

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.

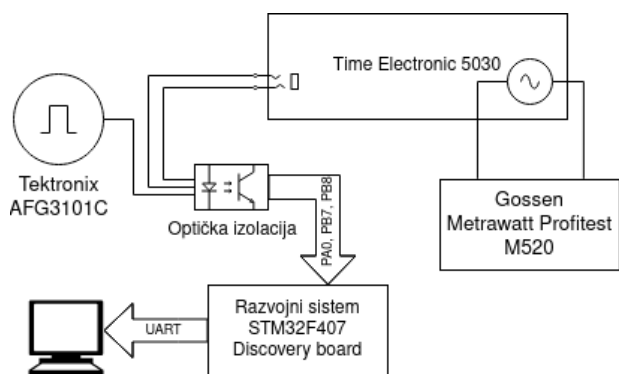
Usledilo je detaljno ispitivanje kako bi se došlo do odabira odgovarajuće metode etaloniranja i zatim je usledio razvoj

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:

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

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

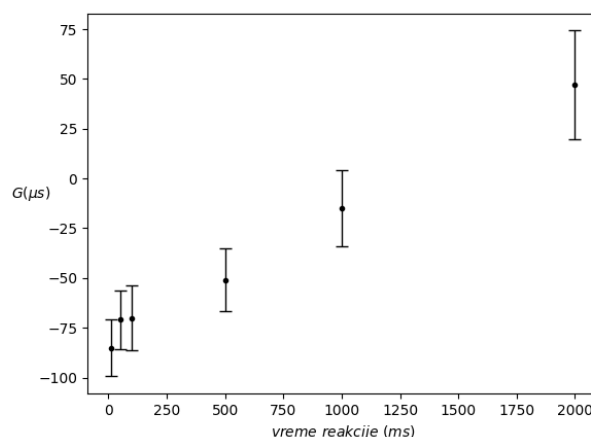
U tabeli 3 su prikazani parametri vremena reakcije postavljeni na objektu etaloniranja, greška merenja (razlika između vrednosti postavljene na objektu etaloniranja i vrednosti etalonskog sistema) i vrednosti odgovarajućih mernih nesigurnosti etaloniranja etalonskim mernim sistemom.

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