odabranu frekvenciju oscilatora kašnjenje je 71,4 ns). Pošto je perioda referentnog signala 10 µs, realizovano je softversko upravljanje brojačkim registrom. Važno je napomenuti da kašnjenje od 12 ciklusa se dešava korišćenjem "bare metal" programiranja [4].

U mernom sistemu kod je realizovan korišćenjem HAL biblioteka [5] (prilikom detekcije prekida poziva se nekoliko wrapper funkcija), što će dodati još par taktova kašnjenja prekidne rutine ali će i dalje perioda referentnog signala biti daleko manja.

Upravljanje bi bilo moguće rešiti hardverskim putem, korišćenjem gejtovanog tajmera, ali za ovaj mikrokontroler postoji mogućnost rada samo sa jednim upravljačkim signalom.

Pošto je realizaciji mernog sistema bilo neophodno meriti vreme od uzlazne ivice jednog do silazne ivice drugog signala upravljanje je rešeno dodavanjem spoljašnjih prekida na pinove PB7 i PB8, uz detekciju odgovarajuće ivice. Takođe, ovaj problem je mogao biti rešen dodavanjem dodatnih hardverskih komponenti, ali zbog već pomenute analize vremenske fleksibilnosti, softversko rešenje se nameće kao jeftinije. Ključna komponenta firmvera je prekidna rutina koja detektuje ivice signala i vrši upravljanje tajmerom. Kod prekidne rutine dat je u poglavlju DODATAK.

U skladu sa oznakama na slici 1, na pinu PB8 mikrokontrolera dovedeni su impulsi detektovanja prolaska signala kroz nulu i označeni su plavom bojom. Pošto se ovi impulsi ponavljaju, korisniku je od važnosti samo poslednji impuls, tačnije neophodno je meriti broj impulsa sa referentnog generatora funkcija od uzlazne ivice signala plave boje do silazne ivice signala žute boje. Kada kontroler detektuje uzlaznu ivicu impulsa, označenog plavom bojom, on

resetuje tajmer 5, pa počinje brojanje takta sa referentnog generatora od 0.

Prilikom detekcije silazne ivice signala žute boje tajmer se zaustavlja, njegova vrednost se očitava, konvertuje u string i dalje prosleđuje UART-om.

Priprema slanja i slanje nije neophodno raditi iz prekidne rutine, ali pošto korisnik ne može fizički pokrenuti dva uzastopna testa velikom brzinom ovaj postupak neće uticati na rezultat merenja.

IV. REZULTATI MERENJA I OCENA MERNE NESIGURNOSTI

Na osnovu opisa realizovanog hardvera i firmvera autori su se odlučili za primenu standardne metode poređenja pokazivanja razvijenog etalonskog sistema i ispitivanog uređaja (DUT - device under test) [6].

Dakle poređeno je pokazivanje razvijenog mernog sistema i podatak o postavljenoj vrednosti vremena reakcije simuliranog RCD uređaja na multifunkcijskom kalibratoru Time Electronics 5030.

U svrhu validacije realizovanog mernog sistema i odabrane metode etaloniranja sprovedena je serija od po 10 ponovljenih merenja za 6 različitih vremena reakcije (10 ms, 50 ms, 100 ms, 500 ms, 1000 ms i 2000 ms) i za istu vrednost struje aktivacije od 30 mA.

U tabeli 1 je dat prikaz rezultata merenja za vrednost vremena reakcije od 10 ms.

TABELA 1
PRIKAZ REZULTATA MERENJA ZA VREDNOST VREMENA AKTIVACIJE RCD
UREĐAJA OD 10 MS

Parametri aktivacije RCD uređaja		Rezultati merenja	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
Struja	Vreme			
(mA)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)
30	10	10,06	10,085	0,014
		10,09		
		10,09		
		10,09		
		10,06		
		10,09		
		10,09		
		10,09		
		10,09		
		10,10		

Kolona "Vreme" se odnosi na parametar vremena reakcije postavljen na objektu etaloniranja - multifunkcijskom kalibratoru, a kolona "Rezultati merenja" na 10 ponovljenih merenja etalonskim sistemom.

Autori su u svrhu validacije pristupili oceni merne nesigurnosti merenja vremena reakcije razvijenim etalonskim sistemom i poređenjem sa mernom nesigurnošću postavljanja vremena reakcije na multifunkcijskom kalibratoru [7].

Kao zadovoljavajući ishod validacije definisan je zahtev da merna nesigurnost etaloniranja vremena reakcije mora biti barem 5 puta manja od merne nesigurnosti postavljanja vremena reakcije na kalibratoru Time Electronics 5030 [8].

U literaturi [2] je identifikovan podatak o tačnosti postavljanja vremena reakcije RCD uređaja na kalibratoru Time Electronics 5030 od $\pm 0,5$ ms.

Greška kalibratora je slučajna veličina, karakterisana pravougaonom uniformnom raspodelom, sa očekivanom vrednosti jednakom nuli i granicama greške $\pm 0,5$ ms. Merna nesigurnost tipa B je tada jednaka $0,5/\sqrt{3}$ ms. Proširena merna nesigurnost je jednaka $2 \cdot (0,5/\sqrt{3})$ ms, odnosno ± 577 μ s.

Matematički model rezultata etaloniranja kalibratora Time Electronics 5030 (DUT) je definisan kao:

$$g = t_x - t_s, \quad (1)$$

$$g = t_x - \left(\frac{n + \Delta n}{f_s + \Delta f_s} \right), \quad (2)$$

gde je:

t_s - Vremenski interval, izmeren razvijenim etalonskim sistemom;

g - Greška etaloniranja DUT;

t_x - Vremenski interval, postavljen na DUT - konstanta;

n - Sadržaj brojača. Slučajna veličina, karakterisana normalnom raspodelom, sa očekivanom vrednosti jednakoj aritmetičkoj sredini od k odmeraka i standardnom devijacijom s_n / \sqrt{k} , gde je s_n standardna devijacija odmeraka.

Standardna nesigurnost tipa A;

Δn - Korekcija, zbog inherentne greške brojanja. Slučajna veličina, karakterisana pravougaonom uniformnom raspodelom, sa očekivanom vrednosti jednakom nuli i granicama greške ± 1 . Standardna nesigurnost, tip B, jednaka je $1/\sqrt{3}$;

f_s - Frekvencija etalonskog generatora frekvencije - konstanta;

Δf_s - Korekcija, zbog netačnosti frekvencije etalonskog generatora frekvencije. Slučajna veličina karakterisana pravougaonom uniformnom raspodelom sa očekivanom vrednosti jednakoj korekciji frekvencije (iz sertifikata o etaloniranju) i granicama određenim specifikacijom generatora frekvencije (na primer, granicama greške gg_{f_s}). Merna nesigurnost tipa B.

Standardne merne nesigurnosti $u(n)$, $u(\Delta n)$ i $u(\Delta f_s)$ su definisane kao:

$$u(n) = \frac{s_n}{\sqrt{k}}, \quad u(\Delta n) = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad u(\Delta f_s) = \frac{gg_{f_s}}{\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Kombinovana merna nesigurnost $u(g)$ je jednaka:

$$u(g) = \left[c_n^2 \cdot u^2(n) + c_{\Delta n}^2 \cdot u^2(\Delta n) + c_{\Delta f_s}^2 \cdot u^2(\Delta f_s) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

gde su c_n , $c_{\Delta n}$ i $c_{\Delta f_s}$ koeficijenti osetljivosti definisani kao:

$$\begin{aligned} c_n &= \frac{\partial g}{\partial n} = \frac{1}{f_s + \Delta f_s}, \\ c_{\Delta n} &= \frac{\partial g}{\partial \Delta n} = \frac{1}{f_s + \Delta f_s}, \\ c_{\Delta f_s} &= \frac{\partial g}{\partial \Delta f_s} = -\frac{n + \Delta n}{(f_s + \Delta f_s)^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Nakon zamene (5) u (4) izraz (4) postaje:

$$u(g) = \left[\left(\frac{1}{f_s + \Delta f_s} \right)^2 \cdot \left(\frac{s_n}{\sqrt{k}} \right)^2 + \left(\frac{1}{f_s + \Delta f_s} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(-\frac{n + \Delta n}{(f_s + \Delta f_s)^2} \right)^2 \cdot \left(\frac{gg_{f_s}}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (6)$$

Uzimajući u obzir da su matematička očekivanja Δn i Δf_s jednaka 0, izraz (6) postaje:

$$u(g) = \left[\left(\frac{1}{f_s} \right)^2 \cdot \left(\frac{s_n}{\sqrt{k}} \right)^2 + \left(\frac{1}{f_s} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(-\frac{n}{(f_s)^2} \right)^2 \cdot \left(\frac{gg_{f_s}}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (7)$$

Nakon adaptacije izraza (7) dobija se konačan izraz za kombinovanu mernu nesigurnost:

$$u(g) = \left[\left(\frac{1}{f_s} \frac{s_n}{\sqrt{k}} \right)^2 + \left(\frac{1}{f_s} \frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{\bar{n}}{f_s^2} \frac{gg_{f_s}}{\sqrt{3}} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (8)$$

Proširena merna nesigurnost je jednaka:

$$U(g) = k \cdot u(g) = 2 \cdot u(g). \quad (9)$$

U nastavku je data tabela 2 sa budžetom merne nesigurnosti za postavljene parametre vremena reakcije od 10 ms i vrednosti struje aktivacije od 30 mA na objektu etaloniranja - multifunkcijskom kalibratoru Time Electronics

TABELA 2
BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI ZA VREME REAKCIJE OD 10 ms

Simbol	Matematičko očekivanje	Standardna nesigurnost	Tip Merne nesigurnosti	Raspodela	Koeficijenti osetljivosti	Doprinos mernoj nesigurnosti
n	1008,5	0,428	A	Normalna	10,0E-6	4,3E-6
Δn	0	0,577	B	Uniformna (pravougaona)	10,0E-6	5,8E-6
f_s	100,0E+3					
Δf_s	0	0,577	B	Uniformna (pravougaona)	100,9E-9	58,2E-9
t_s	10,085E-3					7,19E-6
Standardna merna nesigurnost veličine t_s :				7,2	μs	
Proširena merna nesigurnost veličine t_s :				14,4	μs	

Vremenski interval t_s izmeren etalonskim mernim sistemom za postavljeno vreme reakcije od 10 ms je jednak:

$$t_s = \left(\frac{n + \Delta n}{f_s + \Delta f_s} \right), \quad (10)$$

$$t_s = (10,085 \pm 0,0144) \text{ ms}. \quad (11)$$

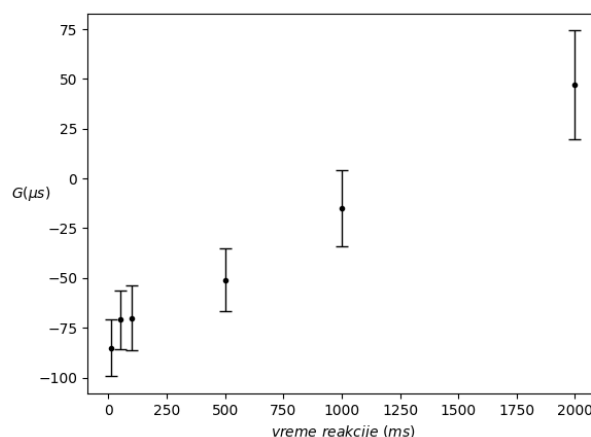
U tabeli 3 su prikazani parametri vremena reakcije postavljeni na objektu etaloniranja, greška merenja (razlika između vrednosti postavljene na objektu etaloniranja i vrednosti etalonskog sistema) i vrednosti odgovarajućih mernih nesigurnosti etaloniranja etalonskim mernim sistemom.

TABELA 3
PARAMETRI ETALONIRANJA VREMENA REAKCIJE

Postavljena vrednost vremena reakcije na TE 5030	Greška merenja vremena reakcije $t_x - t_s$	Merna nesigurnost merenja vremena reakcije etalonskim mernim sistemom
(ms)	(μs)	(μs)
10	-85	14,4
50	-71	14,8
100	-70	16,1
500	-51	15,8
1000	-15	19,1
2000	47	27,3

Na slici 4 je dat grafik na kojem je prikazana greška

merenja vremena reakcije sa pripadajućim vrednostima mernih nesigurnosti u funkciji od 6 različitih vrednosti vremena reakcije.



Sl. 4 Prikaz greške merenja vremena reakcije u funkciji 6 različitih postavljenih vrednosti vremena reakcije na kalibratoru Time Electronics 5030

V. ZAKLJUČAK

U radu je opisana realizovana merna metoda, hardver i firmver kao rešenje problema definisanog u uvodnom poglavlju.

U cilju validacije su izvršena merenja i ocenjena je merna nesigurnost etaloniranja vremenske reakcije Multifunkcijskog kalibratora Time Electronics 5030 u funkciji simulacije RCD uređaja.

Dobijeni rezultati potvrđuju zadovoljavajući ishod validacije primenjene metode etaloniranja uz dobijenu mernu nesigurnost etaloniranja vremena reakcije koja je 20 puta

manja od merne nesigurnosti postavljanja vremena reakcije na kalibratoru Time Electronics 5030.

Ovim je potvrđena opravdanost predložene metode etaloniranja i upotrebe realizovanog hardvera i firmvera.

DODATAK

Kod prekidne rutine realizovanog firmvera koja detektuje ivice signala i vrši upravljanje tajmerom je dat u nastavku.

```
void HAL_GPIO_EXTI_Callback (uint16_t GPIO_Pin)
{
    if (GPIO_Pin == GPIO_PIN_7)
    {
        HAL_TIM_Base_Stop(&htim5);
        cnt = __HAL_TIM_GET_COUNTER(&htim5);
        __HAL_TIM_SET_COUNTER(&htim5, 0);
        HAL_TIM_Base_Start(&htim5);
        memset( txt, 0, sizeof(txt));
        itoa(cnt, txt, 10);
        txt[strlen(txt)] = '\n';
        HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t *) txt,
                          strlen(txt), 1);
    }
    if (GPIO_Pin == GPIO_PIN_8)
    {
        HAL_TIM_Base_Stop(&htim5);
        HAL_TIM_SET_COUNTER(&htim5, 0);
        HAL_TIM_Base_Start(&htim5);
    }
}
```

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u sklopu projekta Inovativna naučna i umetnička isptivanja iz domena delatnosti FTN-a, broj: 451-03-9/2021-14/200156.

LITERATURA

- [1] S. Yang and Y. Chau, *Calibration of residual current device (RCD) testers*, NCSLI Measure, vol. 12, no. 4, pp. 28–37, 2018.
- [2] Time Electronics Ltd, *5030 Electrical Tester Calibrator*, User manual, July 2013.
- [3] STMicroelectronics, *Rm0090 reference manual - Rev.19*, Dostupno: <https://www.st.com/resource/en/referencemanual/dm00031020-stm32f405-415-stm32f407-417-stm32f427-437-and-stm32f429-439-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf>
- [4] C. Noviello, *Mastering STM32*, Leadpub, 2017
- [5] STMicroelectronics, *Description of STM32F4 HAL and low-layer drivers-rev.7*, Dostupno: <https://www.st.com/resource/en/usermanual/dm00105879-description-of-stm32f4-hal-and-ll-drivers-stmicroelectronics.pdf>, (2021)
- [6] JCGM, *Guide to the expression of uncertainty in measurement - Part 6: Developing and using measurement models*, First edition, 2020.
- [7] S. L. Ellison and A. Williams, *Quantifying uncertainty in analytical measurement*, 2012.
- [8] JCGM., *Evaluation of measurement data - guide to the expression of uncertainty in measurement*, Int. Organ. Stand. Geneva ISBN, vol. 50.p. 134, 2008.

ABSTRACT

This paper describes the development and validation of a measurement method for calibration of the reaction time of residual current devices (RCD), as one of the functions of the Multifunctional Electrical Tester Calibrator Time Electronics 5030. The method was developed to complete a system of measurement methods that are used for calibration of all multifunction calibrator functions for testing the safety of electrical installations. Dedicated firmware and hardware have been developed for this purpose. It has been shown theoretically and experimentally that proposed method can be successfully applied to calibrate the reaction time of an RCD device. The measurement uncertainty of the realized measuring system is twenty times smaller than the measurement uncertainty of setting the reaction time of the RCD within the multifunction calibrator.

Method for Calibration of Multifunction Electrical Tester Calibrator

Đorđe Novaković, Nemanja Gazivoda, Dragan Pejić, Marjan Urekar, Ivan Gutai, Zdravko Gotovac

Automatizacija etaloniranja digitalnih multimetara

Branislav Lukić, Đorđe Novaković, Nemanja Gazivoda, Platon Sovilj, IEEE member

Apstrakt—U radu je opisan detaljan postupak realizacije jednog od rešenja automatizacije procesa etaloniranja digitalnih multimetara pomoću kalibratora Times Electronics 5025. Za realizaciju aplikacije za etaloniranje digitalnih multimetara korišten je programski jezik Pajton sa Qt frejmworkom.

Ključne reči— automatizacija, etaloniranje, Pajton, Qt designer.

I. UVOD

U ovom radu je predstavljeno jedno rešenje automatizacije procesa etaloniranja digitalnih multimetara pomoću aplikacije razvijene u programskom jeziku Pajton.

Oprema kojoj je potreba kalibracija se šalje u metrološku laboratoriju, gde će je kvalifikovani tehničar prilagoditi specifikacijama ili potvrditi da ih već ispunjava, koristeći merne/ispitne instrumente koji i sami moraju ispunjavati stroge zahteve za kalibraciju. Većina komponenata koje se koriste u industriji se može kalibrirati.

Uzimajući u obzir značajno velike cene trenutno dostupnih aplikacija na tržištu za kalibraciju i upravljanje kalibratorom, motivacija za izradu ovog rada je bila da se napravi finansijski pristupačna aplikacija koja će zadovoljavati određene standarde koji su potrebni.

Delovi od kojih se projekat sastoji su:

- A. Kalibrator Times Electronics 5025
- B. Blok šema
- C. Pajton biblioteke
- D. Algoritam aplikacije
- E. Izgled aplikacije
- F. Rezultati merenja

Branislav Lukić – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: lukic.branislav97@gmail.com).

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

Nemanja Gazivoda – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: nemanjagazivoda@uns.ac.rs).

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

II. TEHNIČKO REŠENJE

A. Kalibrator Times Electronics 5025

Times Electronics 5025 je precizni kalibrator dizajniran za široku upotrebu. Ovaj kalibrator može da kalibriše razne instrumente i uređaje kao što su merila frekvencije, ommetre, AC-DC voltemetre, termoparove, PT sonde, strujna klešta i mnoge druge merne uređaje.

Dodavanjem posebnih opcija, možemo kalibrirati osciloskope, tajmere/brojače, vatmetre i još mnogo toga.



Slika1. Times Electronics 5025 multi-function calibrator

Funkcijama i opsezima kalibratora se upravlja sa prednje ploče. Na prednjoj ploči se nalaze tasteri za izbor funkcija i podešavanje opsega veličina. Sve ove informacije su prikazane na LED displeju.



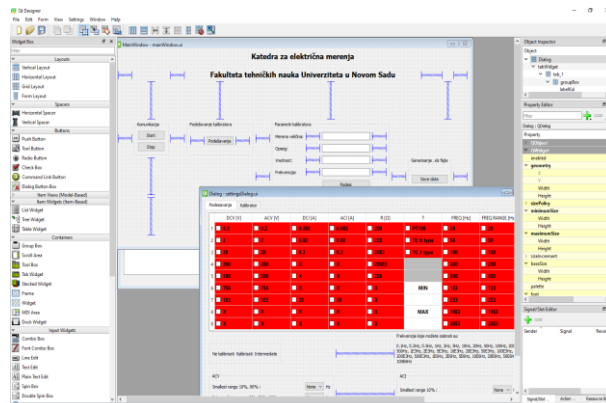
Slika2. Ručno podešavanje izlaza kalibratora

Kalibrator 5025 pored lokalnog upravljanja, ima mogućnost upravljanja preko računara posredstvom RS232 komunikacionog protokola.

Komade za upravljanjem kalibratorom prate SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) standard. SCPI standard definiše sintaksu i naredbe koje se koriste za upravljanje programabilnih uređaja za ispitivanje i merenje, kao što su oprema za automatsko ispitivanje i elektronska oprema za testiranje. Preko SCPI komandi se postavljaju opsezi instrumenta, uključuju izlazi itd.

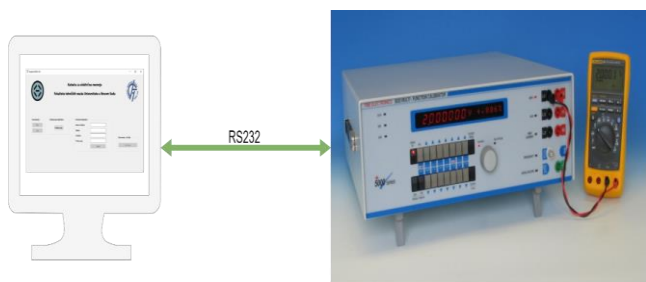
Pored ovih komandi, postoje komande za upite. Pomoću komandi za upit se prikupljaju informacije sa instrumenta. Neke komande mogu istovremeno da postavne neku vrednost i postavne upit instrumentu.

Sve ove mogućnosti koje pruža kalibrator 5025, dovele su do razvoja aplikacije za automatizaciju procesa etaloniranja digitalnih multimetara.



Slika4. Izleg glavnog prozora QtDesigner-a

B. Blok šema



Slika3. Blok šema sistema

Na slici 3 je prikazana blok šema celokupnog sistema.

Sistem se sastoji iz dva dela. Prvi deo je računar sa aplikacijom za kalibrisanje sa operativnim sistemom Windows ili Linux, a drugi deo je kalibrator sa multimetrom koji se etalonira.

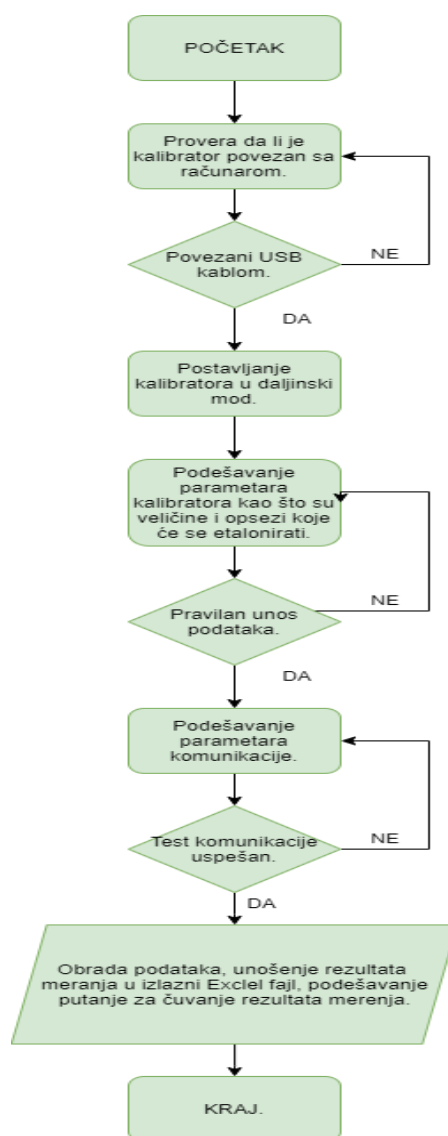
Ova dva dela su povezana pomoću RS232 komunikacionog protokola. DB9 konektor koji se nalazi na kalibratoru je pomoću adaptera prilagođen na USB radi uspostavljanja komunikacije sa računarem.

C. Pajton biblioteke

Qt je besplatan alat za pravljenje grafičkih korisničkih interfejsa (GUI) koji mogu raditi na raznim operativnim sistemima kao što su Windows, Linux, macOS i Android.

PyQt5 je biblioteka koja omogućava korištenje Qt GUI frejmvorka i Pajtona. Sam Qt je napisan u C++ programskom jeziku. Koristeći ga iz Pajtona, nudi nam mogućnost znatne uštede vremena u izradi aplikacije, a da pri tome ne izgubimo brzinu koji nam omogućava C++ .

D. Algoritam aplikacije



Slika5. Algoritam podešavanja tačaka merenja i parametara komunikacije

Prvi korak algoritma se sastoji od provre povezanosti kalibratora I računara USB kablom. Ukoliko provera uspešno prođe prelazi se na drugi korak. Drugi korak algoritma postavlja kalibrator u daljinski mod. Treći korak algoritma se satoji od podešavanja parametara kalibratora kao što su merene veličine, opsezi, i provere ispravnosti unesenih podataka. Ako provera ispravnosti podataka prođe bez greške, dolazi se do drugog koraka gde se podešavaju parametri komunikacije. Ako je komunikacija uspešno uspostavljena, dolazi se do koraka za obradu podataka gde se generiše izlazni fajl sa rezultatima merenja.

Nakon izvršenih svih merenja dolazi se do kraja algoritma.

E. Izgled aplikacije (GUI)

Glavni prozor



Slika6. Prikaz glavnog prozora aplikacije

Glavni prozor se satoji od četiri grupe opcija.

Prvu grupu čini taster "Podešavanje" koje služi za podešavanje parametara kalibratora i generisanje mernih tačaka za izabrane veličine koje će se kalibrisati.

Drugu grupu predstavljaju tastere za početak („Start“) i prekidanje („Stop“) komunikacije aplikacije sa kalibratorom 5025. Na taster „Start“ i „Stop“ nije moguće kliknutu pre nego što se podese parametri komunikacije kao što su port, brzina prenosa, bitovi podataka, stop bit, bit parnosti.

Treću grupu čine parametri kalibratora i taster „Podesi“. Parametre kalibratora predstavljaju:

- Merena veličina: DCV, ACV, DCI, ACI, RES, TEMP, FREQ
- Opseg
- Vrednost: $\pm 10\%$, $\pm 50\%$, $\pm 90\%$ od opsega
- Frekvencija

U četvrtu grupu opcija spada taster „Save data“ koje klikom na njega generiše Excel fajl sa izmerenim podacima koje je operater unosio tokom merenja.

Prozor za podešavanje

Klikom na taster „Podešavanje“ koje se nalazi na glavnom prozoru otvara se novi prozor (slika 7) iz koga se biraju veličine koje će se kalibrisati kao i postavljanje parametara

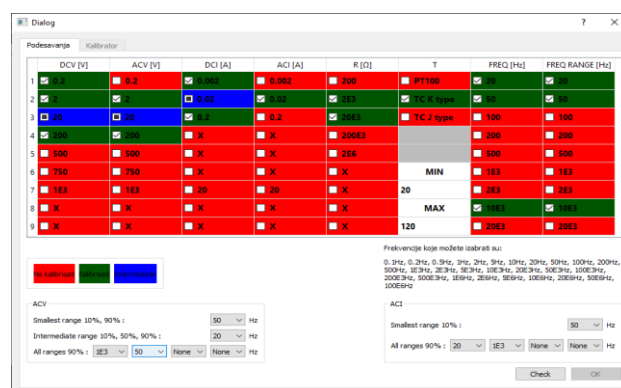
potrebnih za uspostavljanje komunikacije aplikacije sa kalibratorom.

Desnim klikom na polje u tabeli se odabiraju opsezi na kojima će se vršiti kalibracija. Boja polja u tabeli predstavlja informaciju da li se na tom opsegu vrši kalibracija. Crvena boja znači da taj opseg nije odabran, zelena boja daje informaciju da je opseg odabran i plava boja predstavlja srednji opseg.

Pored opsega, za veličine naizmenični napon i naizmeničnu struju se moraju izabrati frekvencije na kojima će se vršiti kalibracija.

Kada se kalibriše senzor za temperaturu, mora se uneti minimalna i maksimalna temperatura senzora koju on meri.

Na slici 7 prikazan je prozor za podešavanje parametara u kome su izabrane vrednosti koje će biti kalibrisane.



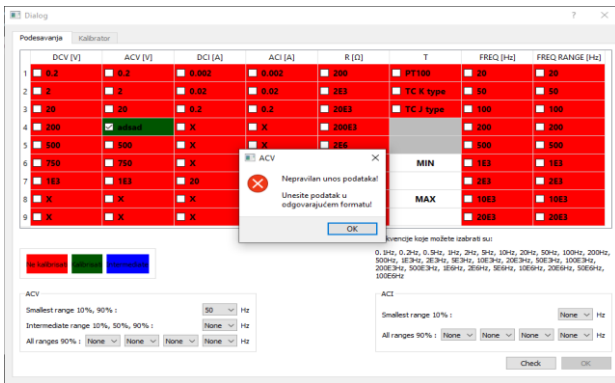
Slika7. Vrednosti i opsezi koji će biti kalibrisani

Kada su izabrane veličine, opsezi i frekvencije na kojima će se vršiti kalibracija digitalnog multimetra, korisnik mora proveriti ispravnost unesenih podataka. To se radi klikom na „Check“ taster.

U slučaju da je došlo do nepravilnosti kao što su:

- Nepravilan unos podataka (podatak za opseg veličine se unosi u decimalnom ili u naučnom (eksponencijalnom) formatu 1E3)
- Neizabrane frekvencije ACV i ACI
- Izabrano dva ili više „intermediate“ opsega

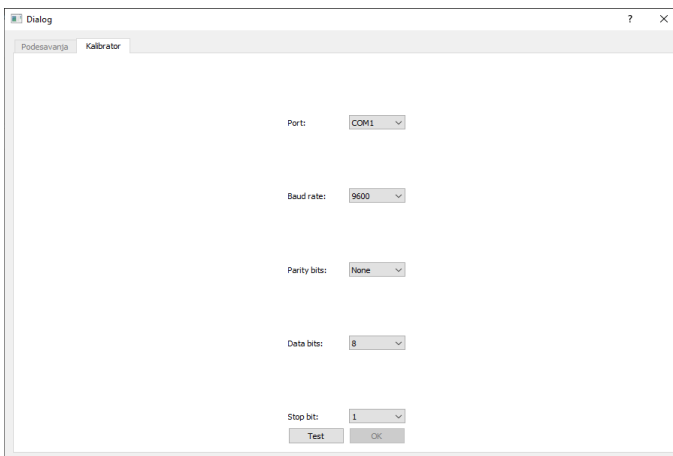
Iskočiće prozor sa upozorenjem o grešci kao na slici 8. Tek kada svi podaci budu prošli proveru „Check“ tasterom, moguće je preći na sledeći korak.



Slika8. Greška pri unosu podataka

U poruci greške se nalaze informacije o koloni u tabeli u kojoj je nastala greška i o tipu greške radi lakšeg otklanjanja nastalih grešaka.

Ukoliko provera unesenih podataka prođe bez grešaka, taster „OK“ se odledi. Klikom na taster „OK“ prelazi se na sledeći tab „Kalibrator“ prikazan na slici 9.



Slika9. Tab za podešavanje parametara komunikacije

U ovom tabu se se postavljaju parametri za uspostavljanje komunikacije kao što su port, brzina prenosa, bit parnosti, bitovi podataka i stop bit. Takođe, u ovom tabu se nalazi taster „Test“ za proveru fizičke povezanosti aplikacije i kalibratora.

U slučaju da dođe do greške prilikom testa, „Test“ taster će promeniti boju u crvenu i pojaviće se prozor sa porukom o grešci. U tom slučaju korisnik mora proveriti kabl sa kojim su povezani računar i kalibrator ili povezati se na drugi port.

Početak kalibracije

Kada korisnik pokrene komunikaciju, proces kalibracije počinje. Klikom na taster „Podesi“, koje se nalazi na glavnom prozoru, se postavljaju opsezi i vrednosti merene veličine na kalibratoru.

Pre nego što se uključi izlaz kalibratora, pojaviće se prozor sa slikom na kojoj su obeleženi ulazi na kalibratoru na koje se digitalni multimetar treba spojiti.

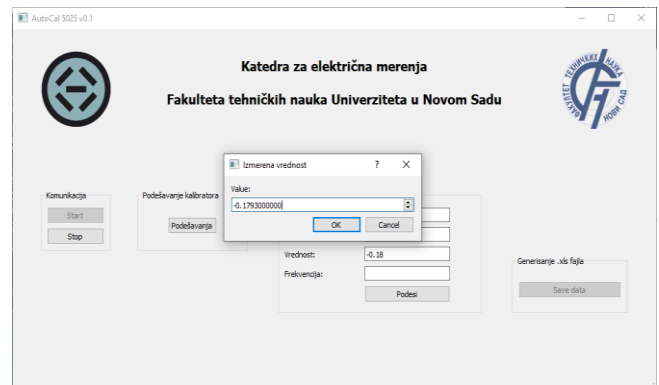
Ovo dodatno osigurava digitalni multimetar od fizičkog oštećenja usled neadekvatnog povezivanja.



Slika10. Povezivanje instrumenta na izlaze kalibratora

Pored ove poruke, u slučaju kada se mere naponi veći od 200 V i struje od 20 A, kalibrator će dati upozorenje zvučnim signalom koji laborantu nagoveštava da obrati pažnju pošto se radi sa visokim naponima i strujama.

Kada korisnik izmeri sve merne veličine i opsege koje je izabrao, otvoriće se prozor sa porukom o tome da je završeno merenje.



Slika11. Prozor za unos izmerenih vrednosti

Rezultati merenja

Kada korisnik završi merenja, taster „Save data“ se odledi i klikom na njega se generiše Excel dokument sa izmerenim podacima. Dokument se nalazi u folderu gde je instaliran program. Laborant na kraju merenja unosi dokument sa rezultatima merenja u bazu podataka.

Ime datoteke u kome je sačuvan Excel fajl je datum i vreme kalibracije multimetra. Trenutna verzija aplikacije nema opciju podešavanja putanja za čuvanje podataka.

Excel tabela se sastoji od pet kolona

- Pokazivanje instrumenta
- Opseg instrumenta
- Očitana vrednost sa instrumenta
- G (Greška)
- U (Proširena ($k=2$) merna nesigurnost etaloniranja koju korisnik ručno unosi)

Instrument	Opseg instrumenta	Očitana vrednost sa instrumenta	G	U
0	2000	0	0	0
200	200	200	0	0
1800	1800	1800	1	1
2000	20000	2000	0	0
18000	17998	17998	-13	13
20000	20000	20000	0	0
200000	19990	19990	-90	90
2000000	1999000	1999000	-1400	1400

Slika12. Excel tabela sa rezultatima merenja otpornosti

III. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljeno jedno rešenje aplikacije za automatizaciju kalibracije digitalnih multimetara.

Aplikacija doprinosi efikasnosti procesa kalibracije u smislu uštede vremena kao i jednostavnijem podešavanju parametara kalibratora.

Aplikacija je pisana u programskom jeziku Pajton uz korištenje biblioteka za „GUI“ programiranje. Korištenje frejmworka „QtDesigner“ za izradu „GUI“ aplikacije je dovelo

do značajnog smanjenja pisanja koda kao i uštede vremena za izradu aplikacije.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru Platonu Sovilju, Nemanji Gazivodi i Đorđu Novakoviću na podršci i pomoći prilikom izrade ovog rada, kao i svim kolegama sa Katedre za električna merenja.

LITERATURA

- [1] <https://doc.qt.io/qt-5/qt designer-manual.html>
- [2] <https://www.timeelectronics.com/multifunction-calibrators/5025e-multifunction-calibrator/>
- [3] https://www.timeelectronics.com/assets/upload/download_centre/documents/5025-series-brochure_hr
- [4] https://www.euramet.org/Media/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-15_v_2.0_Guidelines_Calibration_Digital_Multimeters.pdf
- [5] <https://docs.python.org/3.8/>

ABSTRACT

Abstract – The paper describes the detailed procedure for the implementation of one of the solutions for automating the process of calibration of digital multimeter using the Times Electronics 5025 calibrator. The main goal of this application is to simplify the procedure of calibration and to save time, besides that it is affordable if we compare it with applications on the market. For the implementation of application the Python programming language with QT framework was used.

Automation of digital multimeter calibration

Branislav Lukić, Đorđe Novaković, Nemanja Gazivoda, Platon Sovilj

Razvoj merno-informacionog sistema za podršku pri etaloniranju temperaturnih sonde

Aleksandar Dimitrijević, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*, Nemanja Gazivoda, *Member, IEEE*

Apstrakt— U ovom radu je opisan postupak automatizacije procesa etaloniranja temperaturnih sonde. Prikazan je način izrade aplikacije, implementacija određenih rešenja za sprečavanje grešaka, kao i algoritam po kojem se kod izvršava. Akcenat je stavljen na pojednostavljenju rada operatera. Uzete su u obzir konsultacije sa više korisnika čime se težilo optimalnom rešenju kako izgleda, tako i funkcionalnosti same aplikacije. Za realizaciju aplikacije korišćen je programski jezik Pajton sa QT frejmworkom.

Glavne reči— proces etaloniranja; kalibracija; merenje temperature; automatizacija; temperaturne sonde.

I. UVOD

Primena savremenih uređaja u industriji, medicini, domaćinstvu, poljoprivredi i gotovo svim drugim oblastima zahteva precizno merenje kao i regulaciju temperature. Merenjem temperature dobijamo uvid i vršimo uticaj na rad uređaja, pa samim tim i na funkcionisanje sistema. Merenje temperature omogućava predviđanje havarije i pre nego što se ona desi. Zbog toga je jako bitno da uređaji budu permanentno održavani (kalibrisani, etalonirani), odnosno održavani tako da uvek daju relevantne rezultate.

Sam proces etaloniranja temperaturnih sonde zasniva se na očitavanju dobijenih vrednosti nakon uspostavljenog ravnotežnog stanja zadate temperature i temperaturne sonde. Imajući u vidu da je temperatura sporo promenljiva veličina u sam proces etaloniranja uvodi se automatizacija. Automatizacija olakšava rad korisniku na taj način što ne zahteva njegovo prisustvo tokom odvijanja procesa etaloniranja. Samim tim smanjuje verovatnoću za grešku i ubrzava proces.

II. TERMOPAROV

Senzore temperature delimo na: ekspanzione, termootporničke, termistore, termoparove, termootporničke senzore od pt-žice, diodne itd. U radu se obrađuju termoparovi i termootpornički senzori od pt-žice koji imaju

Aleksandar Dimitrijević – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: adimitrijevic22@gmail.com).

Platon Sovilj - Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: nemanjagazivoda@uns.ac.rs).

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

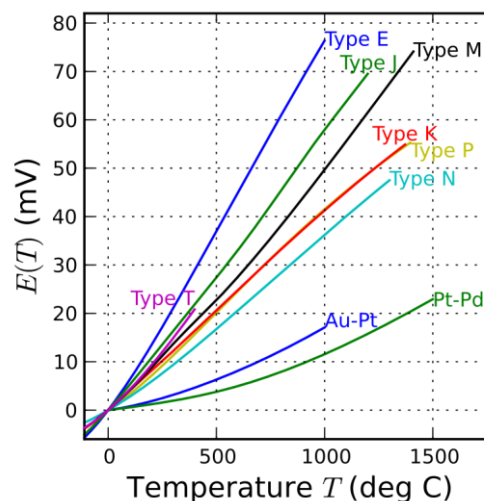
Nemanja Gazivoda – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

najmasovnije primenu.

Termoparovi imaju veoma široku primenu u nauci i industriji. Koriste se u sušarama, silosima i u svim segmentima gde je neophodno precizno meriti temperature. Princip rada termoparova zasniva se na *Sibekovom efektu* koji opisuje nastajanje elektromotorne sile između dva različita metala ili njihovih legura. Dobijena elektromotorna sila je proporcijalna razlici između temperature krajeva. Za potrebe očitavanja temperature ne treba nikakav spoljni oblik pobude. Opseg u kojima mogu da mere temperature i izgled karakteristike strogo zavisi od materijala.

Termopar tipa K je najčešći termoelement u upotrebi sa osetljivošću od $28 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ do $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Jedna od mnogobrojnih prednosti je to što se može naći u širokom spektru opsega temperature. Funkcija kojom se opisuje zavisnost elektromotorne sile u odnosu na temperaturu zadata je od strane NIST-a (*National Institute of Standards and Technology*). Funkcija je aproksimirana polinomom devetog reda na punom opsegu temperature termopara tipa K (od -200°C do 1100°C).

$$T = d_0 + d_1v + d_2v^2 + \dots + d_7v^7 + d_8v^8 + d_9v^9 \quad (1)$$



Sl. 1. Grafički prikaz zavisnosti napona od temperature termoparova

Međutim primenom NIST-ovog polinoma sa deset koeficijenata dobija se promenljiva greška u zavisnosti od izabranog opsega. Ovako dobijena greška pravilnim odabirom koeficijenata u najboljem slučaju može se svesti na

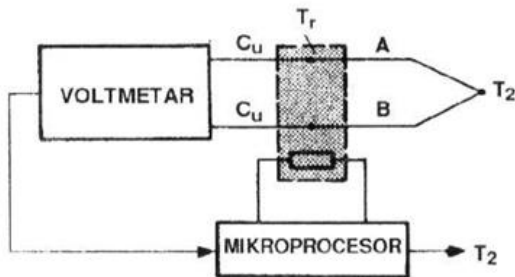
maksimalnu vrednost od 0,05 °C. S obzirom da se korišćenjem ovog polinoma ne dobija ista greška na svim opsezima temperature, pribegava se sužavanju opsega na potrebne relacije. Čime se greška znatno smanjuje.

Za proračun vrednosti elektromotorne sile u temperaturu biće korišćena racionalna aproksimacija polinomalne funkcije svedena na odnos dva polinoma manjeg reda umesto jednog polinoma većeg reda.

$$T = T_0 + \frac{(v-v_0)(p_1+(v-v_0)(p_2+(v-v_0)(p_3+p_4(v-v_0))))}{1+(v-v_0)(q_1+(v-v_0)(q_2+q_3(v-v_0)))} \quad (2)$$

Ubacivanjem koeficijenata u jednačinu vezanih za određeni temperaturni opseg greška se svodi na maskimalno moguće odstupanje od ±0,002 °C, što govori o tome da ova metoda daje višestruko tačnije rezultate merenja za specifičan temperaturni opseg.

Imajući u vidu prethodno navedene osobine termopara, za merenje koje će biti realizovano projektom neophodno je izvršiti kompenzaciju hladnog kraja termopara. Naziv metode je softverska kompenzacija hladnog kraja termopara. Preciznije rečeno u laboratorijskim uslovima moguće je obezbediti propisane uslove za realizaciju merenja, međutim sve više se pribegava merenju temperature hladnog spoja (referentnog kraja) sa drugim senzorom temperature (najčešće NTC ili PTC otpornikom). Nakon izmerene temperature hladnog spoja koristi se inverzna transformacija funkcije za proračun temperature na osnovu koje će se dobiti vrednost elektromotorne sile koju hladan spoj generiše. Kompenzacija se vrši samo ukoliko je temperature hladnog kraja različita od 0 °C.



Sl. 2. Šema za kompenzaciju hladnog kraja termopara

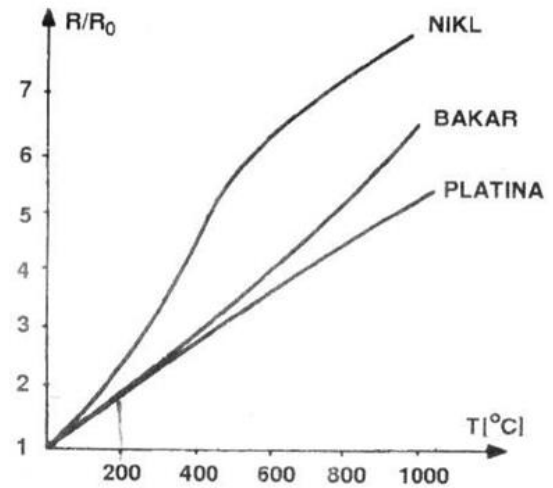
Formula za proračun napona hladnog kraja termopara:

$$v_{cj} = v_0 + \frac{(v-v_0)(p_1+(T_{cj}-T_0)(p_2+(T_{cj}-T_0)(p_3+p_4(T_{cj}-T_0))))}{1+(T_{cj}-T_0)(q_1+q_2((T_{cj}-T_0)))} \quad (3)$$

gde je v_{cj} proračunati hladni kraj, T_{cj} temperature hladnog spoja, dok su T_0 , v_0 , p_1 , p_2 , p_3 , p_4 , q_1 , q_2 koeficijenti koji zavise od temperaturnog područja merenja.

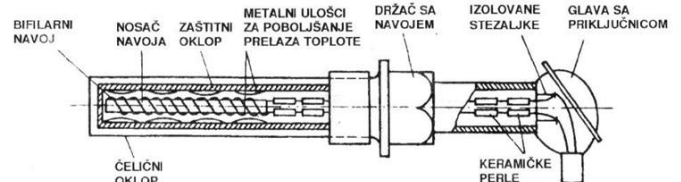
III. TERMOOTPORNIČKI SENZORI

Termootpornički senzori ili RTD senzori su otporni elementi koji menjaju otpor u zavisnosti od temperature. Zbog dobre karakteristike koriste se za precizno merenje temperature sa tačnošću ispod 0,1 °C. Senzor predstavlja obmotanu žicu oko keramičkog ili staklenog jezgra. Žica se izrađuje od platine čija je čistoća 99,999%, ali može biti i od nikla ili bakra.



Sl. 3. Izgled karakteristika termootporničkih senzora u zavisnosti od materijala

Vrednost otpora na temperaturi od 0 °C je 100 Ω ili 1000 Ω pa odatle nazivi Pt100, Pt 1000, Cu 100, Ni 100 itd. Opseg temperature u kojem se senzor može naći je od -200 °C do 850 °C (maskimalno 1500 °C), dok je opseg otpornosti od 10 Ω do 25 kΩ.



Sl. 4. Izgled termootporničkog senzora

Relacija između otpora platinskog senzora i temperature opisuje se *Callendar-Van Dusen* jednačinom (CDV).

Jednačina za proračun otpornosti u korelaciji sa temperaturom manjom od 0 °C:

$$R_{RTD} = R_0 (1 + AT + BT^2 + (CT^3 (T - 100))) \quad (4)$$

Jednačina za proračun otpornosti u korelaciji sa temperaturom većom od 0 °C:

$$R_{RTD} = R_0 (1 + AT + BT^2) \quad (5)$$

Za potrebe projekta neophodna je funkcija koja zavisi od izmerenog otpora. Za dobijanje te funkcije radi se inverzna transformacija jedne od jednačina.

IV. TEHNIČKO REŠENJE

A. Instrumentacija

Multimetar FLUKE 8846a je 6 ½ cifarski digitalni multimetar sa dvostrukim ekranom dizajniranim za potrebe laboratorije, rad na terenu i ubacivanje u sistemske aplikacije. Posедуje nekoliko interfejsa za komunikaciju kao što su RS-232, IEEE 488 i Ethernet protokol. Ethernet protokol ove uređaje čini idealnim kandidatima za precizna merenja i upotrebu u automatizovanim sistemima.

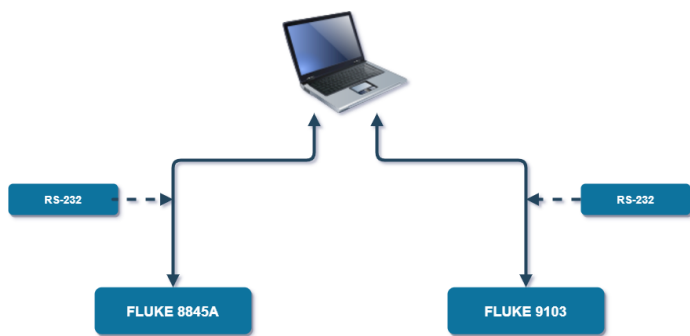
Karakteristike multimetra potrebne za projekat:

- Četvorožično merenje otpornosti
- Merenje jednosmernog napona
- RS-232 komunikacija

Suvi temperaturni kalibrator FLUKE 9103 može se koristiti kao prenosivi instrument za kalibraciju termoparova i RTD temperaturnih sondi. FLUKE 9103 je dovoljno male veličine za upotrebu na terenu takođe i dovoljno tačan za upotrebu u laboratoriji.

Karakteristike kalibratora potrebne za projekat:

- RS-232 protokol
- Univerzalni AC ulaz
- Kontrola brzine skeniranja temperature
- Mogućnost očitavanja u °C ili °F
- Pamćenje osam poslednjih zadatih vrednosti temperature



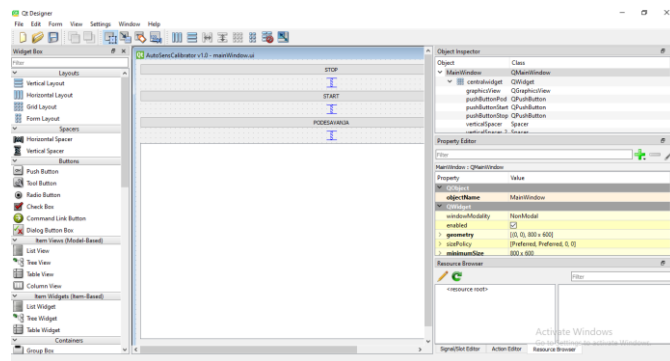
Sl. 5. Blok šema sistema

B. Pajton biblioteke

Za razvoj ove aplikacije korišćen je Pajton programski jezik koji je danas veoma popularan. Kroz Pajton se može izvršavati kod koji obavlja jednostavne operacije kao što je sabiranje brojeva pa sve do vrlo kompleksnih operacija koje opisuju ceo jedan sistem.

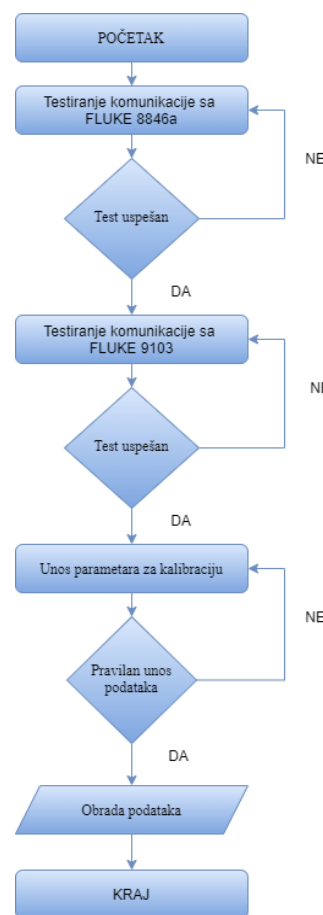
Pajton biblioteka PyQt5 omogućava korišćenje Qt GUI frejmvorka. Qt je napisan u C++ programskom jeziku. Kada se koristi u simbiozi sa Pajtonom daje znatnu uštedu vremena

tokom izrade korisničkog dela aplikacije, a pritom ne gubi na brzini koju pruža C++.



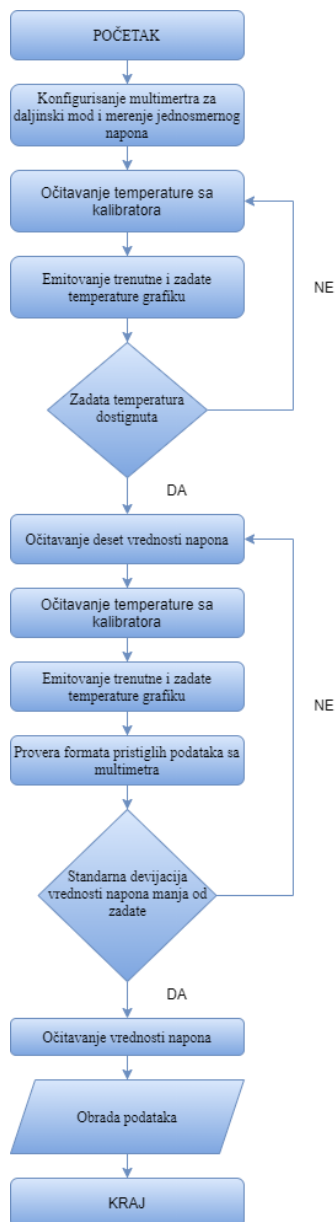
Sl. 6. Izgled glavnog prozora Qt dizajnera

C. Algoritam aplikacije



Sl. 7. Algoritam za podešavanje komunikacije i parametara kalibracije

Prikazani algoritam je uvodni algoritam za pravilnu konfiguraciju komunikacije i parametara kalibracije. Algoritam vodi korisnika kroz proces ne dozvoljavajući mu da preskoči neki korak i time na bilo koji način ugrozi merenje. Algoritam se izvršava pritiskom na taster „Podešavanja“. Sl. 10.

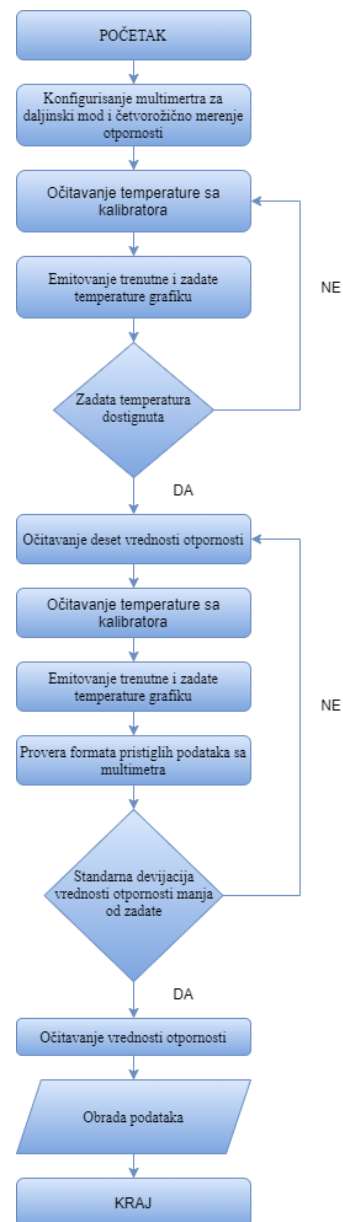


Sl. 8. Algoritam toka kalibracije za termopar tipa K

Prvi korak algoritma toka kalibracije za termopar tipa K prebacuje multimetar u daljinski režim rada i konfigurira ga za merenje jednosmernog napona sa automatskom promenom opsega i potrebnom rezolucijom. Tokom kalibracije aplikacija neprekidno dobija informaciju o trenutnoj temperaturi suvog temperaturnog kalibratora čiju vrednost emituje na grafiku.

Prvi uslov koji vodi ka tačnom očitavanju vrednosti napona koju termopar daje je stabilizacija temperature kalibratora. To se obezbeđuje na taj način što se u određenom vremenskom periodu traži informacija o njegovoj temperaturi. Ukoliko su tri uzastopne vrednosti očitane temperature jednake zadatoj algoritam se nastavlja, u suprotnom proces se ponovo izvršava.

Drugi uslov je provera standardne devijacije deset uzastopnih merenja vrednosti napona dobijenih u kratkom vremenskom periodu za zadato odstupanje.



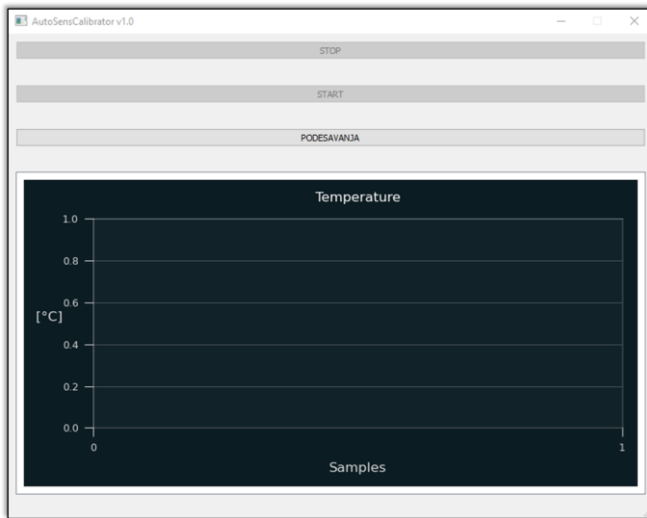
Sl. 9. Algoritam toka kalibracije za temperaturne sonde Pt100 i Pt 1000

Prvi korak algoritma toka kalibracije za RTD temperaturne sonde prebacuje multimetar u daljinski režim rada i konfigurira ga za četvorožično merenje otpornosti sa automatskom promenom opsega i potrebnom rezolucijom. Tokom kalibracije aplikacija neprekidno šalje upit za trenutnu vrednost temperature suvog temperaturnog kupatila koju emituje na grafik. Prvi uslov koji vodi ka tačnom očitavanju vrednosti otpornosti koju RTD daje je stabilizacija temperature kalibratora. To se obezbeđuje na taj način što se u određenom vremenskom periodu traži informacija o njegovoj temperaturi. Ukoliko su tri uzastopne vrednosti očitane temperature jednake zadatoj algoritam se nastavlja, u suprotnom proces se ponovo izvršava.

Drugi uslov je provera standardne devijacije deset uzastopnih merenja otpornosti dobijenih u kratkom vremenskom periodu za zadato odstupanje.

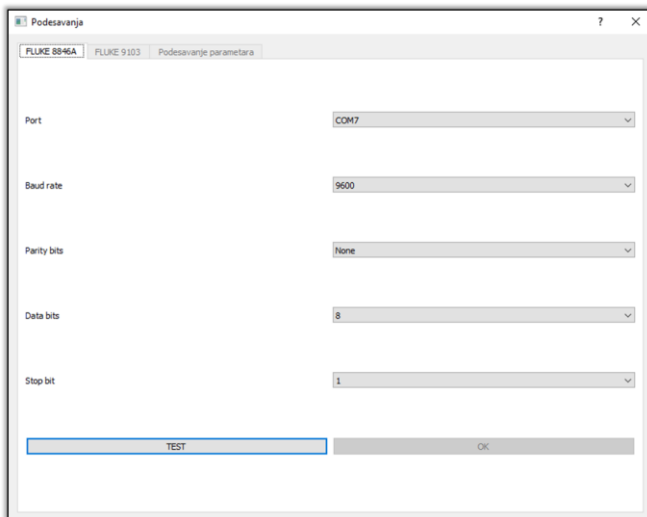
D. Izgled aplikacije

Korišćenjem metoda i podataka iz prethodnih poglavlja izrađena je aplikacija za kalibraciju temperaturnih senzora (AutoSensCalibrator).



Sl. 10. Početni prozor aplikacije

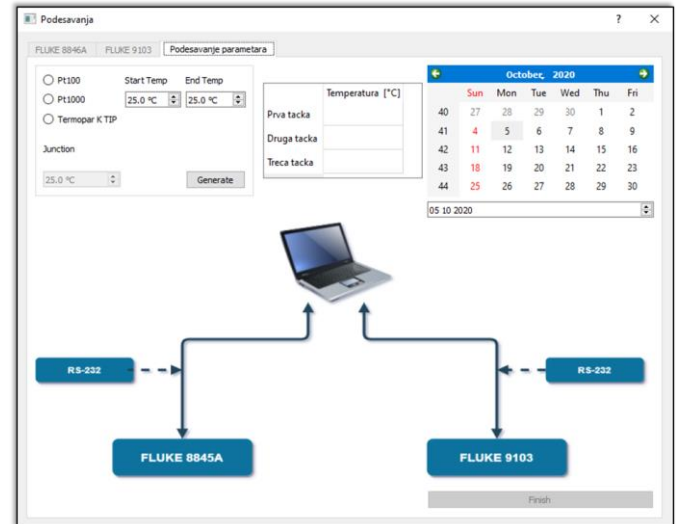
Na Sl. 10. prikazan je početni prozor i elementi koji se na njemu nalaze. Prozor se sastoji od tri tastera: „Start“, „Stop“ i „Podešavanja“. Takođe na istom prozoru je postavljen i grafik (grafik prikazuje trenutnu i zadatu temperaturu kao i kompletnu karakteristiku kalibracije).



Sl. 11. Podešavanje komunikacije sa uređajima

Sl. 11. prikazuje prvi prozor za podešavanje komunikacije sa uređajima. Na tabu FLUKE 8846a prikazana je mogućnost podešavanja parametara za komunikaciju (PORT, BAUD RATE, PARITY BITS, DATA BITS i STOP BIT) i taster „TEST“ za testiranje komunikacije. Pritisak na taster „OK“ se omogućava tek nakon uspešnog završetka testa.

Tab FLUKE 9103 prikazuje podešavanja komunikacije sa suvim temperaturnim kalibratorom FLUKE 9103. Prikazana je mogućnost podešavanja parametara za komunikaciju (PORT, BAUD RATE, PARITY BITS, DATA BITS i STOP BIT).



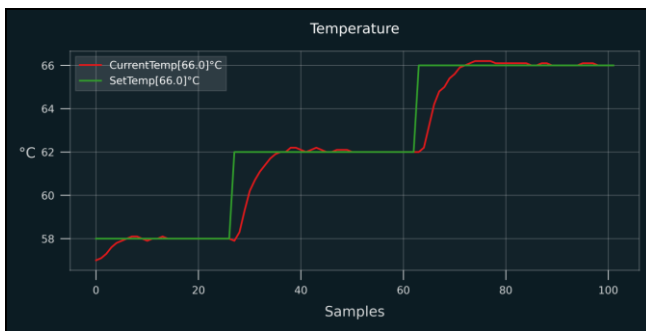
Sl. 12. Podešavanje parametara za kalibraciju

Na Sl. 13. prikazan je izbor tipa temperaturne sonde, temperaturnog opsega na kojoj će se vršiti kalibracija i vrednost temperature hladnog kraja. Nakon unosa, klikom na taster „Generate“ tabela se popunjava vrednostima tri zadate temperature. Klikom na „Finish“ taster završava se proces podešavanja i aplikacija je spremna za kalibraciju.

E. Primer izlazne datoteke

Etalon		OB		Obrada rezultata	
Ts °C	TOEems mV	TOEconv °C	G °C	U °C	
58	1.059	52.64	-5.36		
62	1.202	56.11	-5.89		
66	1.357	59.86	-6.14		
OE	Objekt etalovanja				
Ts	Temperatura etalonskog sistema				
TOEems	Pokazivanje OE u vrednosti elektromotorne sile				
TOEconv	Konverzijom dobijeno pokazivanje OE u °C				
G	Greška OE				
U	Proširena (k=2) merna nesigurnost etalovanja				
Merna nesigurnost iskazana u ovom Uverenju 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 %.					
- Kraj Uverenja -					

Sl. 12. Primer izlazne excel datoteke za termopar tipa K



Sl. 13. Primer izlazne datoteke grafičkog prikaza toka snimanja karakteristike

Nakon završetka kalibracije aplikacija generiše datoteku koja sadrži excel tabelu sa karakteristikama temperaturene sonde i grafikom celokupnog toka kalibrisanja.

V. ZAKLJUČAK

Izrada teme zahtevala je sukcesivan i kontinuiran rad. Sva poglavlja su uzročno posledično povezana. Bez kompleksnog i korektnog završetka poglavlja nije se moglo preći na sledeće. To ukazuje na činjenicu da je svako poglavlje na neki način celina za sebe i da zahteva ozbiljnu pažnju i obradu.

Projektovana aplikacija nalazi primenu u svakoj oblasti gde se primenjuju temperaturene sonde ovakvog tipa olakšavajući i davajući preglednost urađene kalibracije. Aplikaciju karakteriše lako rukovanje i kompatibilnost sa velikim brojem platformi.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru Platonu Sovilju, Đorđu Novakoviću i Nemanji Gazivodi na podršci i pomoći prilikom izrade ovog rada, kao i svim kolegama sa Katedre za električna merenja.

LITERATURA

- [1] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Termopar>
- [2] <http://rdecontrol.com/thermocouples/rtds-101/temperature-calculations/>
- [3] <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/temperature-measurement/thermocouple/calibration-table#computing-cold-junction-voltages>
- [4] <https://people.vts.su.ac.rs/~gogolak/files/SzenzAkt/SR5SEN.pdf>
- [5] <https://srdata.nist.gov/its90/main/>
- [6] http://download.flukecal.com/pub/literature/884xa_umeng0300.pdf
- [7] https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/2748044_6200_ENG_B_W_1.PDF?1kZ6Cz1sOIhOLrBJgeT2Qn8Oot4YX2gM
- [8] FLUKE 8845A/8846A Digital Multimeter-Programers Manual
- [9] FLUKE 9103 Dry-Well User's Guide

ABSTRACT

This paper describes the automation of the temperature probes calibration process. Here are presented the method of application development, the implementation of certain solutions for error prevention, and the code execution algorithm. The paper focuses on simplifying the work of operators. In consultation with several users, the goal was to find the optimal solution for the appearance and the functionality of the application itself. Python programming language with QT framework was used for the realization of the application.

Uređaj za ispitivanje tačke rose

Zdravko Gotovac, Rade Peranović, Dragan Pejić, *Member, IEEE*, Platon Sovilj, *Member, IEEE*

Apstrakt—U ovom radu upoznaćemo se sa dizajniranjem i programiranjem jednog kompaktnog akvizicionog sistema koji se koristi u svrhe nadgledanja tačke rose. Upotrebom dostupnih i cenovno pristupačnih tehnologija moguće je napraviti akvizicioni sistem koji je značajno jeftiniji od trenutno ponuđenih na tržištu.

Ključne reči—Arduino UNO, LabVIEW, senzorski sistem, Trough hole tehnologija

I. UVOD

Senzori za merenje vlažnosti vazduha nalaze veliku primenu tamo gde god uticaj vlage iz vazduha čini jednu od karika u lancu merenih veličina. Ovi senzori se naročito koriste u meteorološkim stanicama, laboratorijama, u velikom broju industrijskih grana, u poljoprivredi, u domaćinstvima itd. Upotreba ovih senzora u meteorološkim stanicama ima za svrhu da ljudima da informaciju koliko je zasićenje vazduha vodenom parom kako bi se dalje mogla određivati vremenska prognoza. U laboratorijama senzori vlažnosti vazduha nalaze primenu zato što uređaji koji se tamo nalaze mogu davati pogrešne informacije ukoliko je vlažnost vazduha izvan dozvoljenih granica, ali i hemijski procesi se ne mogu odvijati željenim tokom ukoliko vlažnost vazduha nije zadovoljavajuća. Prehrambena, metalurška, i mnoge druge grane industrije koriste senzore za vlažnost vazduha kako bi svoje proizvodne procese obavljale prema zadatim kriterijumima.

Mjerenje relativne vlažnosti vazduha u ovom radu je realizovano uređajem koji radi na principu određivanja tačke rose. Detaljan način na koji senzor ovog uređaja radi detaljnije je objašnjen u poglavljima II i III.

Ali pre nego što se počne sa opisom o diskretnim delovima čitavog sistema treba reći kako čitav sistem funkcioniše.

Sistem meri temperaturu vazduha i temperaturu temperaturno regulisanog peltijeovog elementa, pri čemu se „zamagljenost“ reflektivnog elementa drži na 70%. Zamagljenost je prethodno određena u procesu autokalibracije maksimalnim zagrijavanjem, odnosno hlađenjem peltijeovog elementa, pri čemu su maksimumi funkcija očitavanja optičkog senzora, kao i samo očitavanje „zamagljenosti“ od 70% reflektivnog elementa, odnosno ogledala.

Projekat je osmišljen tako da se njegova realizacija obavlja u više diskretnih delova, odnosno podeljen je na nekoliko delova na kojima se može relativno nezavisno raditi.

Zdravko Gotovac – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: zdravko.gotovac@uns.ac.rs).

Rade Peranović – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: rade.peranovic123@gmail.com).

Dragan Pejić – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).

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

Delovi od kojih se projekat sastoji su:

- dizajniranje i izrada temperaturnog akvizicionog kola
- dizajniranje i izrada optičkog akvizicionog kola
- dizajniranje i izrada napajanja peltijeovog elementa
- pisanje programa za akviziciju podataka

Projekat je podeljen u diskretne delove da bi se jednostavnije mogle vršiti izmene prilikom izrade, kao i zbog potencijalne mogućnosti unapređivanja pojedinačnih delova rada, kao i rada u celini.

II. IZRADA PROJEKTA

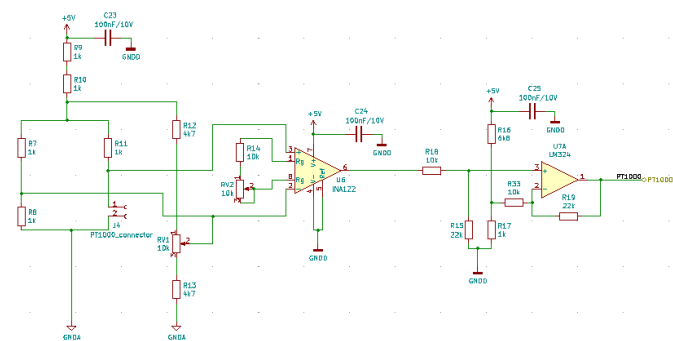
A. Dizajniranje i izrada temperaturnog akvizicionog kola

Jedan od najbitnijih delova čitavog sistema jesu hardverska kola za akviziciju temperature. Osnovna ideja za kola koja se koriste za merenje temperature jeste da se akvizicija izvrši sa više različitih senzorskih modula.

Za merenje temperature peltijeovog elementa koristi se kolo za akviziciju koje u sebi sadrži platinski otpornik PT 1000 otpornosti 1000 Ω .

Njegova otpornost je temperaturno zavisna, odnosno sa temperaturom, raste i njegova otpornost. Naravno i inverzna relacija važi.

PT 1000 se nalazi povezan u Vitstonov most sa otpornicima nazivne otpornosti 1 k Ω , dok se na red sa mostom, na napajanju nalaze povezana dva otpornika od 1 k Ω , kojima se ograničava struja koja prolazi kroz PT 1000.



Sl. 1. Šema dela kola za akviziciju temperature

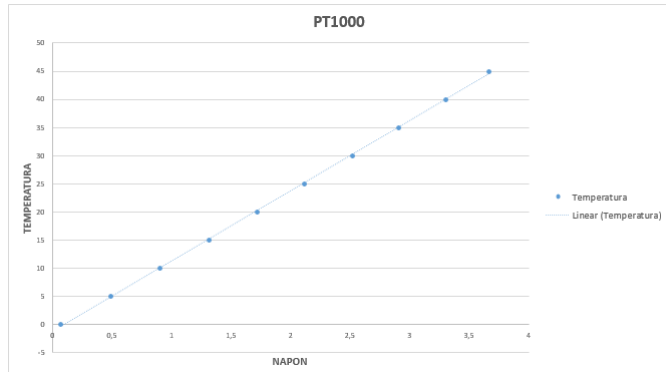
Pored toga, u paraleli sa vitstonovim mostom, nalazi se povezano kolo sačinjeno od tri redno vezana otpornika, od kojih je jedan potencijometar čiji je kraj na kom se nalazi klizač povezan na tačku Vitstonovog mosta na kojoj se nalaze otpornici nazivne otpornosti 1 k Ω .

Njegovom upotrebom uspostavljamo ravnotežu mernog

mosta kada je temperatura PT 1000 0 °C. To treba da se radi jer tačne vrednosti otpornika odstupaju od njihovih nazivnih i do 5%, što bi u ovom slučaju predstavljalo 50 Ω, a uzimajući u obzir da je se temperatura PT 1000 menja ± 3,9 Ω za svaki °C [1].

Naponske signale koje dobijamo iz Vitnstonovog mosta povezujemo na INA122 [2] instrumentacioni pojačavač, a potom i na LM324 [3] koji se koristi u konfiguraciji instrumentacionog pojačavača.

Ovako akviziciono kolo daje kao rezultat signal čija se vrednost kreće od 73 mV do 3,663 V. Odnos vrednosti temperature i izlaznog signala može se videti na grafiku zavisnosti.

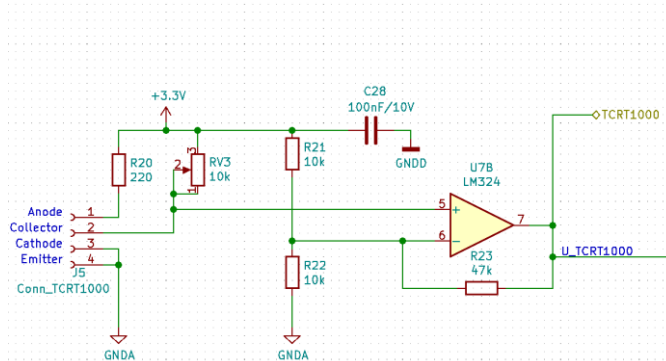


Sl. 2. Signal koji se dobija na izlazu iz dela za akviziciju temperature

B. Dizajniranje i izrada optičkog akvizicionog kola

Kao što je bilo neophodno dizajnirati kolo za akviziciju temperature, bilo je neophodno dizajnirati i napraviti optički detektor koji će moći da prima i obrađuje informacije o zamagljenosti ogledala.

Da bi se moglo i početi sa tim bilo je neophodno odlučiti se za delove kola kojima se vrši akvizicija optičkih signala, a zbog relativno malog kućišta izabran je TCRT1000 [4]. Reč je o uparenoj IR LED i foto tranzistoru.



Sl. 3. Šema dela za akviziciju optičkog signala

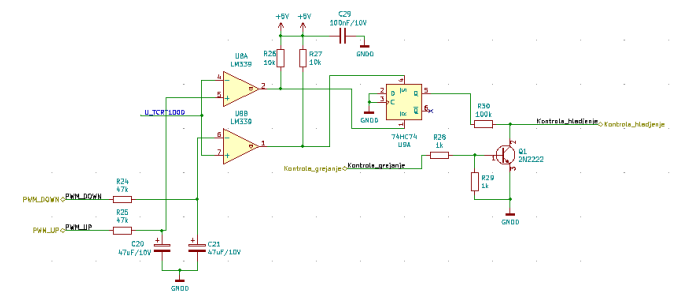
Opto element je povezan na napajanje od 3,3 V i na svom kolektoru daje stujni signal koji se kasnije vodi na LM324 i u konfiguraciji neinvertujućeg operacionog pojačavača pojačava i vodi na komparator.

Tako se signal pretvara u povorku pravougaonih signala koja se dalje vodi na set/reset flip-flop koji se u kombinaciji sa softverskim modulom koristi za upravljanje H-mostom.

C. Dizajniranje i izrada napajanja Peltijeovog elementa

Za objašnjenje napajanja peltijeovog elementa, potrebno je prvo objasniti napajanje H-mosta.

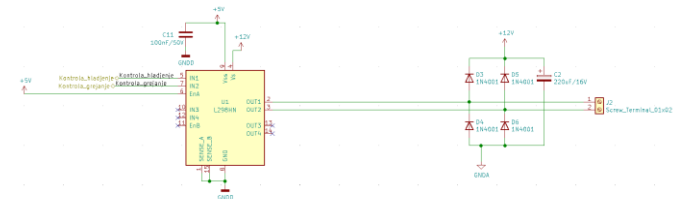
Da bi se omogućilo njegovo ispravno funkcionisanje, odnosno da bi se obezbedile i mogućnost rashlađivanja gornje površine peltijeovog elementa, a samim tim i grijanja reflektivnog elementa, ogledala, potrebno je upravljati H-mostom tako da se menja polaritet na njegovim krajevima za napajanje.



Sl. 4. Šema dela korištenog za hardversku kontrolu H-mosta

Time upravljamo dovođenjem signala na dva pina H-mosta predviđena za potrebnu kontrolu, pri čemu se na jedan od pinova dovodi signal iz opto elementa, dok se na drugi dovodi digitalni signal iz mikrokontrolera kojim se vrši akvizicija signala, kao i samo upravljanje čitavim sistemom.

Sam H-most se napaja sa 5 V, koji su obezbeđeni sa napojne jedinice koja je prethodno napravljena.

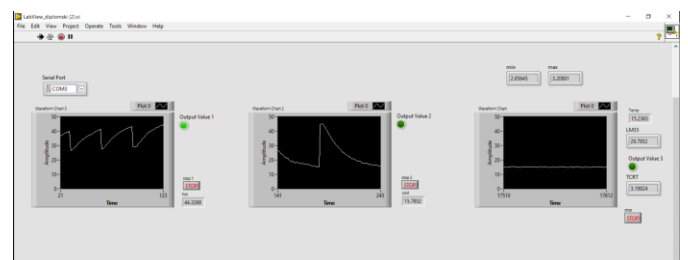


Sl. 5. Šema povezivanja povezivanja H-mosta

D. Pisanje programa za akviziciju podataka

Za akviziciju i kontrolu čitavog sistema koristi se Arduino UNO [5] razvojna platforma. Da bi se ona uspešno mogla koristiti potrebno je isprogramirati čitav sistem.

Softversko okruženje koje se koristi za pisanje firmvera potrebnog za funkcionisanje čitavog sistema je LabVIEW [6] softverski paket, koji je besplatno dostupan studentima.

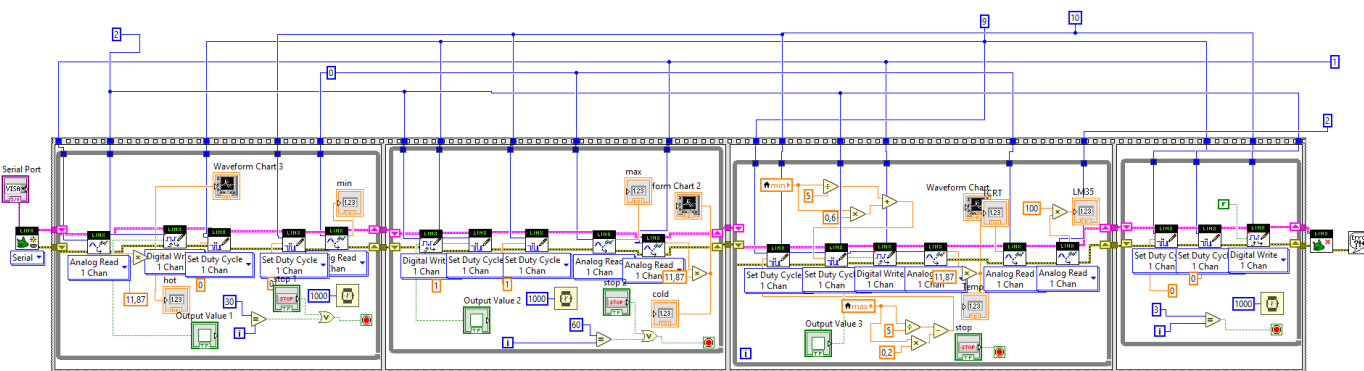


Sl. 6. Izgled programa za akviziciju i obradu podataka

Za komunikaciju između računara na kom je pisan firmver, korištena je LINX [7] besplatna softverska nadogradnja.

Firmver je napisan tako da se program kaskadno izvršava, pri čemu se prvo izvršava deo koda predviđen za autokalibraciju akvizicionog kola, nakon čega se deo za

ispitivanje tačke rose izvršava sve do trenutka kada se obustavlja rad uređaja. Na kraju se izvršava deo koda koji je napisan za potrebe resetovanja čitavog akvizicionog sistema, kao i komunikacije mikrokontrolera sa računarom.



Sl. 7. Izgled programa za akviziciju i obradu podataka

III. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog može se zaključiti da je izrada jednog sistema za akviziciju tačke rose relativno jednostavan postupak, ukoliko su dostupna potrebna znanja i alati za izradu istog.

Naravno kada se uzme u obzir uloženi trud za čitav projekat, finansije potrebne za izradu postaju počinju da rastu, ali kada se izrađeni uređaj uporedi sa široko dostupnim uređajima koji se nalaze na tržištu, njegova konačna cena ostaje i dalje pristupačnija.

ZAHVALNICA

Zdravko Gotovac i Rade Peranović žele da se zahvale Draganu Pejiću, Đorđu Novakoviću, Platonu Sovilju i Zoranu Mitroviću na korisnim diskusijama i savetima, kao i na obezbeđivanju potrebne opreme prilikom izrade rada.

LITERATURA

[1] Inst Tools. <https://instrumentationtools.com/rtd-standards/> [accessed Feb. 22, 2021]

[2] INA122 AMPLIFIER Datasheet. <https://datasheetspdf.com/pdf/255474/Burr-BrownCorporation/INA122/1> [accessed Feb. 22, 2021]

[3] LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers. <https://www.ti.com/lit/ds/snosc16d/snosc16d.pdf> [accessed Feb. 22, 2021]

[4] TCRT1000, TCRT1010 Reflective Optical Sensor with Transistor Output. <https://www.vishay.com/docs/83752/tcrt1000.pdf> [accessed Feb. 27, 2021]

[5] Getting Started with Arduino UNO | Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno> [accessed Feb. 29, 2021]

[6] What is LabVIEW? – NI. <https://www.ni.com/en-rs/shop/labview.html> [accessed Mar. 11, 2021]

[7] LINX [LabVIEW MakerHub]. <https://www.labviewmakerhub.com/doku.php?id=libraries:linx:start> [accessed Mar. 11, 2021]

ABSTRACT

In this work we shall make ourselves familiar with hardware and software development of compact acquisition system used for purposes of finding dew point. Main idea on which this work is based on is usage of existing, free or relatively inexpensive hardware and software solutions to create significantly less expensive system than ones available at open market.

Dew point acquisition device

Zdravko Gotovac, Rade Peranović, Dragan Pejić,
Platon Sovilj

Predlog implementacije komunikacionih i kontrolnih metoda u konceptu Industrije 4.0

Zdravko Gotovac, Marjan Urekar, *Member, IEEE*

Apstrakt—U ovom radu upoznaćemo se sa dizajniranjem i implementacijom komunikacionih i kontrolnih metoda korišćenjem široko rasprostranjenih tehnologija. Čitava ideja predstavlja logičan iskorak u uključivanje Industrije 4.0 u proizvodni proces, kao i indirektno unaprijeđivanje uređaja i radnog okruženja koji su realni dio proizvodnog procesa.

Ključne reči—Industrija 4.0, IoT, senzorski sistem, baze podataka, proces proizvodnje

I. UVOD

Da bi se bolje shvatio rad u cjelini, prvo je neophodno, ili poželjno, shvatiti zbog čega se implementira u proces proizvodnje različite funkcionalnosti koje pružaju protokoli definisani unutar Industrije 4.0 [1]?

Odgovor na jedno ovakvo pitanje je dosta kompleksan, i da bi mogli da bi se mogao pružiti zadovoljavajući odgovor na njega neophodno je kritički sagledati potencijalne dobre, i loše osobine koje pruža Industrija 4.0 i IoT [2]. Pored toga potrebno je i idejno definisati one djelove procesa proizvodnje koje imaju potencijal da budu unaprijeđeni.

Kako se sve više insistira na kontroli i nadgledanju radnog prostora, jedan od očiglednih načina za unaprijeđenje tih radnih uslova je nadgledanje temperature, vlažnosti, vazdušnog pritiska unutar radnog prostora. Najjednostavniji način implementacije bio bi upotreba pametnih telefona koji na sebi sadrže mnoštvo senzora, kao i čipove koji omogućavaju međusobnu komunikaciju, i vezu sa internetom.

Pored toga osposobljavanje djelova unutar procesa proizvodnje za međusobnu komunikaciju upotrebom uređaja koji se ne koriste direktno unutar procesa proizvodnje predstavljalo bi izvestan napredak za one uređaje koji ne posjeduju moderne protokole za komunikaciju.

II. PROBLEMI INDUSTRIJE 4.0 PRILIKOM IMPLEMENTACIJE U PROCES PROIZVODNJE

Prije nego što bi i počeli bilo kakvu raspravu o implementaciji Industrije 4.0, trebalo bi skrenuti pažnju na probleme, i potencijalne grerške koje se javljaju tokom njene implementacije. Čitava priča o umrežavanju sistema proizvodnje zvuči sjajno, ali kao i bilo šta drugo, ona nije bez mana.

Prilikom prikupljanja ogromnih količina podataka može da dođe do zasićenja sistema, što može predstavljati ogroman

Zdravko Gotovac – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: zdravko.gotovac@uns.ac.rs).

Marjan Urekar – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs).

problem. Postavlja se pitanje da li su svi primljeni i obrađeni podaci potrebni, odnosno čemu bi oni služili? Kako razdvojiti podatke krucijalne za funkcionisanje sistema od „digitalne buke“ koju bi predstavljali beznačajni podaci?

Naravno postoji i velika opasnost ugrožavanja lične privatnosti i slobode preuzimanjem i obradom podataka. Da li bi zaista postojala potreba da šef radnika unutar fabrike barata informacijama o njihovom dnevnom unosu kalorija, ili možda krvnom pritisku? Čemu služi informacija o istoriji pretraživanja interneta jednog radnika? Za takve podatke sigurno postoje lica i kompanije koje bi platile da dođu do njih, da bih ih koristila za marketinške ili neke još manje etičke svrhe.

Naravno kako je pitanje bezbjednosti ličnih podataka trenutno aktuelna tema na globalnom nivou [3], potrebno je postaviti određena ograničenja na implementaciju idejnih rješenja. Zadatak zaštite ličnih podataka, uprkos tome što je značajan, nije jedini na koji treba obratiti pažnju, isto tako potrebno je smanjiti proizvodnju i upotrebu novih uređaja koji bi se koristili samo u svrhe komunikacije, jer bi u slučaju njihovog zastarijevanja predstavljali elektronski otpad.

Ideja bi bila upotreba aplikacije, napisane za više mobilnih platformi, koja bi korisniku pružala mogućnost odobravanja i autentikacije prilikom odabira podataka koje želi da djeli i unosi u sistem. Slični protokoli, naravno opštije prirode već bivaju implementirani u novim verzijama opše dostupnih mobilnih platformi.

Implementacije Industrije 4.0 unutar procesa proizvodnje trebalo bi ograničiti samo na djelove koji bi bili bitni unutar samog procesa proizvodnje.

III. IMPLEMENTACIJA INDUSTRIJE 4.0

A. Indirektno umrežavanje sistema proizvodnje

Jedna od najbitnijih osobina koju ljudska bića posjeduju, i osobina koja je omogućila napredak čovječanstva je mogućnost komunikacije. I danas čovjek, po prirodi komunikativno biće pokušava da unaprijed načine razmjene podataka, informacija i ideja. Počevši od razmjene kamenih ploča na kojima su urezani pa sve virtuelnih online konferencija način razmene podataka postaje sve sofisticiraniji.

Takav način razmišljanja trebalo bi primjeniti i unutar proizvodnog procesa koristeći se protokolima Industrije 4.0. Zašto ne omogućiti mašinama da komuniciraju međusobno?

Zagušenje proizvodnog procesa tokom proizvodnje su česte pojave koje dovode do redova čekanja i zbog asinhronizacije čitavog procesa proizvodnje stvaraju dodatne probleme i dodatna zagušenja proizvodnje.

Šta ako bi diskretni dijelovi unutar sistema posedovali komunikacione linije koje bi omogućavale automatskoj kontroli da slobodno modulišu brzinu proizvodnje unutar sistema. Naravno trebalo bi postaviti kao nominalnu brzinu onu koja bi odgovarala kapacitetima same proizvodne linije, pa u zavisnosti od ispunjenosti tih kapaciteta davati umanjenu brzinu u odnosu na onu nominalnu. Tako bi se otklonile i greške nastale ljudskim faktorom, odnosno potencijalnim nedostatkom krucijalnog osoblja koje se nalazi na određenim delovima proizvodne linije.

Pored kontrole same proizvodnje u sistem bi trebalo uvesti i monitoring na nivou mašine. Šta ako jedna od mašina na djelu proizvodne linije nije u nominalnom režimu rada? Kako to može uticati na ostatak proizvodnje unutar proizvodne linije? Pretpostavimo da se čitav sistem proizvodnje nalazi na sistemu za napajanje koji je jedinstven za fabriku, i pretpostavimo da jedna od mašina nije u nominalnom stanju rada. To bi značilo za mašinske strojeve da u slučaju povećanja struje u odnosu na nominalnu, dolazilo bi do pregrijavanja sistema napajanja. Ukoliko bi sistem napajanja posedovao ograničenja, bilo da su to ograničenja u vidu snage koju on može da da, ograničenja u vidu struje ili termalna ograničenja, ona bi svejedno uticala na krajnje funkcionisanje sistema. Zbog jedne mašine koja nije u nominalnom režimu čitav sistem bi mogao da se zaustavi, ili još gore, oštetiti. To bi mogli da spriječimo očitavanjem parametara te mašine, njene temperature, struje koju preuzima iz sistema, napona na njenim priključcima, kao i potencijalnim djelovima električnih kola koja se u njoj nalaze, a koja ne bi funkcionisala na ispravan način.

Informacije prikupljene na ovaj način davale bi određeni dio slike o stanju sistema proizvodnje, ali ta bi slika bila potpunija ukoliko bi se uvela dodatna linija za prikupljanje informacija, čiji bi potencijalni izvor bili radnici koji se nalaze unutar sistema proizvodnje.

Danas rijetko ko ne posjeduje pametni mobilni telefon, a uzimajući u obzir nivo napretka te tehnologije, trebalo bi je upotrebiti na nabolje moguće načine.

Jedan pametni telefon sadrži nekoliko senzorskih sistema, čija bi očitavanja mogla da posluže razumjevanju trenutnog stanja sistema, kao i predviđanju njegovog budućeg funkcionisanja. Senzori temperature, mikrofoni koji se mogu koristiti kao senzori zvučnog intenziteta i frekvencijskog odziva, barometri i sl [4]. Iskorišteni na pravi način produžili bi potencijalni radni vijek mašina koje se koriste u sistemu proizvodnje, a isto tako bi unaprijedili i radno okruženje za radnike.

Šta ako mašina radi unutar prostorija koje nisu adekvatno klimatizovane, da li će to dovesti do prestanka njenog rada? Ukoliko vazdušni pritisak nije odgovarajućeg nivoa, da li će to usporiti radnike unutar procesa proizvodnje? Da li bi se mikrofoni mobilnog telefona mogao iskoristiti za praćenje zvukova koji su indikatori potencijalnih problema unutar sistema proizvodnje? Na ova i slična pitanja potrebno je odgovoriti implementacijom odgovarajućeg sistema za nadgledanje procesa proizvodnje.

Zamislimo situaciju, unutar proizvodnog pogona posjedujemo mašinu relativno velikih dimenzija, tako da je neophodno da na njoj radi više radnika. U slučaju da svako od

njih posjeduje pametni telefon, mogao bi da instalira aplikaciju koja bi mjerila temperaturu i odzive određenih frekvencijskih spektara, i na osnovu tih informacija pružala informacije o stanju mašine, kako radnicima, lokalno na njihovim pametnim uređajima, tako i glavom računaru slanjem podatka na glavni server. Ako bi se desio neki kvar zbog kog bi mašina isпустиła zvuk koji nije unutar spektra koji može da čuje ljudsko uho, aplikacija bi obavjestila radnika o potencijalnoj opasnosti koja se tu javlja. Ako bi se mašina na jednom od svojih djelova zagrijavala dovoljno sporo radnik možda to ne bi mogao da primjeti, ali aplikacija bi bilježila podatke tokom vremena pa bi postojali grafici na kojima bi se jasno moglo vidjeti da jedan od djelova sistema ne funkcioniše na ispravan način.

Pored toga, na osnovu mrežnih tačaka preko kojih se povezuje aplikacija, mogla bi se pružiti informacija o trenutnoj lokaciji radnika unutar fabrike, što bi značajno popravilo bezbjednosni status tog radnika u slučaju da dođe do kvara unutar sistema proizvodnje koji je opasan po njegov život. Na sličan način bi se mogao primjeniti i algoritam koji će pokazati da li radnik ispunjava zadatke za koje je zadužen.

B. Modularni sistem proizvodnje

Naravno modernizaciju proizvodnog sistema koristeći se definisanim protokolima i pravilima Industrije 4.0 trebalo bi iskoristiti na različite načine, i jedna od ideja je izmjena samog sistema proizvodnje.

Podaci koji se prikupljaju ne moraju biti iskorišteni samo za organizaciju radnika, nego i mašina kojima oni upravljaju. Pretpostavimo da se u fabrici proizvode automobili, i na jednom djelu proizvodne trake se proizvode motori, odnosno platforme koje se ugrađuju u automobile, u drugom djelu šasije automobila, trećem vrata, četvrtom bi se obavljalo farbanje određenih djelova automobila, petom ugradnja neophodne elektronike i enterijera, i u finalnom bi se postavljali točkovi na automobile.

Da li je isti nivo prioriteta za radnom snagom u svim procesima? Naravno da nije, točkove je na kraju najlakše postaviti, i to zahtjeva najmanje vremena, ali da li je isti slučaj sa proizvodnjom motora? Šta ako se javi greška u procesu proizvodnje motora, odnosno platforme? Ne bi bilo smisla obustavljati ostale djelove procesa ukoliko se u njima ne nalazi greška, bar ne dok se ne otkloni greška u procesu proizvodnje platforme. Radnici bi i dalje mogli da nastave sa proizvodnjom šasija i njihovim farbanjem, dok bi se ugradnja elektronike i kompletnog enterijera automobila obustavila zbog potencijalnih problema. Znači li to da se može indefinitivno nastaviti sa proizvodnjom šasija za automobile? Naravno da ne, uvijek postoje određena logistička ograničenja, od kojih bi jedno od najbitnijih bilo skladištenje finaliziranih šasija.

Algoritmi za obradu podataka, odnosno algoritmi za mašinsko učenje bi se mogli uključiti u sistem proizvodnje [5], gde bi uzimajući u obzir prirodu kvarova koji bi se nalazili unutar diskretnih sistema proizvodnje preuzimali ulogu organizacije i raspoređivanja zadataka u preostalim delovima sistema.

C. Izbacivanje faktora nesigurnosti unutar procesa proizvodnje

Jedan od glavnih faktora koji unose nesigurnost u čitav sistem proizvodnje su ljudi koji se nalaze unutar tog sistema, počevši od radnika koji obavljaju osnovne poslove unutar čitavog sistema, pa sve do onih koji se nalaze na najvišim upravnim pozicijama. Te faktore je neophodno ograničiti i svesti na minimum, da bi se povećao nivo optimizacije čitavog proizvodnog sistema.

Programi koji bi pratili efikasnost radnika, grupa, kao i onih koji upravljaju grupama bi doveli do smanjenja grešaka koje nastaju kada iste te zadatke obavljaju odgovorni ljudi koji daju subjektivna mišljenja i ocjene. Naravno to ne bi značilo da je potrebno zanemariti te subjektivne ocjene, naprotiv, svi obrađeni podaci bi se koristili da suplementiraju pravljenju radnog kartona koji bi ocjenjivao radnike.

Možda se problem nije javio zbog toga što radnik ne izvršava radne zadatke na zadovoljavajući način, nego zbog toga što su mu dati zadaci koji nisu u skladu sa opisom i prikladnom obukom posla kojim se bavi. Isto tako se može javiti problem prevelikog opterećenja radnika, ili korištenja neadekvatnih alata na koje je ograničen. To upućuje na grešku koja se javila od strane uprave koja nije izvršila pravilu raspodjelu radnih zadataka na dostupne resurse.

Greške takve prirode bi mogle da se smanje obradom razmjenjenih podataka, od strane radnika upravi, i obrnuto, pri čemu bi se pravile jasne kategorije koje bi razvrstavale nivo prioriteta određenim priloženim informacijama.

IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu priloženog može da se vidi da je implementacija "pametnog proizvodnog sistema" realno ostvariva mogućnost.

Naravno, prije svega, prilikom implementacije jednog takvog sistema moralo bi da se vodi računa o bezbednosti informacija koje bi mogle da ugroze lica koja imaju vlasništvo nad bitnim privatnim informacijama.

Sem toga potrebno je implementirati akvizicioni sistem koji

bi na pogodan način selektovao i čuvao odabrane podatke, jer bi to bio prvi korak ka pravljenju robusnog sistema koji bi omogućio prelaz iz prethodno uspostavljenih industrijskih standarda u one koje traži Industrija 4.0.

I ono što je najbitnije je da posmatranjem čitave problematike iz ugla upotrebe široko dostupnih tehnologija omogućilo bi ostvarivost finansijski i logistički pristupačnog rješenja. Tako da bi i implementacija od strane kompanija doživjela veću rasprostranjenost.

LITERATURA

- [1] "Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0." i-Scoop <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>. [accessed Jun. 12, 2021]
- [2] "internet of things" [IoT Agenda] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. [accessed Jun. 12, 2021]
- [3] "Case Law Digest 2021: Transfers of personal data to third countries" [EUROPEAN DATA PROTECTION SUPERVISOR] https://edps.europa.eu/data-protection/our-work/our-work-by-type/court-cases_en. [accessed Jun. 15, 2021]
- [4] "ARDUINO SCIENCE JOURNAL" [Arduino] <https://www.arduino.cc/education/science-journal>. [accessed Jun. 16, 2021]
- [5] Ndeye Lo, Jean-Marie Flaus, Olivier Adrot. Review of Machine Learning Approaches In Fault Diagnosis applied to IoT System. ICCAD 2019 - 3rd International Conference on Control, Automation and Diagnosis, Jul 2019, Grenoble, France. ffl0.1109/ICCAD46983.2019.9037949ff. fflhal-02344344

ABSTRACT

This paper introduces the design and implementation of the communication and control methods, alongside the use of widely available technologies. The idea represents a logical step forward in the incorporation of Industry 4.0 in manufacturing process, as well as indirect improvement of production appliances and work environment, which are part of real world manufacturing process.

Implementation of communication and control methods in concept of Industry 4.0

Zdravko Gotovac, Marjan Urekar

Sistem za merenje i regulaciju temperature u zamrzivačima za čuvanje Pfizer-BioNTech COVID-19 vakcine

Milan Šaš, *Student Member, IEEE*, Bojan Vujčić, *Member, IEEE* i Dragan Pejić, *Member, IEEE*

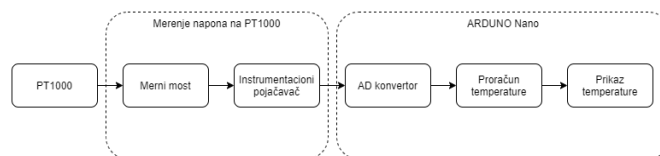
Apstrakt—U ovom radu biće prikazano rešenje za merenje i regulaciju temperature u zamrzivačima za čuvanje Pfizer-BioNTech COVID-19 vakcine na $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rad je baziran na Arduino Nano platformi koja se koristi za obradu podataka koje dobija iz kola koje meri napon na PT1000 senzoru temperature. Dalje, te podatke obrađuje i prikazuje na četvorocifrenom sedmosegmentnom displeju. Cilj rada jeste da se pokaže mogućnost projektovanja i implementiranja sistema za merenje i regulaciju temperature koja nije u standardnom opsegu merenja. Opseg temperature koji se ovim sistemom meri je od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cljučne reči—COVID-19, Pfizer-BioNTech, vakcina, merenje temperature, PT1000, INA122, Arduino Nano, merni most.

I. UVOD

U prethodnom vremenu smo svedoci posledica Covid-19 virusa koji je korenito promenio način života mnogih od nas i stavio zdravstvene sisteme svih zemalja na test. Kao rezultat razvoja tehnologije i medicine, koji prate jedan drugog u stopu, imamo vakcine za razne bolesti koje su iskorenjene u prošlosti. Sa pojavom novih vakcina protiv Covid-19 pojavila se nada da će i ova pošast proći što pre. Kompanije Pfizer (SAD) i BioNTech (Nemačka) [1] su razvile vakcinu protiv Covid-19 sa visokim stepenom efikasnosti ali i jednom manom: potrebno je čuvati vakcinu na $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovo nije standarda temperatura za čuvanje vakcina pa je potrebno projektovati sistem za merenje i regulaciju koji omogućava transport vakcine na toj temperaturi kako bi ona došla u sve delove sveta.

Sistem koji je projektovan i koji će biti prikazan u ovom radu bavi se upravo ovim problemom ali ima za cilj da se ovaj problem reši tako da samo rešenje bude „low cost“ rešenje, kako bi moglo da se lako i jeftino primeni u praksi. Na slici 1 data je blok šema celog sistema.

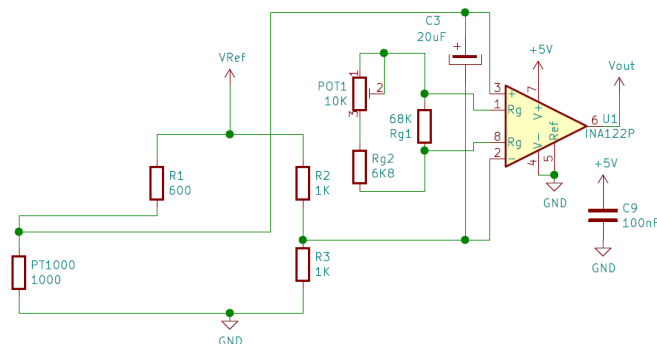


Sl. 1. Blok šema sistema

II. KOMPONENTE SISTEMA

A. Merenje temperature PT1000 sondom

Temperatura se meri pomoću PT1000 sonde [2], trožično, tako što se terminali sonde dovode u merni most i tada sonda postaje jedan od otpornika u mostu. Ostali otpornici su prilagođeni nameni ovog sistema. Pošto znamo da otpornost PT1000 na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $1000\text{ }\Omega$ a na $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $602.6\text{ }\Omega$, te vrednosti su uzete kao vrednosti otpornika u mostu. Most se napaja sa 2.5 V (V_{ref}) a napon sa merne dijagonale se vodi na instrumentacioni pojačavač INA122 [3] koji napon iz mosta pretvara u napon u opsegu od 0 V do V_{ref} . Na slici 2 je dat prikaz mosta i instrumentacionog pojačavača.



Sl. 2. Merni most i instrumentacioni pojačavač [3]

Instrumentacioni pojačavač se napaja unipolarno sa 5 V a otpornik R_g , koji definiše pojačanje instrumentacionog pojačavača, ima otpornost od $67.2\text{ k}\Omega$. Kako bi dobili što približniju vrednost otpornika R_g koristi se trimmer od $10\text{ k}\Omega$ i dva otpornika od $68\text{ k}\Omega$ i $6.8\text{ k}\Omega$ koji su povezani kao što je prikazano na slici 2. Podešavanjem trimera imamo fino zadavanje otpornosti R_g . Dodatno, postavljeni su kondenzatori C_3 od $20\text{ }\mu\text{F}$ i C_9 od 100 nF koji se koriste za stabilisanje napona na ulazu instrumentacionog pojačavača i napona napajanja, respektivno.

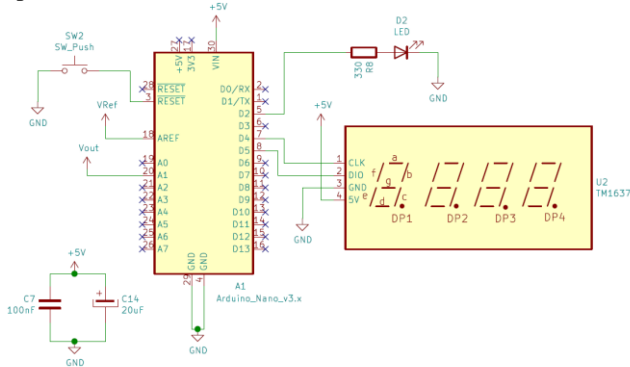
Milan Šaš - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: milansas@uns.ac.rs).

Bojan Vujčić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: bojanvuj@uns.ac.rs).

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

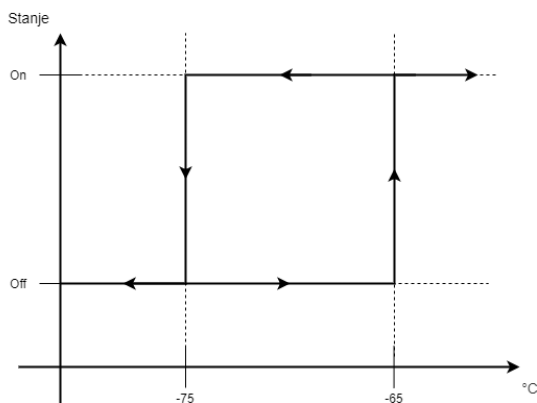
B. Arduino Nano i obrada podataka

Baza sistema je Arduino Nano [4] razvojno okruženje zbog niske cene, malih dimenzija i velike dostupnosti. Na slici 3 dat je izgled i povezivanje Arduino Nano sistema sa sedmosegmentnim displejom TM1637 [5] za prikaz temperature.



Sl. 3. Arduino Nano [4] i displej TM1637 [5]

Na analogni ulaz A1 se dovodi izlaz iz instrumentacionog pojačavača. Takođe, koristi se mogućnost zadavanja referentnog napona za AD konvertor i na AREF pin Arduino Nano sistema dovodi se napon V_{ref} kojim se, ujedno, napaja merni most. Kako bi imali mogućnost resetovanja sistema povezan je taster između GND i RESET pina Arduina. Kako bi ostvarili regulaciju temperature, pin D2 je postavljen kao izlazni i na njega povezana crvena LED koja daje informaciju o radu kompresora ili nekog drugog uređaja koji može da snizi temperaturu u objektu. Realizovano je histerezisno upravljanje tako što su u kodu koji se nalazi na Arduinu postavljene granice histerezisa na $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kada se temperatura popne iznad $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ izlaz D2 na Arduinu će preći u visoko stanje. Kada temperatura padne ispod $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ izlaz D2 na Arduinu će preći u nisko stanje. Na slici 4 je dat izgled histerezisa prema kome se vrši upravljanje, odnosno kako se menja stanje na pinu D2.



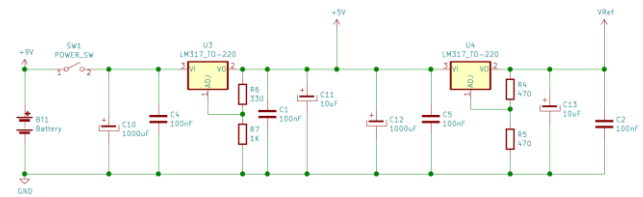
Sl. 4. Histerezis

Na Arduinu je implementiran algoritam koji vrši očitavanje

pina A1 tako što izvodi AD konverziju. AD konvertor koji je sastavni deo Arduino platforme je 10-bitni pa ceo opseg merene temperature dobijamo u opsegu od 0 do 1023. Kada se izvrši AD konverzija potrebno je prebaciti dobijenu vrednost AD konverzije u temperaturu. Više o formuli koja vrši to pretvaranje biće rečeno u sledećem odeljku. Primenom formule dobijamo vrednost temperature u $^{\circ}\text{C}$ koja se prikazuje na četvorocifrenom sedmosegmentnom displeju koji je sa dve linije povezan sa Arduinom. Pin CLK je povezan na pin D4 a pin DIO je povezan na D5. Kako bi rad sa ovim displejom bio olakšan koristi se Arduino biblioteka istog imena kao i dispelj.

C. Napajanje

Napajanje uređaja je projektovano tako da možemo koristiti izvod od 9 V DC, najčešće baterija ili drugi tip izvoda DC napona. Na slici 5 je data šema napajanja.



Sl. 5. Napajanje uređaja

Potrebno je postići dva naponska nivoa, od 5 V i 2.5 V, a to postizemo tako što koristimo dva LM317 [6] naponska regulatora konfigurisana tako da nam daju prethodno pomenute naponske nivoe. Nivo od 5 V se koristi za napajanje instrumentacionog pojačavača, Arduina i displeja a nivo od 2.5 V se koristi kao referenca za AD konvertor i napajanje mernog mosta. Ovde je bitno da se most napaja sa istom referencom koja se dovodi na AD konvertor kako bi dobili racionometrijsko merenje.

III. OBRADA PODATAKA

Iz tabele otpornosti za senzor PT1000 možemo videti da njegova otpornost na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $1000\ \Omega$ a na $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $602.6\ \Omega$. Kako što je rečeno u prethodnom odeljku, ove vrednosti su uzete kao vrednosti otpornika u mostu. Sada nam je bitna zavisnost otpornosti od temperature. Postoje dva pristupa rešavanju ovog problema. Prvi pristup jeste da prvo gledamo zavisnost otpora od temperature na senzoru, posle toga da gledamo zavisnost napona u mostu od promene otpora i na kraju da gledamo zavisnost rezultata AD konverzije od promene napona. Pošto je ovo previše komplikovano za naše potrebe mi smo se odlučili za drugačiji pristup ovom problemu i direktno smo posmatrali zavisnost rezultata AD konverzije od temperature. Kolo je sastavljeno i spremno za prvo testiranje. Pošto nismo u mogućnosti da postignemo temperaturu od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ morali smo da simuliramo otpornost koju bi dobili na temperaturama u već pomenutom opsegu. Otpornost smo simulirali dekadnom kutijom MA 2115 proizvođača Metrel [7], prikazanu na slici 6.

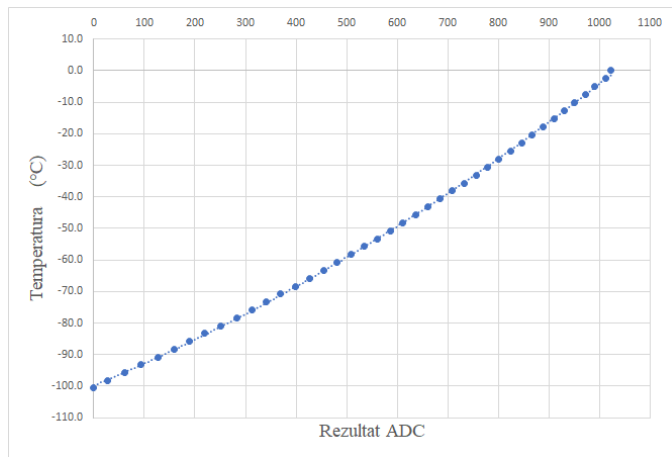
IV. IZRADA UREĐAJA

Kada smo testirali sistem i utvrdili da zadovoljava naše kriterijume prešli smo na izradu samog uređaja. Projektovanje PCB-a je rađeno u program KiCad [8] a jedno od mogućih rešenja PCB-a je prikazano na slikama 7 i 8:



Sl. 6. Otporna dekada MA 2115 [7]

U kolo je povezana dekada i sada smo spremni za merenje. Procedura je sledeća: dekadu postavimo na otpornost od 600 Ω i povećavamo je do 1000 Ω u koracima od 10 Ω a zapisujemo rezultat AD konverzije. Rezultat ovog merenja je dat na grafiku 1:

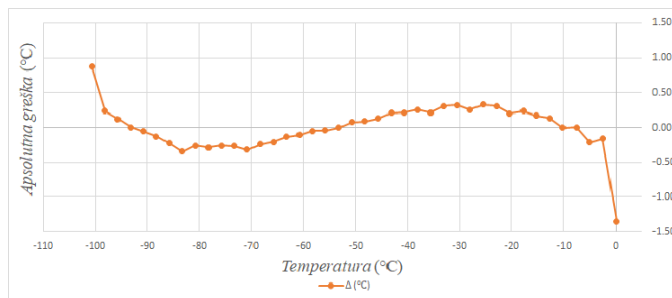


Gr. 1. Zavisnost rezultata AD konverzije od temperature

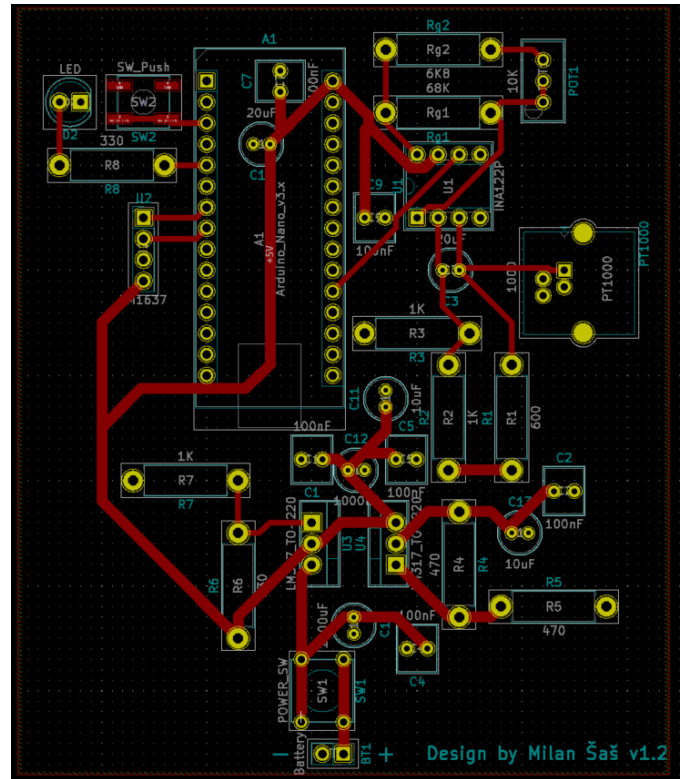
Apromksimranjem prikazane zavisnosti kvadratnom jednačinom dobijamo jednačinu (1):

$$\text{Temperatura}(\text{°C}) = 28,536 * 10^{-5} * \text{ADC}^2 + 0,067041 * \text{ADC} - 99,756 \quad (1)$$

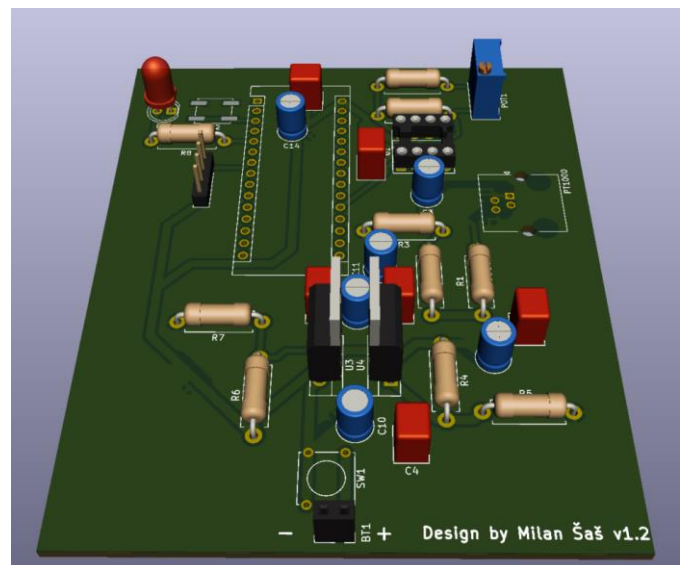
Ovo je jednačina koja je deo algoritma u Arduinu i na osnovu koje dobijemo vrednost temperature. Ukoliko se porede izmerene vrednosti sa zvaničnom tabelom senzora PT1000 možemo da vidimo da apsolutna greška ne prelazi 0.5 °C, ako zanemarimo krajeve opsega. Analiza apsolutne greške je data na grafiku 2.



Gr. 2. Apsolutna greška merenja temperature



Sl. 7. PCB izgled



Sl. 8. PCB izgled 3D

Konačni izgled uređaja je dat na slici 9:



Sl. 9. Izgled samog uređaja (levo) i uređaj povezan na dekadnu kutiju (desno)

V. ZAKLJUČAK

Na kraju rada možemo zaključiti da je sistem uspešno realizovan i da zadovoljava prvobitno planirane potrebe. Sam sistem se može primeniti i u drugim poljima rada gde je potrebno meriti i regulisati temperaturu u datom opsegu, kao što je transport zamrznute ribe i morskih plodova sa primorja u kontinentalne krajeve kako bi se ta riba servirala sveža u suši barovima i ostalim restoranima. Zanimljivo je primetiti da pojava samozagrevanja koji se javlja kod PT100 i PT1000 senzora ovde ne predstavlja problem zato što samozagrevanje doprinosi rastu temperature i imamo ranije aktiviranje releja koji dalje uključuje uređaj koji snižava temperaturu pa ovde možemo da kažemo da za samozagrevanje važi rečenica: *"It's not a bug, it's a feature"*. Uređaju je dato ime ŠVP-21 u čast svih autora ovog rada. Dalji planovi podrazumevaju unapređenje postojećeg sistema kako bi se smanjila greška u krajevima opsega kao i greška na čitavom opsegu merenja temperature. Za samu regulaciju greška na krajevima opsega ne pravi problem, ukoliko bi želeli manju grešku možemo uzeti polinom višeg stepena. Takođe, dalji planovi podrazumevaju i testiranje uređaja u nekom od temperaturnih kupatila laboratorije za metrologiju na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

LITERATURA

- [1] Pfizer, "PFIZER-BIONTECH COVID-19 VACCINE," [Online]. Available: <https://www.pfizer.com/products/product-detail/pfizer-biontech-covid-19-vaccine>.
- [2] K. M. AS. [Online]. Available: https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/tsiec751_ce.pdf.
- [3] T. Instruments, "Literature," [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina122.pdf>.
- [4] Arduino. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>.
- [5] D. cafe, "TM1637 datasheet," [Online]. Available: <http://www.datasheetcafe.com/tm1637-datasheet-pdf/>.
- [6] STMicroelectronics. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm317.pdf>.
- [7] Mertel, "MA 2115 and MA 2115 S Decade resistors," [Online]. Available: <https://www.metrel.si/en/shop/LABS/ma-2115-and-ma-2115-s-decade-resistors.html>.
- [8] KiCad, "Home page," [Online]. Available: <https://www.kicad.org>.

ABSTRACT

This paper will present a solution for measuring and regulating the temperature in Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccine freezers at $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. The work is based on the Arduino Nano platform used to process the data obtained from the circuit that measures the voltage on the PT1000 temperature sensor. Further, it processes and displays this data on a four-digit seven-segment display. The aim of this paper is to show the possibility of designing and implementing a system for measuring and regulating temperature that is not in the standard measuring range. The temperature range measured by this system is from $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperature measurement and control system in Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccine freezers

Milan Šaš, Bojan Vujčić, Dragan Pejić

Edukativni pristup enkriptovanom prenosu podataka u embedded i frontend razvojnim okruženjima

Ivan Gutai, Member, IEEE, Prof. dr Platon Sovilj, Member, IEEE, Marina Subotin, Member, IEEE, Marjan Urekar, Member, IEEE, Jelena Milojević, Member, IEEE, Milica Mitrović, Member, IEEE

Apstrakt—Pre IIoT-a (The Industrial Internet of Things), embedded programiranje i frontend programiranje nisu mogli da se nađu ni u istoj rečenici. Hardver koji je omogućio neprimetnu integraciju ove dve kompleksne oblasti je Espressif-ov ESP32 MCU (MicroController Unit). Tek kada je broj uređaja povezanih na internet dostigao značajnu cifru, u fokus je došla bezbednost podataka. ESP-NOW je Espressif-ova tehnologija za bežični prenos podataka. Prenos može biti enkriptovan i obezbeđuje bezbednu komunikaciju između više ESP32. HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) je protokol koji povećava bezbednost na internetu. Ovaj rad predstavlja uputstvo za konfigurisanje razvojnog okruženja za ESP32, ESP-NOW primer, primer HTTPS servera i prikaz programerske prakse za upravljanje greškama. Kao dodatak prikazan je i prilagodljivi grafički korisnički interfejs IIoT uređaja. U ovom trenutku postoji mnogo putanja u embedded i frontend programiranju. U ovom radu je izabrana putanja: ESP32 za hardver i C++ za firmver. JavaScript, HTML5 i CSS3 su neizbežan deo modernih industrijskih uređaja, pa je dat primer korišćenja JavaScript Highcharts biblioteke. Korišćena kombinacija hardvera i softvera košta manje od 10\$, što čini konfiguraciju pogodnom za zemlje u razvoju. Highcharts biblioteka je vlasnički softver, ali u edukativne svrhe se može koristiti u okviru Creative Commons (CC) Attribution-Non-Commercial licence.

Ključne reči— IIoT; embedded programiranje; frontend programiranje; ESP32; ESP-NOW; HTTPS; prilagodljivi dizajn; SPIFFS; C++; JavaScript; HTML5; CSS3; Highcharts; Web Bazirani Merno-Akvizionici Sistemi; JSON.

I. UVOD

Pametni uređaji su postali deo naše svakodnevice, a podjednako ih koristimo i kao alat i kao nešto što se može nazvati hobi projektom. Broj takvih uređaja i njihovih funkcionalnosti se svakodnevno uvećava. U takvim okruženjima moramo obratiti pažnju na bezbednost informacija i ne smemo zaboraviti dobre programerske i

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).

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

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs).

Jelena Milojević – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: jmilojevic@uns.ac.rs).

Milica Mitrović – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: m.mitrovic@uns.ac.rs).

inženjerske prakse. Danas svi imamo jednaku mogućnost da razvijemo prototip IIoT uređaja, koji će biti deo naše kućne Wi-Fi mreže, a uređaj možemo kontrolisati preko web pretraživača. Ovaj rad daje niz smernica, sa namerom da čitaocima ubrza ulazak u svet embedded programiranja i/ili web programiranja. Dato je praktično uputstvo kako se kreira jedan IIoT uređaj. Najteži deo na početku je izbor pravog hardvera i odgovarajućeg skupa tehnologija. Autori su izabrali: ESP32[1], C++, JavaScript, HTML5 i CSS3. ESP-NOW [2] tehnologija omogućava povezivanje velikog broja ESP32 uređaja, koji komuniciraju međusobno preko Wi-Fi-ja. Čist tekst je podložan izmenama u web aplikacijama u toku prenošenja preko Wi-Fi-ja. Ukoliko dobijemo priliku da nešto enkriptujemo, to treba odmah da uradimo. ESP-NOW podaci mogu biti enkriptovani preko LMK (Local Master Key), koji mora da se slaže i na prijemnicima i na predajnicima. Dodavanje senzora i releja je zasebna oblast i čitaoci mogu da biraju između raznih open-hardware rešenja i vlasničkih alternativa kao što su proizvodi Mikroelektronike. Nakon završetka sa hardverskim delom, koristi se SPIFFS (Serial Peripheral Interface Flash File System) memorija, za postavljanje (eng. deploy) web aplikacije. SPIFFS sadrži web aplikaciju koja je kreirana sa modernim i besplatnim alatima. Jedina razlika je u hosting-u i aplikacija se ne nalazi na tipičnom web serveru, već se nalazi na ESP32.

II. KONFIGURISANJE INTEGRISANOG RAZVOJNOG OKRUŽENJA

Ceo proces se započinje instalacijom Arduino IDE (Integrated Development Environment) [3].

ESP32 treba dodati na listu postojećih razvojnih sistema: "Arduino IDE, File, Preferences, Additional Boards Manager URLs [4]."

Proširivanje liste postojećih razvojnih sistema sa ESP32: "Tools, Board, Boards Manager, esp32 i Install". Nakon uspešne instalacije, "ESP32 Arduino" će se pojaviti na listi dostupnih razvojnih sistema. Biće dostupno mnoštvo ESP32 razvojnih ESP32 razvojnih sistema, uključujući i "ESP32 Dev Module".

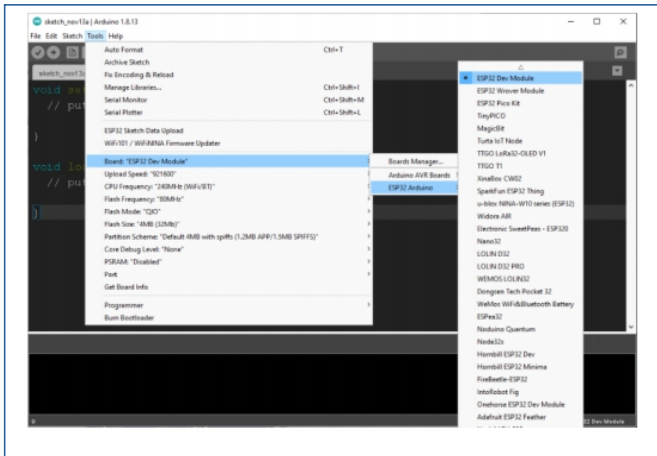
Dodavanje "ESP32 Sketch Data Upload" opcije omogućava postavljanje fajlova na SPIFFS. Možemo to zamisliti kao postavljanje frontend koda na ESP32 sistem. Dodatak (eng. plugin) [5] za postavljanje koda je potrebno kopirati unutar Arduino IDE foldera. Dodatak je potrebno iskopirati u sledeći direktorijum: "C:\Program Files

(x86)\Arduino\tools\ESP32FS\tool\esp32fs.jar".

Tamna tema za Arduino IDE je dostupna na [6]. Fajlovi od nove teme treba da zamene postojeće, u folderu: "C:\Program Files (x86)\Arduino\lib\theme". Poželjno je da se fajlovi od originalne teme takođe sačuvaju.

Fajlovi koji su potrebni, da bi uopšte bio moguć rad sa ESP32 su [7]. Navedene fajlove je potrebno otpakovati u lokalni Arduino folder: "C:\Users\Ivan Gutai (odgovarajuće korisničko ime)\Documents\Arduino\hardware\espressif\esp32". Treba napomenuti da je "esp32" folder zapravo preimenovani "arduinoesp32-master" folder.

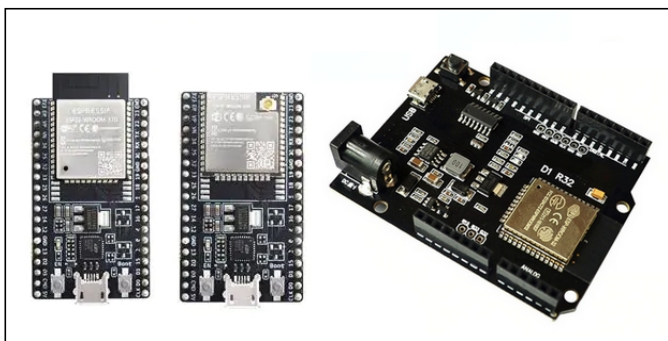
Ukoliko ESP32 razvojni sistem nije vidljiv u Device Manager-u, potrebno je instalirati drajvere za programer. Najpopularniji su CH340 [8] i CP210x [9]. Nakon uspešne konfiguracije, razvojni okruženje izgleda kao na slici 1.



Sl. 1. Arduino integrisano razvojni okruženje, konfigurisano za ESP32.

III. IZBOR ODGOVARAJUĆEG HARDVERA

ESP32 ima više varijacija. U ovom radu je korišćen ESP32-DevKitC-32D [10] sa integrisanom bakarnom antenom. Da je bilo potrebe da pojačavamo Wi-Fi signal, upotrebili bi ESP32-DevKitC-32U [11], sa zasebnom antenom. Ukoliko je neko navikao da radi sa Arduino Uno, postoji ESP32 koji fizički veoma sličan, a reč je o verziji Wemos D1 R32 [12]. Slika 2 prikazuje sva tri spomenuta tipa ESP32 razvojnih sistema.



Sl. 2. ESP32 razvojni sistemi: ESP32-DevKitC-32D, ESP32-DevKitC- 32U i ESP32 Wemos D1 R32.

IV. ISTRAŽIVANJE ESP-NOW TEHNOLOGIJE

Postoji kompletno uputstvo za konfigurisanje ESP-NOW, sa

više predajnika i sa više prijemnika [13]. ESP-NOW se koristi ukoliko imamo 2 ili više ESP32 uređaja, između kojih želimo da ostvarimo komunikaciju preko Wi-Fi-ja. Potrebno je istaći da je struktura podataka na predajniku i na prijemu mora biti identična. Ukoliko se odlučimo da koristimo enkriptovanu komunikaciju, LMK mora biti identičan i na prijemnicima i na predajnicima. Takođe, za Wi-Fi komunikaciju možemo izabrati kanale od 1 do 14. Paketi podataka od 250 bajta se šalju i primaju desetinama puta u sekundi, što ih čini pogodnim za podatke koji se brzo menjaju. Navedeni podaci se dobijaju sa uređaja koji vrše akviziciju podataka, kao što su merenje pozicije u prostoru i ugaonog ubrzanja.

V. DODELJIVANJE LOKALNE FIKSNE IP ADRESE UREĐAJU

Svaki put kada se uređaj poveže u kućnu ili industrijsku Wi-Fi mrežu, dobija različitu lokalnu IP adresu. Za to je odgovoran DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), što je u potpunosti u redu, ukoliko programer koristi uređaj, ali krajnji korisnik to ne želi. Iz navedenog razloga uređaju dodeljujemo fiksnu lokalnu IP adresu, koja se uklapa u parametre naše kućne Wi-Fi mreže. Na slici 3 je prikazana konfiguracija koju treba da primenimo.

```
IPAddress local_IP(192, 168, 1, 99);
IPAddress gateway(192, 168, 1, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 0, 0);
IPAddress primaryDNS(8, 8, 8, 8);
IPAddress secondaryDNS(8, 8, 4, 4);
```

Sl. 3. Postavljanje lokalne fiksne IP adrese i Google DNS (Domain Network Server) servera.

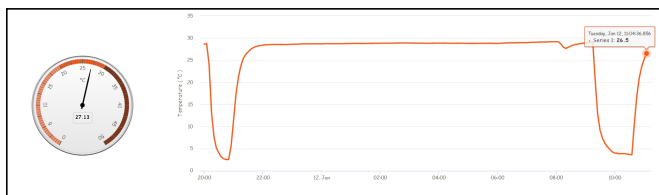
VI. ISTRAŽIVANJE SPIFFS TEHNOLOGIJE

Biblioteka koja omogućava kreiranje kućnog REST (Representational State Transfer) servera je dostupna na Github-u [14].

U Arduino IDE, sve dodatne biblioteke se preuzimaju na sledeći način: "Tools, Manage Libraries, search i install". Ključne reči su: "esp32 HTTPS", a zatim je potrebno instalirati "ESP32_HTTPS_SERVER" biblioteku. Iz navedene biblioteke, koristimo primer "REST-API". Pomoću ovog primera se generiše i Self Signed sertifikat, koji je koristan prilikom razvoja i omogućava upotrebu HTTPS-a. Fajlove sa ekstenzijama: .html, .js, .css i ostale, je potrebno smestiti u folder: "REST-API\data\public". Sve može biti postavljeno na SPIFFS, koristeći opciju iz Tools sekcije: "ESP32 Sketch Data Upload".

VII. KREIRANJE WEB INTERFEJSA IIoT UREĐAJA

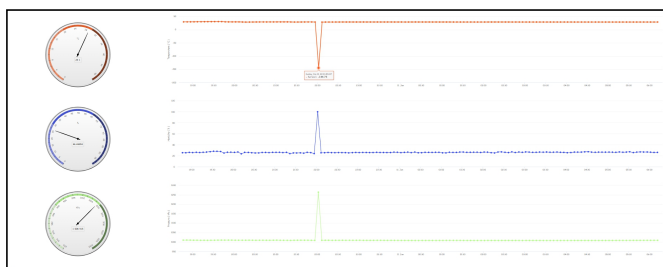
Slika 4 prikazuje deo prilagodljivog web interfejsa sa Highcharts bibliotekom [15], koja je zasnovana na JavaScript-u.



Sl. 4. Deo prilagodljivog interfejsa koji se sastoji od analogne skale i grafika.

VIII. UPRAVLJANJE GREŠKAMA I PREVAZILAŽENJE PROBLEMA

Prilikom kreiranja kompleksnih sistema, konstantno vodimo računa o desetinama komponenata. Pored sve pažnje, ponekad se desi da se zaborave osnovni principi, koji su stari koliko je staro i programiranje. Jedan od tih principa je žargonski rečeno, upravljanje "greškama" ili u preciznoj programerskoj terminologiji, upravljanje "izuzecima". Koji god termin koristili, svakako ne smemo da dozvolimo da do korisnika stigne pogrešna ili nepotpuna informacija. Na slici 5 je prikazan web interfejs u kom je zabeležen "loš" signal, koji je direktno plasiran sa hardvera.



Sl. 5. Web interfejs nakon primanja "lošeg" signala sa hardvera.

Tehnički gledano, u ovom slučaju nije reč o grešci, ali je očigledno da je reč o brojevima koji su izašli van opsega. Korisnik uređaja i/ili aplikacije, to ne želi da vidi. Ukoliko postoji verovatnoća da će se to dogoditi, to mora biti na neki način iskontrolisano, a korisniku treba da bude omogućen kontinualan ispravan rad uređaja, tj. sistema za akviziciju. Navedeni primer predstavlja podsetnik, da moramo biti svesni opsega brojeva koje očekujemo u svakoj komponenti kompleksnog sistema. Treba uzeti u obzir da prilikom očitavanja vrednosti sa senzora Bosch BME280 [16], koji omogućava merenje parametara okruženja, uključujući i atmosferski pritisak, vrednosti budu u opsegu od 300 hPa do 1100 hPa. Sve što je van navedenog opsega je rezultat nekog vida greške, npr. nepotrebnog preopterećenja sa hardverske strane, koje može da prouzrokuje povremena (eng. intermittent) očitavanja "loših" podataka sa senzora. Najveći problem kod povremenih grešaka je činjenica, da ne može da se utvrdi kada će se dogoditi i kako će se one izraziti. Takav tip podataka ne sme da dođe do korisnika, pošto je pogrešan, a takođe se ne sme ni sakriti. Korisniku moraju biti pružene precizne instrukcije šta da radi, bez mnogo tehničkih detalja. Tehnički detalji se zapisuju na takav način da programer može jasno da vidi šta se i kada se dogodilo. Frontend ima mnoštvo naprednih opcija za prikazivanje informacija korisniku, kao što su "toast" notifikacije i popunjavanje polja sa specifičnim porukama. Programeri imaju kreativnu slobodu da izaberu if..else if..else

ili try...catch...finally blokove. Dobra analiza sprečava prikaz pogrešnih informacija, kao što je atmosferski pritisak u dnevnoj sobi od 1264 hPa. Da bi bili u potpunosti sigurni da raspolažemo sa ažurnim informacijama, preporučljivo je da se koristi vremenska oznaka (eng. timestamp), Unix tipa, ili bilo koja druga. Vreme može biti očitano sa hardverske komponente kao što je DS3231 [17], preko NTP (Network Time Protocol) servera [18], ili na način po izboru čitaoca. Treba napomenuti da je vremenski žig vrlo bitno parče informacije i ako se pravilno koristi, omogućava da se grafici ne ažuriraju ukoliko ne postoje sveži podaci. Navedeni pristup sprečava širenje dezinformacija.

IX. TEST DEVELOPMENT

Odnos programiranja i testa mora biti bar 1:5. Ukoliko će uređaj imati industrijsku primenu, potrebno je još više testirati. Ekstremne vrednosti mogu biti korisne prilikom testiranja, zato što ako postoji i 1 % šansa da se nešto dogodi, to će se jednom i dogoditi. Kao programeri, moramo biti spremni da izađemo sa tim na kraj i da držimo stvar pod kontrolom. Jedna od prednosti sistema zasnovanom na ESP32, je mogućnost da web interfejs koristimo kao tzv. test bench. Moguće je povezati mnoštvo senzora, dodeliti im ID-je i pratiti njihova očitavanja, npr. na svakih 5 minuta u naredna 24 sata. Mikrokontroler ima dovoljno memorije da prati navedene parametre i bez web interfejsa. Možemo se odlučiti za web interfejs ukoliko želimo da pratimo očitavanja sa mnoštva senzora i da prikazujemo rezultate na uređajima sa velikim i preglednim ekranima, kao što su UHD (Ultra High Definition) televizori rezolucije 3840 px sa 2160 px. Pisanje medija upita (eng. media queries) nije ništa kompleksnije od pisanja medija upita za mobilne telefone i tablete i kreće od : "@media only screen and (max-width: 3840px) {}".

U sred pisanja firmware-a i kreiranja web aplikacije, korisno je pratiti "sirove" podatke (eng. raw data). Na slici 6 su prikazani podaci u JSON (JavaScript Object Notation) formatu, koji se ispisuju u konzoli internet pretraživača, koji su primljeni sa hardvera.

```

▼ Object
  ▶ BME280: {temperature: 28.11, humidity: 22.61328, pressure: 1008.238}
  ▶ MPU9250: {Accelerometer: {...}, Gyroscope: {...}, Magnetometer: {...}, Cal
  ▶ generatedNumbers: {}
  id: "MillenialDIY2020LE"
  unixTimeStamp: 1610439062
  ▶ __proto__: Object

```

Sl. 6. Primer prikaza podataka u JSON formatu, u konzoli web pretraživača.

Još jedna programerska praksa koja je primenjena, je davanje smislenih naziva promenljivim i njihovo adekvatno grupisanje. Vremenska oznaka 1610439062 prikazuje koliko je sekundi prošlo od 1. januara 1970. godine i predstavlja 12. januar 2021. godine u 08:11:02.

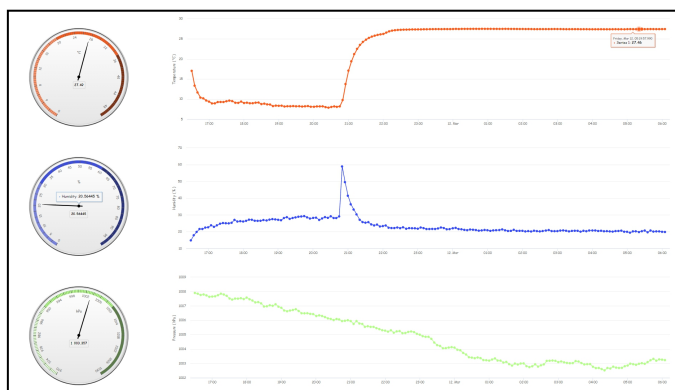
X. BIZNIS ANALIZA

Mladi inženjeri umeju često da pomešaju biznis analizu sa biznis planom. Biznis analiza nije biznis plan. Biznis analiza je oblast koja predstavlja integralni deo kreiranja bilo kakvog uređaja ili proizvoda, koji će krajnji korisnik koristiti.

Podjednako je kompleksno kao programiranje i projektovanje elektronskih kola, a biznis analitičari najčešće predstavljaju vezu (eng. link) između inženjera i krajnjih korisnika. Na neki način predstavljaju prevodioce, koji zajedno sa korisnicima kreiraju nacrt sistema, a zatim uz maksimalan napor programerima objašnjavaju šta je to što korisnik želi da dobije. Često su biznis analitičari eksperti u njihovim profesijama, koje ne moraju da budu inženjerske.

XI. REGULARAN WEB INTERFEJS

Na slici 7 je prikazan web interfejs na kom se vidi znatna promena temperature, a po očitavanju vlažnosti vazduha, na srednjem delu slike se može primetiti da je uređaj premešten iz hladnije prostorije u topliju.



Sl. 7. Web interfejs na kom se prikazuje znatna promena temperature.

Tri vrednosti koje se prikazuju se dobijaju sa istog senzora, Bosch BME280 i nema smisla slati 3 zahteva kada se proverava trenutna vrednost, već je dovoljno to uraditi jednom.

ZAHVALNICA

Rad su podržali Centar za metrologiju, Fakulteta tehničkih nauka i projekti KALCEA "Knowledge Triangle for a Low Carbon Economy" 618109-EPP-1-2020-1-EL-EPPKA2-CBHE-JP i "Razvoj naučno-stručnih metoda u oblasti metrologije, industrijsko-tehničkih merenja u digitalnom konceptu Industrije 4.0, biomedicinskih mernih sistema i kognitivnih neuronauka primenom napredne metodologije i digitalne tehnologije". Svako pitanje koje student postavi, otvara niz novih mogućnosti i dobar deo ovog rada je nastao upravo kao odgovor na najčešće postavljena pitanja.

ZAKLJUČAK

Ovaj rad je namenjen svim ambicioznim ljudima, koji ulaze u svet kreiranja uređaja, kao i u programiranje. Takođe, namenjen je i iskusnim programerima i hobistima. Ovaj rad je dokaz koncepta, da je uz entuzijazam moguće krenuti sa izradom industrijskog uređaja, po ceni nižoj od 10\$. Ove činjenice omogućavaju korišćenje ovog hardvera i u zemljama u razvoju. Po mišljenju autora, Highcharts se vremenom

nametnuo kao vredna zamena Chart.js-u [19], a da je Apache ECharts [20] nešto što bi moglo u skorijoj budućnosti da postane zanimljivo.

LITERATURA

- [1] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>
- [2] https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html
- [3] <https://www.arduino.cc/en/software>
- [4] https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json
- [5] <https://github.com/me-no-dev/arduino-esp32fs-plugin/releases/>
- [6] <https://github.com/jeffThompson/DarkArduinoTheme>
- [7] <https://github.com/espressif/arduino-esp32>
- [8] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-install-ch340-drivers/all>
- [9] <https://www.silabs.com/developers/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>
- [10] <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-DevKitC-32D?qs=%252BEew9%252B0nqrDsObWEpDx6YQ==>
- [11] <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-DevKitC-32U/?qs=%252BEew9%252B0nqrCEVvpkdh%2FG5Q%3D%3D>
- [12] <https://www.aliexpress.com/item/4001136108709.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.7a9b4c4dMRyFWh>
- [13] <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-esp32-arduino-ide/>
- [14] https://github.com/fhessel/esp32_https_server
- [15] <https://www.highcharts.com/>
- [16] <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
- [17] <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/real-time-clocks/DS3231.html>
- [18] <https://www.pool.ntp.org/zone/rs>
- [19] <https://www.chartjs.org/>
- [20] <https://echarts.apache.org/en/index.html>

ABSTRACT

Abstract: Prior to IIoT (The Industrial Internet of Things), embedded programming and frontend development didn't even found themselves in the same sentence. Hardware that enables seamless integration of these two vast areas is the Espressif ESP32 MCU (MicroController Unit). Once numerous devices were connected to the internet, the security of data became the focal point. ESP-NOW technology is Espressif's proprietary solution for wireless data transfer. It can be encrypted and it enables secure communication between multiple ESP32's. HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) is a protocol that increases security on the internet. This article provides a guide for configuring a development environment for ESP32, ESP-NOW example, HTTPS server example, and programming practice intended for error handling. In addition, it offers a responsive example of a graphical user interface of the IIoT device. At the moment, there are numerous possible paths in embedded and frontend programming. This paper follows the path using ESP32 as the hardware, and C++ for the firmware. JavaScript, HTML5, and CSS3 are unavoidable parts of modern industrial devices. Hence, the article provides an example of using JavaScript Highcharts library. This combination of hardware and software is the solution that costs less than 10\$, which makes it acceptable in countries under development. Highcharts library is proprietary, and for educational purposes, it is used under Creative Commons (CC) Attribution-Non-Commercial license.

An educational approach to an encrypted data transfer in an embedded and frontend development environment

Ivan Gutai, Platon Sovilj, Marina Subotin, Marjan Urekar, Jelena Milojević, Milica Mitrović

Edukativni primer generisanja i obrade podataka uz alate dostupne u .NET 5, u domenu Metrologije

Ivan Gutai, Member, IEEE, Prof. dr Platon Sovilj, Member, IEEE, Marina Subotin, Member, IEEE, Đorđe Novaković, Member, IEEE, Nemanja Gazivoda, Member, IEEE, Bojan Vujičić, Member, IEEE

Apstrakt— Baze podataka predstavljaju oslonac kompletne aplikacije, a kreiranje arhitekture i izbor adekvatnih tehnologija iz godine u godinu postaje kompleksnije. Ovaj rad je kreiran kao praktično uputstvo i oslanja se na najnoviju iteraciju popularnog programskog jezika C# 9 i na relacionu bazu podataka, Microsoft-ov SQL Server, skraćeno MSSQL. Entity Framework Core je tehnologija koja značajno olakšava kreiranje i rad sa bazom podataka. Primenjen je eng. code first pristup i iz C# koda je kreirana baza podataka sa dve povezane tabele i inicijalno je popunjena tabela koja predstavlja šifarnik. Nakon kreiranja tabela, iz SQL Server Management Studio (SSMS) su kreirane dve skripte koje omogućavaju kreiranje tabela, bez upotrebe C# koda, tj. napisane su kao Structured Query Language (SQL) skripte. Kreirana je C# aplikacija koja generiše milion zapisa, koji zauzimaju 100 MB u relacionoj bazi i 152 MB kada se serijalizuju u JSON fajl uz pomoć Json.NET-a. Dat je primer korišćenja Xunit alata za testiranje. Dati su primeri proširivanja LINQ (Language-Integrated Query) funkcija Median i Mean. Prikazana su dva načina za očitavanje vrednosti iz baze, uz pomoć LINQ-a i uz pomoć SQL-a.

Ključne reči— RDBMS; T-SQL; Entity Framework Core; LINQ; TDD; XUnit; Json.NET; C# 9; .NET 5; Metrologija;

I. UVOD

Izabrana tehnologija je .NET 5, koja daje naprednije mogućnosti za pisanje višeplatformskih aplikacija. Zbog izuzetne širine, preporučljivo je prvo pročitati [1] i [2], u kojima su detaljno opisane novine koje su unete u programski jezik C# krajem 2020. godine, ali i mnogi osnovni algoritmi. U ovom radu je akcenat stavljen na upotrebu tehnologija za projektovanje i razvoj sistema koji nam omogućava da pisanjem SQL upita ili programski dođemo do rezultata, da ih filtriramo i na kraju sortiramo. Istovremena upotreba LINQ-a i SQL-a za manipulaciju podacima iz baze, predstavlja na neki način verifikaciju LINQ upita.

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).

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

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

II. IZBOR INTEGRISANOG RAZVOJNOG OKRUŽENJA

Za razvoj .NET aplikacija su u startu potrebni Visual Studio IDE (Integrated Development Environment) [3] i SDK (Software Development Kit) [4]. Visual Studio Community 2019 je alat, čije će mogućnosti kasnije biti proširivane sa paketima iz NuGet Package Manager-a kao što su: EntityFrameworkCore, EntityFrameworkCore Design, EntityFrameworkCore SqlServer, EntityFrameworkCore Tools, NET.Test.Sdk, NETCore TestHost, xunit, xunit.runner.console, xunit.runner.visualstudio i Newtonsoft.Json. Navedeni alat je besplatan, a samo zahteva logovanje korisnika sa svojim Hotmail nalogom u Visual Studio.

III. .NET 5

Nekoliko godina Microsoft potencira tzv. cross platform razvoj i svake godine nam daje alate, u okviru .NET Core-a, koji to olakšavaju. Naravno, .NET pruža i dalje razvoj aplikacija koje će raditi isključivo na Windows operativnom sistemu, kao što su UWP (Universal Windows Platform) aplikacije, ali omogućava i pravljenje servisa, web ili desktop aplikacija, koje će biti dostupne na različitim platformama. Razlika između .NET Framework i .NET Core je što je inicijalno .NET Core mnogo manji i mi sami biramo koju komponentu framework-a želimo da koristimo u aplikaciji koju pravimo. Da ne bi bilo zabune, definisan je .NET Standard, koji npr. u verziji 2.0 označava koje zajedničke funkcionalnosti imaju .NET Core 2.0 i klasični .NET Framework 4.6.1. [5]. Takođe, .NET Core je izlazio u verzijama 1, 2, 3, pa je 4 preskočena, a aktuelna verzija 5, se označava samo kao .NET 5 (bez Core).

IV. IZBOR BAZE PODATAKA

Dva osnovna mesta za skladištenje podataka su RDBMS (Relational Database Management System) i NoSQL baze podataka. Nekoliko popularnijih RDBMS su: Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL i SQLite. Nekoliko popularnijih NoSQL su: Microsoft Azure Cosmos DB, Redis, MongoDB i Apache Cassandra. Ukoliko neko želi da pristupa podacima direktno iz baze, logičan izbor je pisanje SQL upita za RDBMS i pisanje GraphQL upita za NoSQL. U daljem tekstu RDBMS je označen kao relaciona baza, a NoSQL kao nerelaciona baza. Priča o tome koji tip baze podataka je bolji, podseća na priču o tome koji je programski jezik bolji. Jednostavno, ta odluka je na osobi koja projektuje sistem, a u ovom radu je izabrana relaciona baza Microsoft

SQL Server 2019 Express [6], a direktan pristup se vrši preko SSMS (SQL Server Management Studio) [7].

V. KREIRANJE RELACIONE BAZE PODATAKA

U nazivu "EDUG\GI_JOE", "EDUG" je naziv servera, a "GI_JOE" je naziv instance. Baza podataka ima naziv "Expo2021". A u njoj se nalaze 3 tabele: BME280Results, Locations i __EFMigrationsHistory, koja služi za praćenje izmena, a "EF" je skraćeno od "Entity Framework". Tabela Locations ima kolone LocationID i LocationName i stavke 1 i 2 za Office i Balcony, respektivno. Mala i praktična optimizacija, da se vrednosti koje se ponavljaju ne bi iznova upisivale u BME280Results tabelu. BME280ResultID, Timestamp, Temperature, RelativeHumidity, Pressure, LocationID predstavljaju nazive kolona u BME280Results tabeli. Ključevi u tabelama su sledeći:

- ✓ BME280Results tabela, PK_BME280Results i FK_BME280Results_Locations_LocationID,
- ✓ Locations tabela, PK_Locations.

Ukratko, tabela BME280Results ima sekundarni ključ u tabeli Locations, a vezani su sa LocationID-jem. Primarni ključevi u navedenim tabelama su njihove ID kolone. PK i FK su skraćenice od "primary" i "secondary" key, respektivno.

Prvi način kreiranja tabela je bio preko Entity Framework-a. Tačnije, napiše se C# kod (code first pristup) i u konzoli (Package Manager Console) upišemo komande: "Add-Migration" sa nazivom npr. "Initial" i "Update-Database". Za razvoj je korišćen konekcioni string: "Data Source=EDUG\GI_JOE;Initial Catalog=Expo2021;Integrated Security=true;". Drugi način je da se sve to uradi direktno iz SQL-a, što zahteva znatno više vremena. Treći način je da izaberemo u koju bazu ćemo dodavati tabele, a zatim da pokrenemo SQL skripte sa slike 1 i slike 2.

```
USE [Expo2021]
GO

/***** Object: Table [dbo].[Locations]
Script Date: 26.3.2021. 13:16:24 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [dbo].[Locations](
    [LocationID] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [LocationName] [nvarchar](max) NULL,
    CONSTRAINT [PK_Locations] PRIMARY KEY CLUSTERED
    (
        [LocationID] ASC
    )
) WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY] TEXTIMAGE_ON [PRIMARY]
GO
```

Sl. 1. SQL skripta koja omogućava kreiranje tabele Locations, koja je povezana sa tabelom BME280Results.

```
USE [Expo2021]
GO

/***** Object: Table [dbo].[BME280Results]
Script Date: 26.3.2021. 13:16:43 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [dbo].[BME280Results](
    [BME280ResultID] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [Timestamp] [datetime2](7) NOT NULL,
    [Temperature] [money] NOT NULL,
    [RelativeHumidity] [money] NOT NULL,
    [Pressure] [money] NOT NULL,
    [LocationID] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_BME280Results] PRIMARY KEY CLUSTERED
    (
        [BME280ResultID] ASC
    )
) WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON, OPTIMIZE_FOR_SEQUENTIAL_KEY = OFF) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO

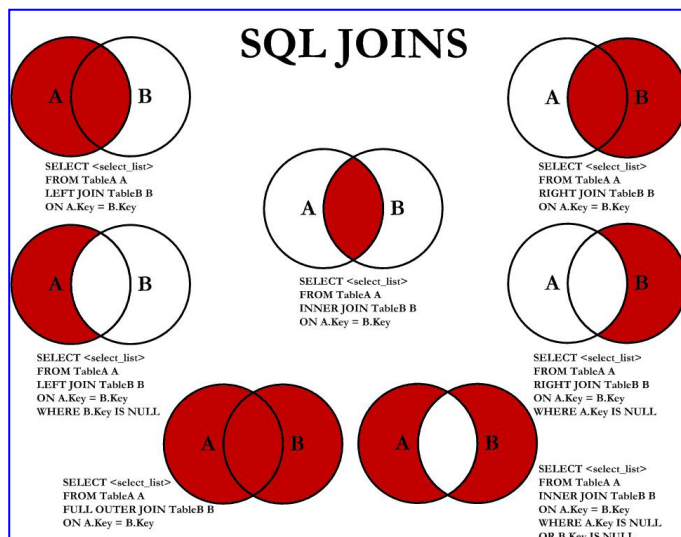
ALTER TABLE [dbo].[BME280Results]
ADD DEFAULT (getdate()) FOR [Timestamp]
GO

ALTER TABLE [dbo].[BME280Results] WITH CHECK
ADD CONSTRAINT [FK_BME280Results_Locations_LocationID] FOREIGN KEY([LocationID])
REFERENCES [dbo].[Locations] ([LocationID])
ON DELETE CASCADE
GO

ALTER TABLE [dbo].[BME280Results]
CHECK CONSTRAINT [FK_BME280Results_Locations_LocationID]
GO
```

Sl. 2. SQL skripta koja omogućava kreiranje tabele BME280Results, koja je povezana sa tabelom Locations.

Bitan je redosled kojim se navedene skripte pozivaju, zbog međusobne zavisnosti ključeva. Interesantna je i opcija kreiranje View-a u SQL-u, koji na prvi pogled liči na tabelu, a u stvari prikazuje sadržaj iz jedne ili više tabela, u zavisnosti kako to definišemo. Praktičan podsetnik koji detaljnije objašnjava pisanje upita za tzv. spajanje tabela [8] je prikazan na slici 3.



Sl. 3. Vizuelni prikaz razlika između različitih JOIN funkcija.

VI. ENTITY FRAMEWORK CORE TEHNOLOGIJA

Ko se opredeli za .NET tehnologiju, jedan od benefita je Entity framework Core tehnologija, koja omogućava da se upotrebom C# manipuliše bazom podataka, od kreiranja, preko menjanja kolona, do rada sa sadržajem. Na slici 4 je

prikazan C# kod koji definiše imena tabela, nazive i tipove kolona koji su kreirani u bazi, a "[Column(TypeName = "money")] " predstavlja jedan od atributa anotacije u Entity Framework Core-u.

```
public class Location
{
    [Key]
    public int LocationID { get; set; }
    public string LocationName { get; set; }
    public virtual ICollection<BME280Result> BME280Results { get; set; }
    public Location()
    {
        this.BME280Results = new List<BME280Result>();
    }
    public class BME280Result
    {
        [DatabaseGenerated(DatabaseGeneratedOption.Identity)]
        public int? BME280ResultID { get; set; }
        [DatabaseGenerated(DatabaseGeneratedOption.Identity)]
        public DateTime Timestamp { get; set; }
        [Column(TypeName = "money")]
        public decimal Temperature { get; set; }
        [Column(TypeName = "money")]
        public decimal RelativeHumidity { get; set; }
        [Column(TypeName = "money")]
        public decimal Pressure { get; set; }
        public int LocationID { get; set; }
        public virtual Location Location { get; set; }
    }
}
```

Sl. 4. C# kod koji definiše imena tabela, nazive i tipove kolona koji su kreirani u bazi.

VII. GENERISANJE I UČITAVANJE PODATAKA UPOTREBOM C# PROGRAMSKOG JEZIKA

Na slikama 5 i 6 su prikazane funkcije koje omogućavaju manipulaciju nad podacima u bazi.

```
public void GenerateNItems(int NoOfItems)
{
    using (var db = new DatabaseContext())
    {
        for (int i = 1; i < NoOfItems + 1; i++)
        {
            var newEntry = new BME280Result();
            //newEntry.BME280ResultID = i;
            newEntry.Temperature = GetRandomNumberInRange(23, 32);
            newEntry.RelativeHumidity = GetRandomNumberInRange(40, 60);
            newEntry.Pressure = GetRandomNumberInRange(1010, 1030);
            newEntry.LocationID = (int)GetRandomNumberInRange(1, 3);
            db.BME280Results.Add(newEntry);

            if (i % 10000 == 0)
            {
                var count = db.SaveChanges();
                Console.WriteLine("{0} records saved to database", count);
            }
            else if (i == NoOfItems)
            {
                var count = db.SaveChanges();
                Console.WriteLine("{0} records saved to database", count);
            }
            //count = db.SaveChanges();
        }
        //Console.WriteLine("{0} records saved to database", count);
    }
}
```

Sl. 5. C# kod koji predstavlja funkciju za kreiranje n stavki u bazi.

```
public void LoadNItems(int NoOfItems)
{
    using (var db = new DatabaseContext())
    {
        Console.WriteLine("{0,16} | {1,-27} | {2,13:N2} | {3,18:N2}" +
            " | {4,10:N2} | {5,14:N2} |", "[BME280ResultID]",
            "[Timestamp]", "[Temperature]", "[RelativeHumidity]",
            "[Pressure]", "[LocationName]");

        var data = db.BME280Results.Join(
            inner: db.Locations,
            outerKeySelector: bm => bm.LocationID,
            innerKeySelector: lo => lo.LocationID,
            resultSelector: (b, l) =>
            new { b.BME280ResultID, b.Timestamp, b.Temperature,
                b.RelativeHumidity, b.Pressure, l.LocationName }).Take(NoOfItems);

        foreach (var item in data)
        {
            Console.WriteLine("{0,16} | {1,27:dd.MM.yyyy. H:mm:ss zzz}" +
                " | {2,-13:N2} | {3,-18:N2} | {4,-10:N2} | {5,14} |"
                , item.BME280ResultID, item.Timestamp, item.Temperature,
                item.RelativeHumidity, item.Pressure, item.LocationName);
        }
    }
}
```

Sl. 6. C# kod koji predstavlja funkciju za učitavanje n stavki iz baze uz upotrebu LINQ-a.

VIII. OSNOVNI SQL UPITI

Na slikama 7 i 8 su prikazani SQL upiti i rezultati, koji omogućavaju sledeće:

- ✓ Selektovanje i kombinovanje rezultata iz dve tabele, od kojih je jedna šifarnik.
- ✓ Selektovanje i grupisanje rezultata u odnosu na lokacije sa kojih su preuzeti podaci.
- ✓ Prikaz modusa iz određene kolone, npr. RelativeHumidity.
- ✓ Funkcija TRUNCATE koju treba koristiti isključivo prilikom testiranja i razvoja. Ova funkcija momentalno briše sve stavke i brojač ID-a vraća na inicijalnu vrednost. Npr. Ako se obrišu sve stavke na ovaj način, prvi sledeći ID koji će biti dodeljen je podrazumevani, u ovom slučaju 1.
- ✓ Funkcija DELETE briše stavke po određenom kriterijumu, a njenom upotrebom se ne gubi zapis o ID-ju stavki. Npr. Ako se obrišu sve stavke na ovaj način, prvi sledeći ID koji će biti dodeljen je 100001.

```
SELECT TOP (2) B.BME280ResultID, B.Timestamp,
B.RelativeHumidity, L.LocationName
FROM [Expo2021].[dbo].[BME280Results] AS B
INNER JOIN [Expo2021].[dbo].[Locations] AS L
ON B.LocationID = L.LocationID
ORDER BY BME280ResultID DESC

SELECT L.LocationName, COUNT(*) AS Items
FROM [Expo2021].[dbo].[BME280Results] AS B
INNER JOIN [Expo2021].[dbo].[Locations] AS L
ON B.LocationID = L.LocationID
GROUP BY L.LocationName;

SELECT TOP (2) B.RelativeHumidity, COUNT(*) AS NoOfItems
FROM [Expo2021].[dbo].[BME280Results] AS B
INNER JOIN [Expo2021].[dbo].[Locations] AS L
ON B.LocationID = L.LocationID
GROUP BY B.RelativeHumidity
ORDER BY NoOfItems DESC

-- TRUNCATE TABLE [Expo2021].[dbo].[BME280Results]

/*
DELETE FROM [Expo2021].[dbo].[BME280Results]
WHERE BME280ResultID > 1000000
*/
```

Sl. 7. SQL upiti koji omogućuju: izlistavanje rezultata, grupisanje rezultata po lokacijama, prikaz modusa za izabranu veličinu i brisanje podataka.

BME280ResultID	Timestamp	RelativeHumidity	LocationName
1	2021-03-26 14:10...	55,4484	Office
2	2021-03-26 14:10...	44,8757	Office

LocationName	Items
1	Balcony 499152
2	Office 500848

RelativeHumidity	NoOfItems
1	55,9208 20
2	58,8922 17

Sl. 8. Rezultati SQL upita koji prikazuju TOP n stavki, agregaciju podataka sa dve lokacije i modusa.

IX. PROGRAMIRANJE VOĐENO TESTOM

TDD (Test driven development) i Unit testovi su postali deo žargona u IT industriji. Najprostiji opis je pisanje koda koji testira kod i daje rezultate o njegovoj ispravnosti. Zasniva se na "AAA principu", tj. "Arrange", "Act" i "Assert", kako god se test framework zvaio, a u ovom slučaju je to xUnit [9]. U delu "Arrange" pišemo pretpostavku, u "Act" testiramo funkciju, a u zavisnosti od rezultata, u "Assert"-u je određeno da li je test uspešan ili ne. Interesantno je da ukoliko test "padne", opisano je zbog čega se to desilo. TDD je praktičan na velikim projektima i olakšava regresione testove, zato što automatski proverava da li je nova funkcionalnost narušila neku staru. Na slici 9 je prikazan kod jednog testa i rezultati svih testova u Test explorer-u.

```

67 [Fact]
68 public void CalculateModeForRelativeHumidity()
69 {
70     // arrange
71     decimal expected = 55.9288M;
72     // act
73     decimal? actual = Mode.Mode_RelativeHumidity();
74     // assert
75     Assert.Equal(expected, actual);
76 }
77

```

Test	Duration	Traits	Error Message
GenerateAndProcess (3)	21,6 sec		
GenerateAndProcess (3)	21,6 sec		
CustomUnitTests (3)	21,6 sec		
CalculateModeForPressure	8,1 sec		
CalculateModeForRelativeHumidity	7,1 sec		
CalculateModeForTemperature	6,4 sec		Assert.Equal() Failure Expected: 10 Actual: 29,4203

Sl. 9. C# kod jednog testa i rezultati svih testova u Test explorer-u.

Testove treba pisati tako da testiraju stvarne funkcionalnosti, a ne da povećavamo broj testova koji uspešno prolaze. U xUnit-u test je označen sa "[Fact]".

X. PROŠIRIVANJE UGRAĐENIH LINQ FUNKCIJA

Osnovna ideja matematičke statistike jeste da se istraživanja sprovedu na uzorku i da se na osnovu njih donesu zaključci koji se proširuju na populaciju. Statistika koju poseduje LINQ je srednja vrednost (average), a statistike koje su dodate jesu medijana (median) i modus (mean), slika 10.

```

namespace System.Linq
{
    public static class MyLinqExtensions
    {
        // this is a chainable LINQ extension method
        public static IEnumerable<T> ProcessSequence<T>(this IEnumerable<T> sequence)
        {
            // you could do some processing here
            return sequence;
        }

        [Integers]
        public static decimal? Median(this IEnumerable<decimal> sequence)
        {
            int numberCount = sequence.Count();
            int halfIndex = sequence.Count() / 2;
            var sortedNumbers = sequence.OrderBy(n => n);
            decimal median;
            if ((numberCount % 2) == 0)
            {
                return median = Convert.ToDecimal(((sortedNumbers.ElementAt(halfIndex)
                    + sortedNumbers.ElementAt(halfIndex - 1)) / 2));
            }
            else
            {
                return median = Convert.ToDecimal(sortedNumbers.ElementAt(halfIndex));
            }
        }

        public static decimal? Median<T>(this IEnumerable<T> sequence, Func<T, decimal> selector)
        {
            return sequence.Select(selector).Median();
        }

        public static decimal? Mode(this IEnumerable<decimal> sequence)
        {
            var mode = sequence.GroupBy(n => n)
                .OrderByDescending(g => g.Count())
                .Select(g => g.Key)
                .FirstOrDefault();
            return mode;
        }

        public static decimal? Mode<T>(this IEnumerable<T> sequence, Func<T, decimal> selector)
        {
            return sequence.Select(selector).Mode();
        }
    }
}

```

Sl. 10. C# kod koji služi za proširivanje funkcija medijane i modusa.

Na slici 11 su prikazane srednje vrednosti, medijane i modusi za 1000000 zapisanih vrednosti, koje sadrže informacije o temperaturi, relativnoj vlažnosti vazduha i pritisku.

```

Mean Temperature: 27,5015
Mean RelativeHumidity: 50,0046
Mean Pressure: 1.020,0059
Median Temperature: 27,5001
Median RelativeHumidity: 50,0038
Median Pressure: 1.020,0053
Mode Temperature: 29,4203
Mode RelativeHumidity: 55,9208
Mode Pressure: 1.018,8240

```

Sl. 11. Rezultati LINQ upita za Average, Mean i Median

Poređenjem rezultata sa slika 8 i 11 se može primetiti da je i LINQ upit ispravno napisan i da rezultati odgovaraju rezultatima dobijenim preko SQL upita.

XI. PRIMER SERIJALIZACIJE PODATAKA

Svaki put kada se spominju podaci, na backend-u se često priča o: boxing, unboxing, serialization i deserialization. Prva dva se odnose na objekat, a druga dva na "spuštanje" ili uzimanje objekta iz npr. fajla. Na slikama 12 i 13 je prikazana funkcija koja omogućava serijalizaciju podataka u zatom obliku, a zatim su prikazani rezultati sa dve stavke, pošto nije baš jednostavno ni na modernom PC-ju otvoriti json fajl od 152 MB, sa svih 1000000 zapisa.

```

public IQueryable generateJSON(int NoOfItems)
{
    using (var db = new DatabaseContext())
    {
        var data = db.BME280Results.Join(
            inner: db.Locations,
            outerKeySelector: bm => bm.LocationID,
            innerKeySelector: lo => lo.LocationID,
            resultSelector: (b, l) =>
                new { b.BME280ResultID, b.Timestamp, b.Temperature, b.RelativeHumidity,
                    b.Pressure, l.LocationName }).Take(NoOfItems).OrderByDescending(b => b.BME280ResultID);

        var results = data.ToList();

        JObject json =
            new JObject(
                new JProperty("id", "MilleniaIDIY2020LE"),
                new JProperty("BME280",
                    new JSONArray(
                        from p in results
                        orderby p.Timestamp
                        select new JObject(
                            new JProperty("BME280ResultID", p.BME280ResultID),
                            new JProperty("Timestamp", p.Timestamp),
                            new JProperty("Temperature", p.Temperature),
                            new JProperty("RelativeHumidity", p.RelativeHumidity),
                            new JProperty("Location", p.LocationName),
                            new JProperty("Pressure", p.Pressure)))));

        File.WriteAllText(@"c:\results.json", JsonConvert.SerializeObject(json));

        // serialize JSON directly to a file
        using (StreamWriter file = File.CreateText(@"c:\results.json"))
        {
            JsonSerializer serializer = new JsonSerializer();
            serializer.Serialize(file, json);
        }

        return data;
    }
}

```

Sl. 12. C# kod koji omogućava da se pomoću LINQ upita izvezu podaci za Average, Mean i Median.

```

{
  "id": "MilleniaIDIY2020LE",
  "BME280": [
    {
      "BME280ResultID": 1000001,
      "Timestamp": "2021-03-30T10:41:23.0433333",
      "Temperature": 28.9234,
      "RelativeHumidity": 57.7886,
      "Location": "Office",
      "Pressure": 1020.5552
    },
    {
      "BME280ResultID": 1000002,
      "Timestamp": "2021-03-30T10:41:23.0833333",
      "Temperature": 27.1621,
      "RelativeHumidity": 47.7860,
      "Location": "Office",
      "Pressure": 1019.2326
    }
  ]
}

```

Sl. 13. Sadržaj json fajla.

ZAHVALNICA

Rad su podržali Centar za metrologiju, Fakulteta tehničkih nauka i projekti KALCEA "Knowledge Triangle for a Low Carbon Economy" 618109-EPP-1-2020-1-EL-EPPKA2- CBHE-JP i "Razvoj naučno-stručnih metoda u oblasti metrologije, industrijsko-tehničkih merenja u digitalnom konceptu Industrije 4.0, biomedicinskih mernih sistema i kognitivnih neuronauka primenom napredne metodologije i digitalne tehnologije". Hvala Microsoft-u što na godišnjem nivou daje nove alate koji olakšavaju rad programerima.

ZAKLJUČAK

Iako je programiranje podeljeno na backend i frontend, tzv. "fullstack development" omogućava korišćenje najboljih stvari iz oba domena, a to su pisanje algoritama i

optimizovanje, kao i smišljanje korisničkog interfejsa. Dobre stvari koje postoje u programiranju ne nestaju, već jednostavno menjaju ime. Npr. Microsoft-ova tehnologija Silverlight i WPF (Windows Presentation Foundation) aplikacije jesu sad stvar prošlosti, ali se XAML (Extensible Application Markup Language), koji je bio sastavna komponenta, jednostavno nastavio koristiti i dalje. Sada se XAML koristi u Xamarin-u, koji omogućava pisanje aplikacija namenjenih za Android operativni sistem. Sada je aktuelna verzija C# 9, a interesantan zapis brojeva je omogućen od verzije 8, npr. da se milion iskaže kao 1_000_000. Još jedan pokazatelj da programski jezici postaju napredniji, je dodavanje podrazumevanog metoda u interfejs, što je u ranijim verzijama C# bilo nezamislivo. U vremenu kada se pojavljuje mnogo novih tehnologija, ko savlada bilo koji "fullstack" set tehnologija, dobija mogućnost efektivnijeg prilagođavanja na novine koje se dešavaju.

LITERATURA

- [1] C# 9 and .NET 5 – Modern Cross-Platform Development: Build intelligent apps, websites, and services with Blazor, ASP.NET Core, and Entity Framework Core using Visual Studio Code, 5th Edition ISBN-13 : 978-1800568105
- [2] Fundamentals of Computer Programming with C#: Programming Principles, Object-Oriented Programming, Data Structures (free programming books) ISBN-13 : 978-9544007737
- [3] <https://visualstudio.microsoft.com/>
- [4] <https://dotnet.microsoft.com/download/visual-studio-sdks>
- [5] <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/net-standard>
- [6] <https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-downloads>
- [7] <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/ssms/download-sql-server-management-studio-ssms?view=sql-server-ver15>
- [8] <https://clmoffatt.com/visual-sql-joins/>
- [9] <https://xunit.net/>

ABSTRACT

Databases represent the backbone of entire applications and creating architecture and choice of adequate technologies annually get more complex. This paper is created as a user manual and uses the newest iteration of popular programming language C# 9 and relational database Microsoft's SQL Server abbreviated MSSQL. Entity Framework Core is a technology that eases the creation and usage of a database. The code first approach is applied, and a database is created from C# code. It has two interconnected tables, and one has initial data and serves as a codebook. After creating tables, from SQL Server Management Studio (SSMS) two scripts are created, without the usage of C#, instead, they are written as Structured Query Language (SQL) scripts. C# application that generates one million records. This takes 100 MB in a relational database and 152 MB when serialized in a JSON file using Json.NET. An example with testing tool Xunit is described. LINQ (Language-Integrated Query) functions Mean and Median are extended. Two ways for getting data from the database are described, using LINQ and using SQL.

AN EDUCATIONAL APPROACH TO GENERATING AND ANALYSING DATA WITH TOOLS AVAILABLE IN .NET 5, IN METROLOGY DOMAIN

Ivan Gutai, Platon Sovilj, Marina Subotin, Đorđe Novaković, Nemanja Gazivoda, Bojan Vujičić