

# Unapređenje postojeće metode asinhronog uzorkovanja pri određivanju RMS vrednosti

Stefan Mirković, Dragan Pejić, Marjan Urekar, Bojan Vujičić, Đorđe Novaković

**Apstrakt**—Izmenom opšteprihvaćenih definicija efektivne (RMS) i srednje vrednosti periodičnog signala, objašnjeno je poboljšanje određivanja efektivne i srednje vrednosti periodičnog signala metodom asinhronog uzorkovanja. Simulacijom metodom je pokazano da početni momenat odabiranja signala značajno utiče na rezultat merenja. Objasnjeni su principi merenja signala asinhronim uzorkovanjem, kao i uslovi za minimalno rasipanje rezultata merenja. Pored objašnjenja merenja tradicionalnim metodama, analizirana je i objašnjena predložena metoda merenja koja se pokazala kao efikasnija. Nakon uvoda u problematiku tradicionalne metode i objašnjena rasipanja rezultata, grafički su prikazani rezultati simulacije koja daje prednost predloženoj metodi. U zaključku su razmatrane mogućnosti unapređenja tradicionalne metode merenja u praksi.

**Ključne reči**— efektivna vrednost; srednja vrednost; merenje signala; asinhrono uzorkovanje; metrologija.

## I. UVOD

Merenje električnih signala primenom analogno digitalnih (AD) konvertora se svodi na uzimanje trenutne vrednosti merenog signala u diskretnim vremenskim trenucima, koje generiše takt AD konvertora-takt uzorkovanja. Izmerena vrednost signala pri svakom taktu naziva se uzorak (odbirak, *empl*, engl. *sample*), a ovakva metoda merenja naziva se uzorkovanje (odabiranje, *semplovanje*, engl. *sampling*). S obzirom na vremenske razmake u kojima se uzimaju uzorci, uzorkovanje može biti uniformno i neuniformno. Kod uniformnog uzorkovanja, vreme između uzimanja dva uzorka signala je uvek isto, što nije slučaj kod neuniformnog uzorkovanja. S obzirom na sinhronizaciju merenog signala i takta uzorkovanja, uzorkovanje može biti sinhrono i asinhrono.

Sinhrono uzorkovanje odnosi se na uzorkovanje signala koji je fazno spregnut sa taktom uzorkovanja, i podrazumeva da je odnos periode merenog signala i periode takta ceo broj.

Asinhrono uzorkovanje odnosi se na uzorkovanje signala koji nije fazno spregnut sa taktom uzorkovanja. Asinhrono u odnosu na sinhrono uzorkovanje periodičnih signala smatrano je manje preciznim zbog fazne neusklađenosti pa je iz tog razloga sinhronom uzorkovanju davana prednost. Kod

Stefan Mirković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21101 Novi Sad, Srbija (e-mail: mirkovicst@uns.ac.rs).

Dragan Pejić, Marjan Urekar, Bojan Vujičić, Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21101 Novi Sad, Srbija (e-mail: pejicdra@uns.ac.rs).

sinhronog uzorkovanja, najčešći problemi koji se javljaju su sinhronizacija instrumenta sa merenim signalom zbog nesavršenosti multiplikatora frekvencije i PLL (*phase locked loops*) blokova.

Tradicionalna metoda određivanja efektivne (RMS) vrednosti periodičnog signala metodom asinhronog uzorkovanja podrazumeva da se uzorci uzimaju od trenutka kada signal uzme nultu vrednost, pa sve dok nakon jedne ili više perioda ponovo ne uzme nultu vrednost.

Predložena metoda pokazuje da se vrednost, rasipanje i greška merenja menjaju, ako se umesto nulte vrednosti posmatra efektivna vrednost merenog signala.

Zbog pojednostavljenja i lakšeg opisa problema, simulirano je uzorkovanje prostoperiodičnog signala bez jednosmerne komponente.

Kao zaključak je pokazano da, uz određena redefinisivanja opšteprihvaćenih definicija signala, asinhrono uzorkovanje može davati mnogo preciznije rezultate u odnosu na tradicionalne definicije. Pored toga, asinhrono uzorkovanje je jednostavnije za realizaciju u odnosu na sinhrono, što daje veliku prednost kod merenja u praksi.

## II. OPIS PROBLEMA I DEFINISANJE NOVOPREDLOŽENE METODE

Srednja vrednost skupa  $x_1, \dots, x_n$  od  $n$  elemenata iznosi:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1)$$

Ako se iz skupa izbaci ili u skup doda element čija je vrednosti bliska srednjoj vrednosti skupa, srednja vrednost tog novog skupa se neće značajno promeniti. U slučaju da taj element ima vrednost srednje vrednosti skupa, srednja vrednost novog skupa se neće promeniti. Koristeći se ovom činjenicom, treba uvek znati koji članovi mogu biti kritični, pošto pojavljivanje ili izostajanje takvih članova neće značajno uticati na srednju vrednost skupa.

Ako postoji mogućnost da iz nekog razloga dođe do varijacije broja članova niza, odnosno do pojave kritičnih članova  $x_{ki}$ , za minimalna odstupanja kritični članovi bi trebali da imaju vrednost što bližu srednjoj vrednosti skupa:

$$x_{ki} \cong \bar{X}. \quad (2)$$

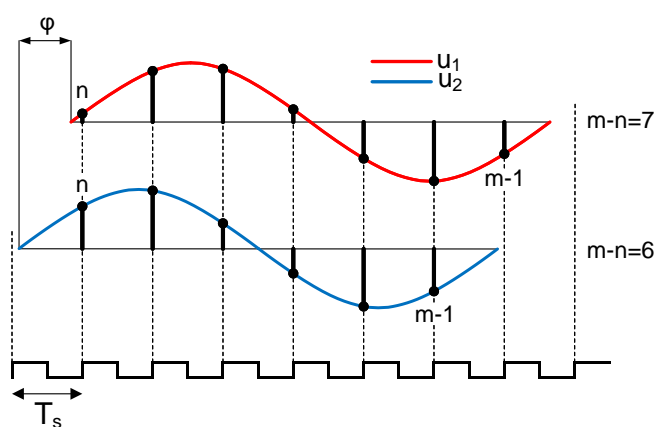
Ako je u algoritmu za dobijanje članova moguće uticati na vrednosti kritičnih članova, primenjujući (2) dobija se najmanji uticaj varijacije broja članova na srednju vrednost.

Interval uzorkovanja-prozor je vremenski interval tokom kojeg se vrši uzorkovanje signala i kod periodičnih signala najčešće ima trajanje jedne ili više perioda merenog signala. Ovaj interval počinje u momentu  $t_n$  kada signal uzme određenu vrednosti, a završava se u momentu  $t_m$  kada nakon jedne ili više perioda ponovo uzme tu istu vrednost-prag uzorkovanja. Uzorci uzeti u intervalu od  $t_n$  do  $t_m$  spadaju u koristan skup uzoraka.

Ako se signal uzorkuje u trajanju jedne periode- $T$ , zbog osobine periodičnosti signala važi izraz:

$$t_m = T + t_n. \quad (3)$$

Kod uniformnog asinhronog uzorkovanja periodičnog signala fiksne frekvencije, broj uzoraka uzetih tokom jedne ili više perioda ne mora svaki put biti isti za određen broj merenja. Na Sl. 1 prikazan je primer varijacije broja uzoraka.



Sl. 1. Primer varijacije broja uzoraka uzetih asinhronom metodom nad istim signalom.

Signali  $u_1$  i  $u_2$  su istog oblika, periode- $T$ , amplitude i različitog faznog stava- $\varphi$ . Pravougaoni signal predstavlja takt uzorkovanja periode- $T_s$  i na svaku tranziciju sa nižeg sa viši nivo se uzima trenutna vrednost signala-uzorak.

Stanje sa Sl. 1 može se poistovetiti sa asinhronim uzorkovanjem signala u trajanju jedne periode, gde prilikom prvog merenja može da se dobije situacija kao sa signalom  $u_1$ , a prilikom drugog merenja istog signala može da se dobije situacija kao sa signalom  $u_2$ .

Početni momenat uzorkovanja- $t_n$  bi trebao da bude u momentu kada signal uzima vrednost praga uzorkovanja, što je u ovom slučaju nula. U praksi taj momenat varira u opsegu od  $t_n$  do  $t_n+T_s$  sa uniformnom raspodelom.

Kada se uzimaju uzorci signala  $u_2$  broj uzoraka je  $m-n=6$ , dok je u slučaju signala  $u_1$  broj uzoraka  $m-n=7$ , gde je dodatni uzorak uzet u okolini praga uzorkovanja. Broj  $n$  predstavlja redni broj uzorka kada mereni signal postane veći od praga uzorkovanja, a broj  $m$  predstavlja redni broj uzorka kada signal nakon jedne periode ponovo postane veći od praga uzorkovanja.

Uzorci merenog signala uzeti u okolini praga uzorkovanja

možu, a ne moraju da se nađu u skupu korisnih uzoraka i oni predstavljaju kritične članove korisnog skupa uzoraka.

Vrednost kritičnih članova korisnog skupa uzoraka kod asinhronog uzorkovanja se nalazi u okolini vrednosti praga uzorkovanja.

Prema definiciji, prostoperiodični signal  $u(t)$  amplitude  $U_m$  i frekvencije  $f$  je definisan sa:

$$u(t) = U_m \sin(2\pi ft). \quad (4)$$

Prema definiciji, izrazi za srednju i efektivnu vrednost periodičnog signala respektivno su:

$$U_{AVE} = \frac{1}{T-0} \int_0^T u(t) dt. \quad (5)$$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T-0} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (6)$$

Zbog osobine periodičnosti jednačine (5) i (6) se mogu napisati u sledećim oblicima:

$$U_{AVE} = \frac{1}{(T+c)-(0+c)} \int_{0+c}^{T+c} u(t) dt. \quad (7)$$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{(T+c)-(0+c)} \int_{0+c}^{T+c} u^2(t) dt}. \quad (8)$$

Gde je  $c$  vremenska konstanta.

Efektivna (srednja) vrednost prema (8) (prema (7)) ne zavisi od konstante  $c$  jer je definisana u integralnom obliku. Ako  $dt$  dobije konačnu vrednost, integral će dobiti oblik sume i nakon toga će efektivna (srednja) vrednost zavisiti od konstante  $c$ , zbog greške aproksimacije površine definisane oblikom funkcije  $u(t)$ .

Ako umesto konstante  $c$  uvrstimo vrednost  $t_n$ , prema jednačinama (3), (7) i (8) dobijaju se sledeći izrazi za srednju i efektivnu vrednost:

$$U_{AVE} = \frac{1}{t_m - t_n} \int_{t_n}^{t_m} u(t) dt. \quad (9)$$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_m - t_n} \int_{t_n}^{t_m} u^2(t) dt}. \quad (10)$$

Efektivna vrednost prostoperiodičnog signala jednaka je kvadratnom korenu srednje vrednosti kvadrata uzoraka uzetih

u intervalu uzorkovanja koji počinje kada uzorak postane veći od praga uzorkovanja, a završava se kada uzorak nakon jedne ili više perioda postane ponovo veći od praga uzorkovanja, izostavljajući poslednji uzorak.

Srednja vrednost prostoperiodičnog signala jednaka je srednjoj vrednosti uzoraka uzetih u intervalu uzorkovanja koji počinje kada uzorak postane veći od praga uzorkovanja, a završava se kada uzorak nakon jedne ili više perioda postane ponovo veći od praga uzorkovanja, izostavljajući poslednji uzorak.

Pošto se u praksi signal uzorkuje u diskretnim vremenskim trenucima, jednačine (9) i (10) će dobiti sledeći oblik respektivno:

$$U_{AVE*} = \frac{1}{m-n} \sum_{i=n}^{m-1} u_i. \quad (11)$$

$$U_{RMS*} = \sqrt{\frac{1}{m-n} \sum_{i=n}^{m-1} u_i^2}. \quad (12)$$

$u_i$  -  $i$ -ti uzorak

$m$  - redni broj uzorka kada mereni signal postane veći od praga uzorkovanja.

$n$  - redni broj uzorka kada je mereni signal pre jedne ili više perioda postao veći od praga uzorkovanja.

Pored definisanja efektivne i srednje vrednosti prostoperiodičnog signala, za novopredloženu metodu potrebno je definisati i prag uzorkovanja pozivajući se na kriterijum odabira kritičnih članova prema jednačini (2).

Kvadriranjem jednačine (12) dobija se:

$$\frac{1}{m-n} \sum_{i=n}^{m-1} u_i^2 = U_{RMS*}^2. \quad (13)$$

Za minimalna odstupanja prema (2) postavlja se kriterijum:

$$u_{ki}^2 \cong U_{RMS*}^2. \quad (14)$$

Odnosno:

$$u_{ki} \cong U_{RMS*}. \quad (15)$$

Na osnovu (15) može se zaključiti da vrednost kritičnih članova korisnog skupa za određivanje efektivne vrednosti treba da bude što bliža efektivnoj vrednosti tog signala.

Za određivanje efektivne vrednosti prostoperiodičnog signala, prag uzorkovanja treba da ima vrednost što bližu efektivnoj vrednosti merenog signala.

Za određivanje srednje vrednosti prostoperiodičnog signala, prag uzorkovanja treba da ima vrednost što bližu srednjoj vrednosti merenog signala.

### III. SIMULACIJA PROSTOPERIODIČNOG SIGNALA I PROVERA NOVOPREDLOŽENE METODE

Provera mogućnosti novopredložene metode određivanja efektivne vrednosti izvršena je simuliranjem prostoperiodičnog signala u programskom paketu LabVIEW. U simulaciji je proračunato kolika se dobija greška određivanja efektivne vrednosti prostoperiodičnog signala kada se koristi prag uzorkovanja definisan prolaskom signala kroz nulu-tradicionalna metoda, a kolika greška kada se koristi prag uzorkovanja definisan prolaskom signala kroz svoju efektivnu vrednost-predložena metoda.

Simuliran je prostoperiodičan signal, zanemarena je greška kvantizacije koju bi uneo AD konvertor, prisustvo viših harmonika koji bi u praksi bili prisutni, kao i oscilovanje frekvencije i amplitude signala.

Lista ulaznih parametara simulacije:

- Frekvencija merenog signala -  $f$
- Takt uzorkovanja -  $fs$
- Faktor podele -  $q, q \in \mathbb{N}$

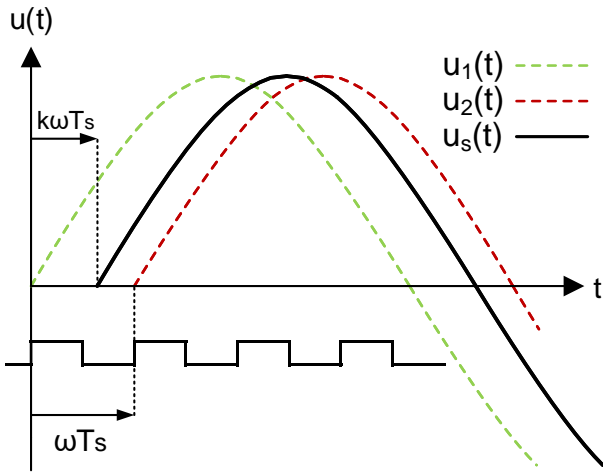
U praksi, algoritam za uzorkovanje signala ima samo jedan ulazni parametar i to takt uzorkovanja periode  $T_s$ . U momentu kada signal uzme vrednost praga uzorkovanja bi trebalo da se uzme prvi uzorak, odnosno da dođe do generisanja takta. Međutim, vreme od prolaska signala kroz prag uzorkovanja do generisanja takta može da varira u odnosu na to u kom delu periode uzorkovanja je signal uzeo vrednost praga uzorkovanja.

Postoje dva stanja u praksi u kojima merni sistem može da se nađe:

- Signal uzima vrednost praga uzorkovanja u momentu generisanja takta
- Signal uzima vrednost praga uzorkovanja između dva generisanja takta

Vreme koje će proći od prolaska signala kroz prag uzorkovanja do generisanja prvog sledećeg takta je nepoznato i teorijski gledano postoji beskonačno mnogo različitih vremena iz intervala od 0 do  $T_s$ . Pošto nije moguće izvršiti simulaciju za beskonačno mnogo vrednosti, iz tog razloga je uveden fazni koeficijent  $k$  koji služi za transformaciju beskonačnog intervala na skup sa konačnim brojem vrednosti.

Na Sl. 2 su prikazana karakteristična stanja u kojima merni sistem može da se nađe. Signali  $u_1(t)$  i  $u_2(t)$  predstavljaju situacije u kojima sistem upada u prvo stanje, dok  $u_s(t)$  predstavlja situaciju kada sistem upada u drugo stanje. Sva tri signala su iste frekvencije- $f$  i amplitude- $U_s$  i ovde je ustvari prikazan jedan signal koji može da upada u različite situacije usled asinhronog uzorkovanja. Koordinatni početak na Sl. 2 je definisan tranzicijom takt signala sa nižeg na viši nivo, odnosno trenutkom generisanja takta.



Sl. 2. Karakteristična stanja definisana faktorom  $k$  u kojima može da se nađe mereni sistem pri asinhronom uzorkovanju prostoperiodičnog signala.

Fazni stav između signala  $u_1(t)$  i  $u_2(t)$  je  $\varphi = \omega T_s$ , i na osnovu toga signali su definisani na sledeći način:

$$u_1(t) = U_s \sin \omega t. \quad (16)$$

$$u_2(t) = U_s \sin(\omega t - \varphi). \quad (17)$$

$$u_s(t) = U_s \sin(\omega t - k\varphi), k \in [0,1] \quad (18)$$

Sl. 2 ujedno predstavlja i grafičko objašnjenje simulacije signala. U simulaciji menjanjem koeficijenta  $k$  u granicama od 0 do 1 dobijaju se različite vrednosti uzoraka, gde simulirani signal ustvari predstavlja signal  $u_s(t)$ . Zbog periodičnosti i simuliranog i takt signala, dovoljno je da se koeficijent  $k$  kreće u zadanom opsegu, jer za vrednosti van opsega dolaziće do ponavljanja istih situacija. Kao što je gore ranije pomenuto, faktor  $k$  je u praksi nepoznat i iz tog razloga je morala da se uradi simulacija za različite njegove vrednosti.

Realizacija ovih činjenica je izvršena tako što se kontinualan zatvoren interval od 0 do 1 podeli na  $q$  podintervala. Nakon podele na  $q$  ekvidistantnih podintervala, koeficijent  $k$  prima vrednosti granica podintervala krećući od 0 pa do 1. Na ovaj način je kontinualan skup vrednosti transformisan u skup diskretnih vrednosti od 0 do 1. Prema tome, za određeni takt uzorkovanja postoji  $q+1$  iteracija simulacije. Za svaku  $i$ -tu iteraciju signal je simuliran prema izrazu:

$$u_{s,i} = U_s \sin(\omega t - k_i \varphi). \quad (19)$$

Pošto se za svaku iteraciju faktor  $k$  razlikuje,  $k$  uzima vrednost u zavisnosti od rednog broja iteracije- $i$  prema izrazu:

$$k_i = \frac{i}{q}, i \in [0,1,\dots, q-1, q]. \quad (20)$$

Prema tome:

$$k_i = \left[ 0, \frac{1}{q}, \dots, \frac{q-1}{q}, 1 \right]. \quad (21)$$

U praksi, za merenje efektivne vrednosti prostoperiodičnog signala bez jednosmerne komponente najčešće se koristi prag uzorkovanja koji je definisan prolaskom signala kroz nulu-tradicionalna metoda. Iz tog razloga je prikazano poređenje grešaka određivanja efektivne vrednosti signala dobijenih tradicionalnom metodom sa greškama dobijenim primenom predložene metode. Za svako  $k$  uzeti su uzorci tradicionalnom metodom u trajanju 1,5 periode, i iz tog skupa su uzimani uzorci za obe metode. Za tradicionalnu (predloženu) metodu su uzimani uzorci od onog koji je prvi postao veći od nule (stvarne efektivne vrednosti- $U_{TAC}$ ) do onog koji je nakon jedne periode opet postao veći od nule (stvarne efektivne vrednosti- $U_{TAC}$ ), izostavljajući ga. Simulacija merenja prostoperiodičnog signala frekvencije  $f=50$  Hz je izvršena za više opsega takta uzorkovanja- $f_s$  sa korakom inkrementacije od 1 Hz i faktorom podele  $q=1000$ :

$f_s \in 1000-1050$  Hz,  $2500-2550$  Hz,  $5000-5050$  Hz,  $7500-7550$  Hz,  $10000-10050$  Hz.

Odnosno:

$f_s/f = 20-21, 50-51, 100-101, 150-151, 200-201$ .

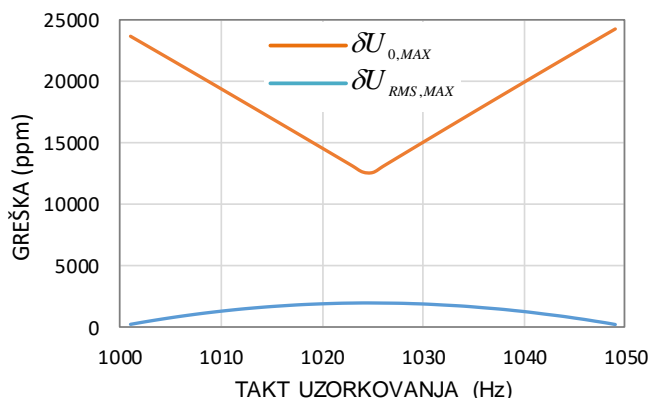
Greška određivanja efektivne vrednosti (22) je predstavljenja u obliku relativne greške proračunate efektivne vrednosti simuliranog signala- $U_{MER}$  u odnosu na stvarnu efektivnu vrednost simuliranog signala- $U_{TAC}$ :

$$\delta U = \frac{U_{MER} - U_{TAC}}{U_{TAC}} \cdot 10^6 \text{ (ppm)}. \quad (22)$$

$$U_{TAC} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}. \quad (23)$$

Za svaku vrednost takta uzorkovanja u određenom intervalu vršio se proračun greške za svako  $k$  koje zavisi od  $q$ . Zbog nemogućnosti poznavanja faktora  $k$  u praksi, nepoznat je i predznak greške koji varira. Iz tog razloga za svaku vrednost takta uzorkovanja uzimana je apsolutna vrednost greške za ono  $k$  gde je greška po apsolutnoj vrednosti najveća kako bi se osigurala sigurne granice greške. Na sledećim slikama prikazani su rezultati za takt uzorkovanja u opsegu 1001-1049 Hz. Granične vrednosti od 1000 Hz i 1050 Hz upadaju u domen fazne sprege frekvencije signala i takta uzorkovanja

gde je odnos perioda ceo broj, što je kod asinhronog uzorkovanja u praksi jako retka pojava koja daje malu grešku, i iz tog razloga greške za te granične vrednosti nisu prikazane.



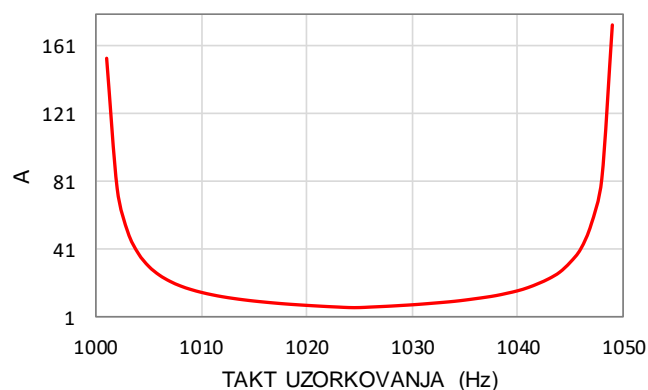
Sl. 3. Maksimalne greške u apsolutnom smislu proračunate za obe metode merenja u zavisnosti od takta uzorkovanja u opsegu od 1000 Hz do 1050 Hz.

Na Sl. 3 prikazane su krive za obe metode određivanja efektivne vrednosti i one predstavljaju zavisnosti najvećih vreshaka po apsolutnoj vrednosti za svaku vrednost takta uzorkovanja.

Najveće greške po apsolutnoj vrednosti kod tradicionalne metode merenja ( $\delta U_{0,MAX}$ ) i predložene metode merenja ( $\delta U_{RMS,MAX}$ ) za isti takt uzorkovanja, su upoređene preko faktora poboljšanja  $A$ :

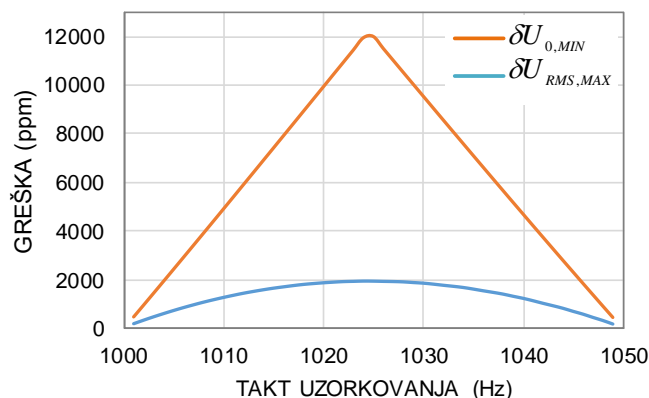
$$A = \left| \frac{\delta U_{0,MAX}}{\delta U_{RMS,MAX}} \right|. \quad (24)$$

Faktor poboljšanja predstavlja broj koji ukazuje kolika puta je greška jedne metode veća, odnosno manja, u odnosu na grešku druge metode pod istim uslovima. Na Sl. 4 prikazan je faktor poboljšanja  $A$  u zavisnosti od takta uzorkovanja, gde može da se zaključi da predložena metoda u prostoperiodičnog signala daje uvek manju grešku po apsolutnoj vrednosti jer je faktor  $A$  uvek veći od 1:



Sl. 4. Odnos najvećih grešaka u apsolutnom smislu obe metode u zavisnosti od takta uzorkovanja u opsegu od 1000 Hz do 1050 Hz.

Ipak, može se zaključiti da ovo nije prikaz grešaka u najgoroj mogućoj situaciji. Najgora moguća situacija bi bila kada bi se upoređivale najmanja greška po apsolutnoj vrednosti kod tradicionalne metode merenja ( $\delta U_{0,MIN}$ ) i najveća greška po apsolutnoj vrednosti kod predložene metode merenja ( $\delta U_{RMS,MAX}$ ). Predložena metoda ima prednost i u ovoj situaciji, jer su i tada njene maksimalne greške manje od minimalnih grešaka tradicionalne metode za isti takt uzorkovanja. Upoređene su najveće greške novopredložene metode ( $\delta U_{RMS,MAX}$ ) sa najmanjim greškama tradicionalne metode ( $\delta U_{0,MIN}$ ) i dobijena je sledeća zavisnost:

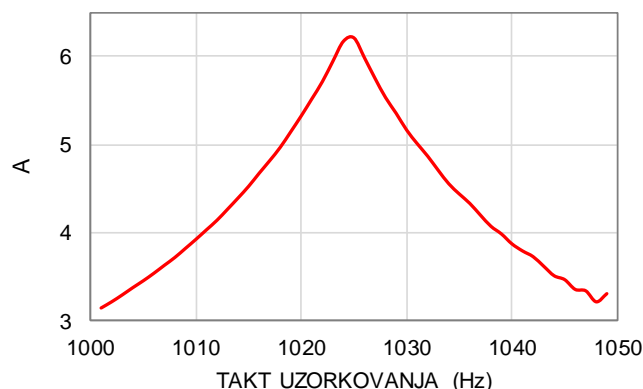


Sl. 5. Minimalna greške u apsolutnom smislu proračunate za tradicionalnu metodu merenja i maksimalna greška u apsolutnom smislu proračunata za novopredloženu metodu merenja u zavisnosti od takta uzorkovanja u opsegu od 1000 Hz do 1050 Hz.

Ovde je faktor poboljšanja  $A$  definisan sa:

$$A_{MIN} = \left| \frac{\delta U_{0,MIN}}{\delta U_{RMS,MAX}} \right|. \quad (25)$$

U najgorem slučaju, faktor poboljšanja  $A_{MIN}$  će imati sledeću zavisnost od takta uzorkovanja:



Sl. 6. Odnos apsolutnih vrednosti grešaka tradicionalne i novopredložene metode u najgorem slučaju u zavisnosti od takta uzorkovanja u opsegu od 1000 Hz do 1050 Hz.

Posmatrajući faktor poboljšanja  $A_{MIN}$  koji je opet veći od 1 može se zaključiti da novopredložena metoda i u najgorem slučaju daje rezultate sa manjom greškom po apsolutnoj vrednosti od tradicionalne metode. Faktor poboljšanja za opseg od 1000 Hz do 1050 Hz u najgorem slučaju se kreće u opsegu od 3,1 do 6,2. Za sve ostale gorepomenute opsege takta uzorkovanja grafici zavisnosti su dosta sličnih oblika kao za opseg od 1000 Hz do 1050 Hz, tako da će rezultati za te ostale opsege biti samo tablično prikazani u Tabeli I.

TABELA I  
REZULTATI SIMULACIJE

$f_s$ (Hz)	$f_s/f$	$A_{MIN}$	
		MIN.	MAX.
OD-DO	OD-DO		
1000-1050	20-21	3,1	6,2
2500-2500	50-51	8,1	15,8
5000-5050	100-101	16,2	31,8
7500-7550	150-151	24,4	47,7
10000-10050	200-201	32,5	63,7

Predložena metoda podrazumeva:

- asinhrono uzorkovanje tradicionalnom metodom u trajanju najmanje  $(p+0,5)$  perioda, dakle, pola periode duže
- proračun efektivne (srednje) vrednosti na osnovu prepoznavanja  $p$  perioda poređenjem uzoraka sa nulom
- uzimanje prethodno određene efektivne (srednje) vrednosti kao kriterijum za odabir članova iz početnog skupa
- ponovno računanje efektivne (srednje) vrednosti nad uzorcima počevši od uzorka koji postane veći od proračunate efektivne (srednje) vrednosti do onog koji nakon  $p$  perioda ponovo postane veći od proračunate efektivne (srednje) vrednosti, izostavljajući poslednji uzorak.

Predložena promena ne zahteva dodatne hardverske resurse. Potrebno je odabiranje produžiti za pola periode i proračun uraditi dva puta: prvi put u poređenju sa nultim nivoom, a drugi put u poređenju sa kritičnom vrednošću.

#### IV. ZAKLJUČAK

Za predloženu metodu asinhronog uzorkovanja se pokazalo da daje najmanje od 3 do 60 puta manju grešku.

Prilično velike greške su uočene zbog činjenice da asinhrono uzeti uzorci korišćeni za određivanje RMS i srednje vrednosti ne pripadaju tačno jednoj ili celom broju perioda merenog signala. Ovaj rad pokazuje da određivanje RMS i srednje vrednosti metodom asinhronog uzorkovanja, može biti veoma precizno ako se koristi novopredložena metoda. Sinhrono uzorkovanje zahteva faznu sinhronizaciju instrumenta sa merenom veličinom. Nesavršenost multiplikatora frekvencije i fazno zaključanih petlji (PLL) koje služe za sinhronizaciju, unosi grešku u rezultat merenja i donosi dodatne probleme, dok je hardverska konfiguracija asinhrono metode jednostavnija. Kao i kod sinhrono metode,

predložena metoda ne bi funkcionisala u slučaju pravougaonog naponskog oblika ili složenoperiodičnih oblika sa višestrukim prolaskom kroz nulu.

Rezultati simulacija su vrlo ohrabrujući, pa bi sledeći korak provere predložene metode mogao da bude realizovan u praksi. Tu će doći do izražaja rezolucija AD konvertora, prisustvo visokih harmonika, oscilovanje amplitude, frekvencije, itd.

#### ZAHVALNICA

Ideja opisana u ovom radu proizvod je istraživanja, kojim se bavio bivši član Srpske akademije nauka i umetnosti i bivši član Akademije inženjerskih nauka Srbije, akademik Petar N. Miljanić i ovom prilikom mu se posthumno zahvaljujemo.

#### LITERATURA

- [1] P. Miljanić, "Definitions of the average and rms values suitable for the measurement and descriptions of quasi steady state," *Electronics*, vol. 5, no. 1-5, Banjaluka, Faculty of electrical engineering, Dec. 2001.
- [2] N. Vučijak, "Algoritam za određivanje fazne razlike sinusnih signala niskih učestanosti," Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, 2015.
- [3] Gerson E. Mog, Eduardo P. Ribeiro, "Mean and rms calculations for sampled periodic signals with non-integer number of samples per period to ac energy systems," Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná - UFPR Centro Politécnico da UFPR - 81531-990 - Curitiba - PR - Brazil
- [4] Albu, M. & Heydt, G. T., 2003. On the rms values in power quality assessment. IEEE transactions on power delivery, vol. 18, issue 4, Oct 2003. 1586-1587.
- [5] IEEE, 1995. IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality. IEEE recommended practice for monitoring electric power quality - IEEE Std. 1159, June 14, 1995.

#### ABSTRACT

Changing the generally accepted definitions of the effective (RMS) and mean value of a periodic signal is explained the improvement of the determination of the effective and mean value of periodic signal by asynchronous sampling. By simulation method is shown that the starting moment of sampling significant influence on the measurement result. It is explained the principles of the measurement signal by asynchronous sampling as well as the conditions for minimum wastage of the measurement results. In addition to the traditional methods of measuring explanation, has been analyzed and explained a more effective proposed method of measurement. After introduction to the problems of traditional method and scattering results, the results of simulation are graphically presented that gives priority to the proposed method. In conclusion are discussed the opportunities for improving traditional methods of measuring in practice.

#### Improvement existing method of asynchronous sampling at determining of RMS value

Stefan Mirković, Dragan Pejić, Marjan Urekar, Bojan Vujičić, Đorđe Novaković