

Analiza ispunjenosti uslova za mernu nesigurnost sistema za kontrolu pametnih brojila i smanjenje vremena provere registra

Dorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd

Rezime - U ovom radu se ispituju rezultati primene i postojanje sprege između dva uslova, koja su bitna pri kontrolisanju brojila u cilju mogućeg smanjenja vremena njegovog izvršavanja. Prema Pravilniku o brojlama aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S, zadat je prvi uslov za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema za kontrolu brojila u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila. Prvi cilj ovog rada je da se proverí da li je ovaj prvi uslov najkritičniji za $\cos\varphi=0,25$ induktivno ili $\cos\varphi=0,5$ kapacitivno, koji se zadaju na poseban zahtev korisnika brojila. U gorepomenutom Pravilniku i Međunarodnoj preporuci OIML R 46-1/-2, zadat je drugi uslov koji će da bude analiziran, za relativnu razliku između energije na ispitnom izlazu i očitane energije na registru u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila. Korišćeni su etalon klase tačnosti 0,02 i brojilo za indirektnu vezu klase tačnosti 0,2 S za aktivnu energiju. Drugi cilj ovog rada je da se analizira da li, u smislu opravdanosti smanjenja vremena provere registra aktivne energije brojila, prvi uslov može da bude olakšavajući činilac. Dalje će da se razmotri da li ovaj drugi uslov može da se ublaži za brojila klase tačnosti 0,2 S, s obzirom na uobičajenu očekivanu ukupnu relativnu grešku koja se dobija pri proverí registra za aktivnu energiju i preciznost i tačnost korišćenih brojila te klase.

Ključne reči - merna nesigurnost, pametno brojilo, električna energija, provera registra, rezolucija, klasa tačnosti

I UVOD

Pametna brojila su nova generacija brojila električne energije. Prema članku iz „Politike“ od 2. decembra 2023. godine, u Srbiji ima ukupno 3,7 miliona brojila električne energije. Od toga je nešto više od 157.000 pametnih brojila, što je oko 4,1% od ukupnog broja [1]. Dobavljači ih montiraju kao deo nacionalnog vladinog programa za zamenu starijih brojila električne energije za domaćinstva u elektrodistributivnom sistemu.

S druge strane, pametna brojila ugrađena su na sva 702 obračunska merna mesta i 262 kontrolna merna mesta u prenosnom sistemu, na mestima primopredaje električne energije u objektima Akcionarskog društva „Elektromreža Srbije“ (EMS AD), „Elektroprivrede Srbije“ AD, kao i ostalih korisnika, čiji su objekti direktno priključeni na prenosni sistem [2].

Pametna brojila omogućuju korisniku i snabdevaču tačne i pravilno ažurirane podatke u približno realnom vremenu (obično na svakih 15 minuta) o korišćenoj električnoj energiji preko bežične električne mreže. Na taj način je omogućeno uočavanje neefikasnosti i perioda prekomerne potrošnje, na osnovu čega se prave planovi uštede energije i smanjenja troškova utrošene

električne energije.

Prema Zakonu o metrologiji, pametna brojila se overavaju po prvi put, redovno ili u vanrednim slučajevima [3]. Overavanje brojila predstavlja potvrdu, stavljanjem žigova na brojilo i izdavanjem uverenja o overavanju brojila, da je ono u skladu sa odobrenim tipom brojila, a posle sprovedenog postupka pregleda (tj. provere, kontrolisanja ili ispitivanja) brojila. Jedno od obaveznih merenja je i provera registara električne energije brojila.

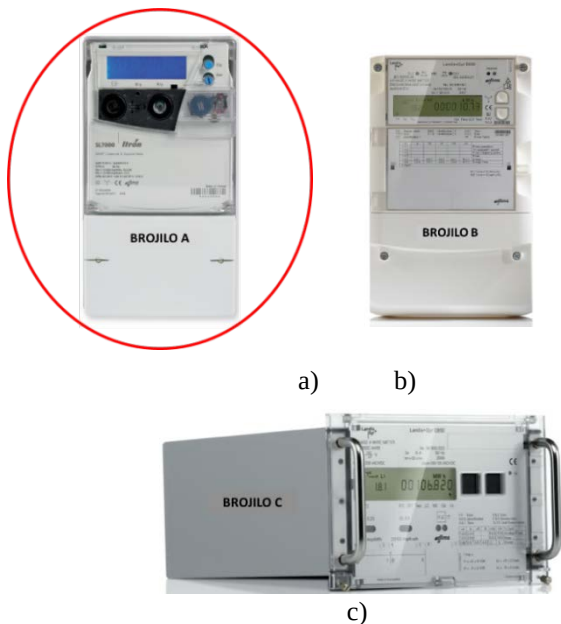
„Primarno“ podešavanje električnih brojila u MWh-ima je bolje u odnosu na sekundarno podešavanje brojila u kWh-ima (sa rezolucijom na tri decimalna mesta), jer se očitavaju prave vrednosti električne energije neposredno sa ekrana brojila, i što je vrlo značajno, osetno se smanjuju greške merenja mesečnih gubitaka na elementima elektroenergetskog sistema (EES-a) [4,5].

U radu [5] je istaknuto da se rezolucija registra ekrana brojila pri „primarnom“ podešenju u MWh-ima, na 1 ili 2 decimalna mesta, bira zavisno od moguće protekle registrovane godišnje aktivne električne energije, vrednosti konstante brojila i pod uslovom da se u električnom brojilu čuvaju snimljena stanja svih podešenih registara za aktivnu energiju najmanje za dvanaest meseci unazad. U radu [6], istaknuto je da bi vreme provere registra električne energije moglo da se podeli sa dva, ako bi se umesto očigledne rezolucije registra energije sa ekrana brojila uzela stvarna (prava) rezolucija registra, u slučaju kada je unutrašnja rezolucija brojila bar dva puta veća od očigledne rezolucije registra.

Radi efikasnosti, odnosno smanjenja vremena overavanja brojila, potrebna je dodatna analiza svrsishodnosti predugačkog vremena provere registara aktivne energije, koje oduzima značajno vreme tokom kontrolisanja brojila. U ovom radu analizirani su postojanje i rezultati primene sprege između dva uslova, koja su bitna pri kontrolisanju brojila, na osnovu značenja veličina koje su prisutne u svakom od tih uslova i međusobne zavisnosti između njih. Prvi je uslov koji treba da bude ispunjen za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema za kontrolisanje brojila, a drugi je uslov za proveru registra energije brojila. Utvrđeno je pri kom faktoru snage je proširena merna nesigurnost mernog sistema najkritičnija u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila. Pored uvažavanja uticaja unutrašnje rezolucije brojila, ispitano je dodatno u kakvom je odnosu drugi uslov za proveru registra energije prema ukupnoj relativnoj grešci energije koja se dobija na kraju merenja, a sve u cilju dodatnog smanjenja vremena provere registra energije.

II PRIMER BROJILA OZNAKE A KOJE NEMA MOGUĆNOST PRIKAZA ENERGIJE NA 4 DECIMALNA MESTA NI U JEDNOM REŽIMU

Na slici 1. prikazana su dva najčešće korišćena brojila za merenje električne energije u prenosnom sistemu u Srbiji: 1) brojilo oznake A na slici 1a) [7] i 2) brojilo oznake B (npr. serije 4, sa belim kućištem) na slici 1b) [8], dok je na slici 1c) prikazano visokoprecizno brojilo oznake C koje se koristi u prenosnom sistemu na mernim mestima na kojima se vrši prekogranična primopredaja električne energije [9].



Slika 1. a), b) i c) Brojila oznaka A, B i C koja se koriste na mernim mestima u prenosnom sistemu u Srbiji. Brojilo oznake A je bez mogućnosti rada sa rezolucijom na 4 decimalna mesta u normalnom i ispitnom režimu [7]

Ova tri brojila se koriste za merenje aktivne električne energije na visokonaponskim (VN) izvodima elemenata EES-a, na nominalnim naponima 110 kV, 220 kV i 400 kV. Uvek su ova brojila: trofazna, četvorožična, za posredni priključak preko mernih transformatora, klase tačnosti 0,2 S, naznačene struje 1 A, maksimalne struje 2 A i naznačenog faznog napona 57,74 V. Uzimajući u obzir veličine elektroenergetskih postrojenja na pomenutim nominalnim visokim naponima, sa manjom naznačenom strujom električnih brojila od 1 A smanjuju se Džulovi gubici u spojnim kablovima između strujnih mernih transformatora i brojila, koji su srazmerni struji na kvadrat, i smanjuju se padovi napona na tim spojnim kablovima.

Za primenu u merenju električne energije u navedenim VN postrojenjima, u praksi u prenosnom sistemu Srbije, merna konstanta: 1) brojila oznake A je uvek 10000 imp./kWh, 2) brojila oznake B može da bude [10000, 20000, 50000 i 100000] imp./kWh i 3) brojila oznake C je obično 50000 imp./kWh.

U ispitnom režimu (test mode-u) brojila električne energije povećava se rezolucija njegovog registra električne energije, čija se vrednost prikazuje na ekranu brojila. Tako se dobijaju kraći intervali merenja električne energije u ispitnom režimu koji ne bi poremetili podatke o obračunu električne energije dobijene u normalnom režimu.

Brojila oznaka B i C imaju osmocifarski registar električne energije čija se vrednost prikazuje na ekranu brojila. Ovaj registar može da se podesi za prikazivanje „sekundarne“ energije u kWh-ima na četiri decimalna mesta u normalnom režimu. Međutim, ako je registar unapred podešen na tri decimalna mesta u normalnom režimu, postoji mogućnost njegovog prebacivanja u ispitni režim sa četiri decimalna mesta. Tako se vreme provere svakog od tarifnih registara aktivne energije za brojila oznaka B i C smanjuje za po 10 puta, u odnosu na slučaj „sekundarno“ podešenog brojila oznake A sa radnom rezolucijom na tri decimalna mesta, koje nema niti normalni stalni, pa tako ni ispitni privremeni režim sa 4 decimalna mesta.

U članku [4] pokazano je da se sa „primarnim“ podešavanjem brojila u MWh-ima značajno smanjuje vreme provere njegovog registra aktivne električne energije, u odnosu na slučaj sa „sekundarno“ podešenim brojiлом u kWh-ima sa rezolucijom na tri decimalna mesta. Brojila oznake A imaju devetocifarski ekran. U radu [5] je pokazano da bi se najveća moguća vrednost električne energije od 999999,999 kWh na ekranu brojila dostigla za 677,6 godina kod brojila oznake A, sa „sekundarnim“ podešenjem u kWh-ima, sa rezolucijom na tri decimalna mesta. Vidi se da su brojila oznake A namerno projektovana sa 9 sigurnih cifara na ekranu, da bi se olakšalo očitavanje električne energije pri „primarnom“ podešavanju u MWh-ima, sa što manjim brojem prelaza vrednosti akumulirane energije u registru energije tokom vremena na nulu, u trenucima kada ta vrednost energije u registru dođe do najveće moguće vrednosti.

Međutim, i dalje je uobičajena praksa za merenje električne energije u prenosnom sistemu u Srbiji, za nominalne napone 110 kV i više, da trofazna brojila za indirektni priključak rade pri „sekundarnom“ podešenju u kWh-ima, sa radnom rezolucijom registra energije na najviše tri decimalna mesta. Ovo je pogodno za zaposlene za obračunsko i kontrolno merenje električne energije, jer ne moraju da misle o prenosnim odnosima mernih transformatora na čije se sekundarne krajeve priključuju brojila koja odnose na teren radi ugradnje (jer su tada prenosni odnosi struja i napona zadati u brojičima 1:1). Međutim, zaposleni za obračun električne energije onda moraju da množe sekundarnu električnu energiju očitavanu sa svakog brojila sa odgovarajućim prenosnim odnosima strujnih i naponskih mernih transformatora, kako bi se dobili pravi podaci za primarnu električnu energiju. Na ovaj način, originalni podatak za „sekundarnu“ energiju očitavanu sa svakog brojila se naknadno menja za potrebe obračuna električne energije. Takođe, troškovi ispitivanja „sekundarno“ podešenog brojila u kWh-ima na tri decimalna mesta su veći u odnosu na troškove ispitivanja „primarno“ podešenog brojila u MWh-ima na 1 ili 2 decimalna mesta zavisno od godišnje očekivane energije, zbog ukupne dužine trajanja kontrolisanja brojila klase 0,2 S.

Podsticaj za pisanje ovog rada bila je činjenica da se, prema Pravilniku o brojičima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S iz 2016. godine [10], dobijaju preduga vremena provera registara aktivne električne energije primenom očigledne rezolucije registara na tri decimalna mesta u kWh-ima, kod brojila podešenog na „sekundarni“ način, kada se na ekranu brojila očitavaju vrednosti izmerene električne energije sa sekundara strujnih i naponskih mernih transformatora.

Brojila oznake A nemaju niti normalni stalni, niti ispitni privremeni režim rada sa rezolucijom na četiri decimalna mesta, pa je vreme provere svakog od registara aktivne električne energije pri očitaj rezoluciji 14 sati i 26 minuta. Za uobičajeno dve tarife merenja aktivne električne energije postoje dva registra energije, pa bi vreme bilo udvostručeno. Ako su, pored toga, brojila oznake A još predviđena za dvosmerne tokove merenja električne energije, ukupno vreme provere sva 4 registra aktivne energije iznosilo bi 57 sati i 44 minuta. Ovo bi predstavljalo značajno radno opterećenje za kontrolore, a i znatno bi povećavalo troškove samog kontrolisanja brojila. Pored toga nemoguće je da jedan kontrolor obavi merenje kao što je propisano u Zakonu o radu [11], tj. da u 24 sata ima najmanje 11 sati odmora neprekidno.

Zato je bitno da se razmotre mogućnosti za smanjenje dužine trajanja provere svakog od registara aktivne električne energije na brojilima oznake A klase tačnosti 0,2 S koja su „sekundarno“ podešena na tri decimalna mesta u kWh-ima.

III RELATIVNA SLUČAJNA GREŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE ISPITNOG IZLAZA BROJILA U ODNOSU NA ETALON BROJILO

Ispitivanje električnog brojila vrši se metodom neposrednog poređenja sa etalon brojilom električne energije. Ispitivano električno brojilo i etalon brojilo električne energije povezuju se u zajedničko električno kolo, a zatim se opterećuju odgovarajućom snagom koja odgovara tački ispitivanja (mernoj tački) brojila.

Istovremeno, odgovarajućim uređajima broje se impulsi koje stvaraju etalon brojilo i ispitivano brojilo. Relativna slučajna greška e energije ispitnog izlaza brojila u odnosu na energiju etalon brojila, bez uračunavanja proširene merne nesigurnosti mernog sistema (koja je opisana u sledećem poglavlju IV), za svako merenje iznosi:

$$e = \frac{E_b - E_e}{E_e} = \frac{K_b \cdot N_b - K_e \cdot N_e}{K_e \cdot N_e} \quad (1)$$

gde su:

E_e – električna energija koja se meri etalon brojilom;

E_b – električna energija koja se meri ispitivanim brojilom preko njegovog ispitnog izlaza;

K_e – merna konstanta etalon brojila;

K_b – merna konstanta ispitivanog brojila;

N_e – broj impulsa sa etalon brojila;

N_b – broj impulsa sa (ispitnog izlaza) ispitivanog brojila.

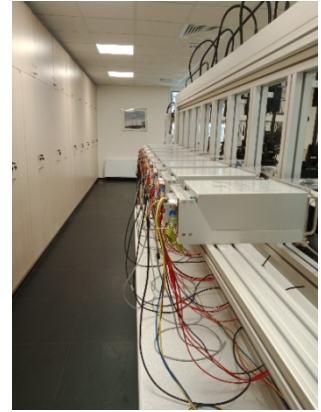
Na trofaznoj automatskoj ispitnoj stanici za brojila više redno povezanih električnih brojila može da bude ispitano istovremeno, ukoliko imaju iste sledeće osobine: 1) broj faza, 2) naznačeni napon, 3) naznačenu struju, 4) maksimalnu struju, 5) klasu tačnosti i 6) vrstu sprege.

Na slici 2. prikazana je ispitna stanica za proveru brojila u Kontrolnom telu u EMS AD sa priključenih: a) 7 brojila oznake B (serije 3, sa plavim kućištem) i jednim brojilom oznake A i b) 8 brojila oznake C. Na primeru sa slike 2a) jasno je da vreme jednovremene provere izabranog registra aktivne energije, u svakom od 8 električnih brojila u ispitivanom nizu, mora da se prilagodi najdužem vremenu ispitivanja koje je potrebno za osmo

brojilo oznake A, koje nema mogućnost rada na 4 decimalna mesta ni u jednom režimu. Uostalom, brojilo oznake A je priključeno u istom nizu sa 7 brojila oznake B, zbog uštede ukupnog vremena svih potrebnih ispitivanja radi overavanja ovih 8 brojila [10].



a)

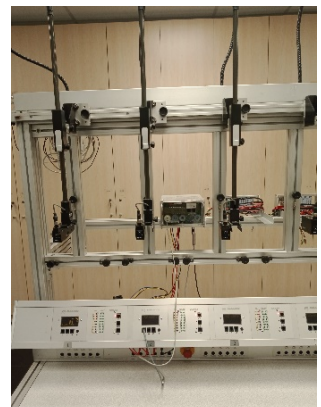


b)

Slika 2. Ispitna stanica za istovremeno ispitivanje električnih brojila u Kontrolnom telu u EMS AD, sa montiranih: a) 7 brojila oznake B i 1 brojilom oznake A (označenim crvenim krugom) i b) 8 brojila oznake C

IV ANALIZA ISPUNJENOSTI USLOVA ZA PROŠIRENU MERNU NESIGURNOST MERNOG SISTEMA ZA KONTROLU BROJILA

Merni sistem čine etalon brojilo i ostala merna oprema za pregled brojila. Merna nesigurnost je nenegativan parametar rezultata merenja kojim se opisuje njegova tačnost. Drugim rečima, to je pokazatelj rasipanja vrednosti koje bi mogle razumno da se pripisuju merenoj veličini.



Slika 3. Pomoćno visoko precizno brojilo oznake C na ispitnoj stanici u Kontrolnom telu u EMS AD, korišćeno u ogledu radenom radi izračunavanja proširene merne nesigurnosti mernog sistema

Pri ogledu utvrđivanja proširene merne nesigurnosti mernog sistema za pregled brojila, na slici 3. prikazano je korišćeno pomoćno visoko precizno brojilo oznake C: klase tačnosti aktivne energije 0,2 S, naznačene struje 1 A, maksimalne struje 2 A, naznačenog faznog napona 57,74 V, merne konstante 50000 imp/kWh, proizvedeno 2004. godine.

Relativna greška merenja električne energije, usled mernog sistema za kontrolisanje brojila, μ (%), iz N merenja, je:

$$\mu = \pm(u_A + u_{B1} + u_{B2} + u_{B3}) \quad (2)$$

gde su:

- u_A – merna nesigurnost tipa A usled ponavljanja merenja, u procentima (%), za normalnu (Gausovu) raspodelu i broj stepeni slobode $\gamma_A = N - 1$ (gde je N broj merenja);
- u_{B1} – merna nesigurnost tipa B usled greške radnog etalona, u procentima (%), za pravougaonu (uniformnu, ravnomernu) raspodelu i beskonačan broj stepeni slobode ($\gamma_{B1} \rightarrow \infty$). Ona se dobija deljenjem greške b_e (%), koju je posebno naznačio proizvođač za radni etalon, sa $\sqrt{3}$;
- u_{B2} – merna nesigurnost tipa B usled baždarenja radnog etalona, u procentima (%), za normalnu (Gausovu) raspodelu verovatnoće i broj stepeni slobode $\gamma_{B2} = 50$. Ona se dobija deljenjem vrednosti merne nesigurnosti baždarenja radnog etalona, g_e (%), koja je data u uverenju o njegovom etaloniranju, sa 2;
- u_{B3} – merna nesigurnost tipa B usled ograničene rezolucije radnog etalona, u procentima (%), za pravougaonu raspodelu verovatnoće i beskonačan broj stepeni slobode ($\gamma_{B3} \rightarrow \infty$). Ona se dobija deljenjem izračunate rezolucije r_e (%) sa $2\sqrt{3}$.

Standardna merna nesigurnost tipa A usled niza od N ponovljenih merenja ((eksperimentalna) standardna devijacija aritmetičke sredine) je:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{N}} = \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{(e_i - \bar{e})^2}{N(N-1)}} \quad (3)$$

gde su:

- s – standardno odstupanje (devijacija) u uzorku (skupu od N izmerenih vrednosti relativnih slučajnih grešaka);
- $\bar{e}$ – aritmetička sredina uzorka;
- e_i – i -ta izmerena vrednost relativne slučajne greške energije;
- N – broj ponovljenih merenja.

Prema obrascu (1), izmerena vrednost i -te relativne slučajne greške električne energije, e_i , je:

$$e_i = \frac{E_{bi} - E_{ei}}{E_{ei}} \quad (4)$$

gde su:

- i – i -to merenje ($i = 1, \dots, N$);
- E_{ei} – i -ta električna energija koja se meri sa etalon brojilom;
- E_{bi} – i -ta električna energija koja se meri sa pomoćnim, visoko preciznim brojilom preko njegovog ispitnog izlaza.

Na slici 4. prikazan je zajednički orman za napojnu jedinicu merne (ispitne) stanice i etalon brojilo. Pri proceni relativne greške mernog sistema za pregled brojila, podaci za radno etalon brojilo bili su: klasa tačnosti za aktivnu energiju b_e (%) = 0,02, merna nesigurnost baždarenja g_e (%) = 0,01 i izračunata rezolucija r_e (%) = 0,01.

Proširena merna nesigurnost mernog sistema za proveru brojila se dobija iz jednačine:

$$u_{m,p} = k \cdot u_{m,c} = k \cdot \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2} \quad (5)$$

gde su:

- k – koeficijent proširenja kome odgovara statistička sigurnost od 95%, a određuje se preko broja efektivnih stepeni slobode i Studentove raspodele. Pri ovom ogledu je bilo utvrđeno da je k bilo 1,96, pri svim zadatim mernim (ispitnim) tačkama;
- $u_{m,c}$ – kombinovana merna nesigurnost.



Slika 4. Zajednički orman za napojnu jedinicu ispitne stanice i etalon brojilo klase tačnosti 0,02 za aktivnu električnu energiju u Kontrolnom telu u EMS AD

Iako kombinovana merna nesigurnost $u_{m,c}$ može univerzalno da se koristi za izražavanje nesigurnosti rezultata merenja, sa proširenom mernom nesigurnošću $u_{m,p}$ definiše se interval oko rezultata merenja, za koji može da se očekuje da se njime obuhvati veliki deo raspodele vrednosti koje bi razumno mogle da se pripišu merenoj veličini.

Tabela 1. Podaci za merne tačke i odgovarajuće najveće dozvoljene greške brojila, u poslednjoj koloni tabele, radi procene proširene merne nesigurnosti mernog sistema za ispitivanje električnih brojila.

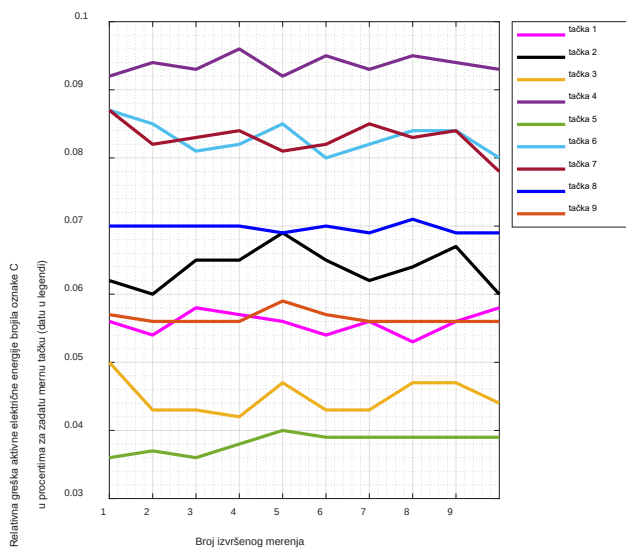
Broj merenja	Napon [V]	Struja [A]	Faktor snage	Brojevi faza	Najveća dozvoljena greška [%]
1	57,74	1	$\cos\varphi=1$	1,2,3	0,2
2	57,74	2	$\cos\varphi=0,8C$	1,2,3	0,3
3	57,74	1	$\cos\varphi=0,25L$	1,2,3	0,5
4	57,74	2	$\cos\varphi=0,5L$	1	0,4
5	57,74	1	$\cos\varphi=1$	3	0,3
6	57,74	-2	$\cos\varphi=1$	2	0,3
7	57,74	-2	$\cos\varphi=0,5L$	1,2,3	0,3
8	57,74	-0,5	$\cos\varphi=0,5L$	1,2,3	0,3
9	57,74	1	$\cos\varphi=0,5C$	1,2,3	0,5

Prema pravilniku o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S potrebno je da etalon brojilo i merna oprema, koji čine merni sistem za pregled brojila, imaju odgovarajuću tačnost tako da proširena merna nesigurnost mernog sistema bude najmanje tri puta manja od najveće dozvoljene greške brojila

[10]. Ispunjenost ovog uslova je proveravana za različite merne tačke za pomoćno visoko precizno brojilo oznake C i one su prikazane u tabeli 1., a predstavljaju kombinacije različitih: veličina zadatih struja, faktora (aktivne) snage i broja faza.

U drugoj koloni tabele 1. dat je uvek isti naznačeni fazni napon $100/\sqrt{3}$ V, a u poslednjoj koloni data je odgovarajuća najveća dozvoljena greška brojila za svaku mernu tačku posebno.

Za svaku mernu tačku izvršeno je po $N = 10$ merenja relativne slučajne greške električne energije. Na slici 5. prikazane su krive promena relativnih slučajnih grešaka aktivne električne energije ispitnog izlaza pomoćnog visoko preciznog brojila oznake C, za svaku ispitnu tačku, u zavisnosti od 10 merenja.

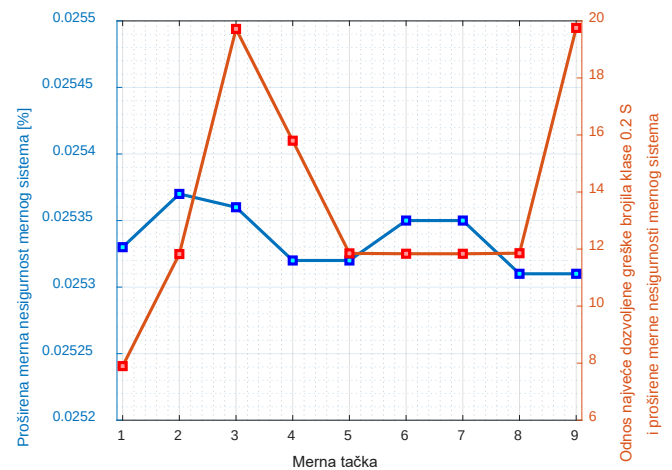


Slika 5. Krive promena relativnih slučajnih grešaka merenja aktivne električne energije sa pomoćnim visoko preciznim brojilom oznake C, pri 10 merenja, za svaku od 9 mernih tačaka

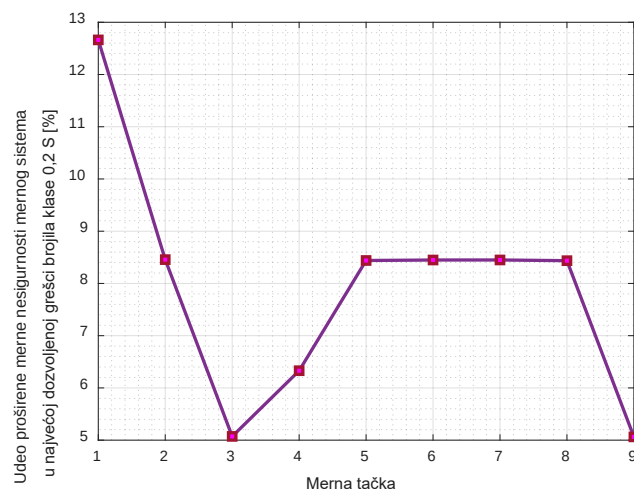
Na slici 5. primećuju se veoma mala kolebanja relativne slučajne greške energije za svaku od 9 ispitnih tačaka. Za merne tačke 3 i 9, pri $\cos\varphi=0,25L$ (induktivno) i $\cos\varphi=0,5C$ (kapacitivno), za struju 1 A i uključene sve tri faze, krive promena relativnih slučajnih grešaka aktivne električne energije za 10 merenja su ispod 5 odgovarajućih krivih za merne tačke 4, 6, 7, 8 i 2. Pri tome, kriva za $\cos\varphi=0,25L$ (tj. mernu tačku 3) je još i ispod krivih za merne tačke 1 i 9. Ovo znači da merne tačke 3 i 9 nisu kritične s obzirom na izmerene relativne slučajne greške aktivne električne energije sa ispitnog izlaza, posebno merna tačka 3, a pokazaće se na slici 6. da nisu kritične ni pri merenju proširene merne nesigurnosti mernog sistema za kontrolisanje brojila.

Na slici 6. prikazana je: a) plava kriva promene proširene merne nesigurnosti analiziranog mernog sistema za proveru brojila i b) narandžasta kriva promene odnosa najveće dozvoljene greške brojila klase tačnosti 0,2 S i proširene merne nesigurnosti mernog sistema u zavisnosti od ispitne (merne) tačke. Sa plave krive, na slici 6., vidi se vrlo malo kolebanje vrednosti proširene merne nesigurnosti za izabranih 9 mernih tačaka, u opsegu $[0,02531 - 0,02537]$ %. Sa narandžaste krive se vidi da je, u najboljim slučajevima, za merne tačke 3 i 9, pri $\cos\varphi=0,25L$ i $\cos\varphi=0,5C$,

za struju 1 A i uključene sve tri faze, odnos odgovarajuće najveće dozvoljene greške brojila klase tačnosti 0,2 S i proširene merne nesigurnosti analiziranog mernog sistema izrazito najveći, oko 19,7. To je posledica većih najvećih dozvoljenih grešaka brojila, 0,5 %, za te merne tačke. Isto tako primećuje se da je, u najnepovoljnijem slučaju, za mernu tačku 1, pri $\cos\varphi=1$, za struju 1 A i uključene sve tri faze, odnos odgovarajuće najveće dozvoljene greške brojila klase 0,2 S i proširene merne nesigurnosti mernog sistema, izrazito najmanji, tj. 7,9. To je posledica najmanje dozvoljene greške brojila, 0,2 %, za tu mernu tačku. Za $\cos\varphi=1$ i uključene sve tri faze, obično se vrši i provera registra aktivne električne energije brojila, što će da bude objašnjeno u sledećem poglavlju V.



Slika 6. a) Plava kriva promene proširene merne nesigurnosti mernog sistema i b) narandžasta kriva promene odnosa najveće dozvoljene greške brojila klase tačnosti 0,2 S i proširene merne nesigurnosti mernog sistema u zavisnosti od ispitne tačke



Slika 7. Udeo proširene merne nesigurnosti analiziranog mernog sistema u najvećoj dozvoljenoj grešci brojila klase tačnosti 0,2 S u zavisnosti od izabrane merne tačke

Ove vrednosti proširenih mernih nesigurnosti za pojedine merne tačke sa plavog grafika na slici 6. mogu da se koriste za

popravku („kompenzaciju“) ustanovljenih ukupnih relativnih grešaka očitavanja registara električne energije pri ispitivanju brojila (objašnjenih u poglavlju VI), jer predstavljaju odgovarajuće pretežno sistematske greške merne opreme za proveru brojila za svaku izabranu mernu tačku posebno.

Na slici 7. prikazan je udeo proširene merne nesigurnosti analiziranog mernog sistema za kontrolu brojila u najvećoj dozvoljenoj grešci brojila klase tačnosti 0,2 S u zavisnosti od izabrane merne tačke. Primećuje se da je, u najnepovoljnijem slučaju, za mernu tačku 1, pri $\cos\varphi=1$, za struju 1 A i uključene sve tri faze, proširena merna nesigurnost analiziranog mernog sistema za ispitivanje brojila daleko manja od dozvoljenih 33,3 % najveće dozvoljene greške brojila klase 0,2 S od 0,2 % za tu mernu tačku i iznosi svega 12,7 % od nje. U najpovoljnijem slučaju, za merne tačke 3 i 9 pri $\cos\varphi=0,25L$ i $\cos\varphi=0,5C$, za struju 1 A i uključene sve tri faze, proširena merna nesigurnost analiziranog mernog sistema za ispitivanje brojila je svega oko 5,1 % najveće dozvoljene greške brojila klase tačnosti 0,2 S od 0,5 % za te merne tačke.

V ANALIZA ISPUNJENOSTI USLOVA ZA PROVERU REGISTARA AKTIVNE ELEKTRIČNE ENERGIJE BROJILA

Prema Međunarodnoj preporuci OIML R 46-1/-2 iz 2012 god. [12], a odatle preuzeto i u važećem Pravilniku o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 [10], zadata je jednačina za najmanju aktivnu električnu energiju $E_{b,min}$, izraženu u vat-časovima, koja je potrebna da se propusti kroz brojilo za proveru registra aktivne energije:

$$E_{b,min} = \frac{1000 \cdot R [Wh]}{b [\%]} \quad (6)$$

gde su:

R – očigledna rezolucija registra aktivne energije koja se pojavljuje na ekranu brojila, izražena u Wh,

b – najveća dozvoljena greška brojila za izabranu mernu tačku.

Bilo koji način može da se koristi za poboljšanje očigledne rezolucije osnovnog registra energije R , sve dok se vodi računa o tome da se obezbedi da rezultati odražavaju pravu rezoluciju osnovnog registra energije.

Energija koja se propušta kroz brojilo se proračunava korišćenjem broja impulsa sa ispitnog izlaza (davača). Treba da se odredi relativna razlika između ove energije E_b i registrovane energije E_r u brojilu. Ova relativna razlika ne sme da bude veća od jedne desetine (odnosno od 10 %) najveće dozvoljene greške brojila pri naznačenim uslovima rada. Ispitivanje može da bude izvedeno sa proizvoljnom strujom $I \geq 0,05 \cdot I_n$. Ovaj uslov za proveru registra energije brojila dat je sledećom nejednačinom:

$$\frac{E_b - E_r}{E_b} \leq \frac{b}{10} = \frac{b [\%]}{1000} \Rightarrow E_b \geq \frac{1000 \cdot (E_b - E_r)}{b [\%]} \quad (7)$$

Najmanja električna energija $E_{b,min}$ koja može da se propusti kroz električno kolo, koje čine etalon brojilo i ispitivano brojilo električne energije, je:

$$E_{b,min} = \frac{1000 \cdot (E_b - E_r)}{b [\%]} = \frac{1000 \cdot R}{b [\%]} \quad (8)$$

Poređenjem jednačina (6) i (8), sledi da je:

$$E_b - E_r = R \quad (9)$$

što predstavlja rezoluciju brojila električne energije, tj. sistematsku grešku usled ograničene rezolucije električnog brojila. Ona predstavlja grešku vrednosti energije E_r koja se očitava iz registra električne energije brojila u odnosu na vrednost energije E_b koja se dobija množenjem broja impulsa N_b sa ispitnog davača i konstante brojila K_b .

Vreme trajanja provere registra električne energije, koji se prikazuje na ekranu električnog brojila, je:

$$t_r = \frac{E_{b,min}}{\sqrt{3} \cdot I \cdot U_n \cdot \cos\varphi} \quad (10)$$

gde su:

I – zadata struja brojila [A], pri čemu je $I \geq 0,05 \cdot I_n$,

U_n – naznačeni napon brojila [V],

$\cos\varphi$ – faktor snage.

Da bi se vreme trajanja provere registra smanjilo što više, bira se maksimalna struja brojila I_{max} , pri svim fazama uključenim, i $\cos\varphi = 1$, pa se zamenom (6) u (10) dobija:

$$t_{r,min} = \frac{E_{b,min}}{\sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot U_n} = \frac{1000 \cdot R}{\sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot U_n \cdot b [\%]} \quad (11)$$

Za primer, uzeće se brojilo oznake A, ranije prikazano na slici 1a) u poglavlju II, koje je sekundarno podešeno u kilovat satima [kWh] i na svom ekranu prikazuje merenu električnu energiju sa sekundara strujnih i naponskih mernih transformatora u postrojenju. Ovo brojilo, koje se obično koristi tako podešeno u prenosnom sistemu u Srbiji, ima mogućnost podešavanja registara energije na najviše tri decimalna mesta u radnom režimu. Nema mogućnost prebacivanja u ispitni režim radi podešavanja registra energije koji se ispituje na četiri decimalna mesta, da bi se vreme provere registra skratilo 10 puta, kao kod brojila oznaka B i C. Radi podešavanja, ovo brojilo oznake A je klase tačnosti aktivne energije 0,2 S, naznačenog faznog napona 57,74 V, naznačene struje 1 A, maksimalne struje 2 A i konstante 10000 imp/kWh.

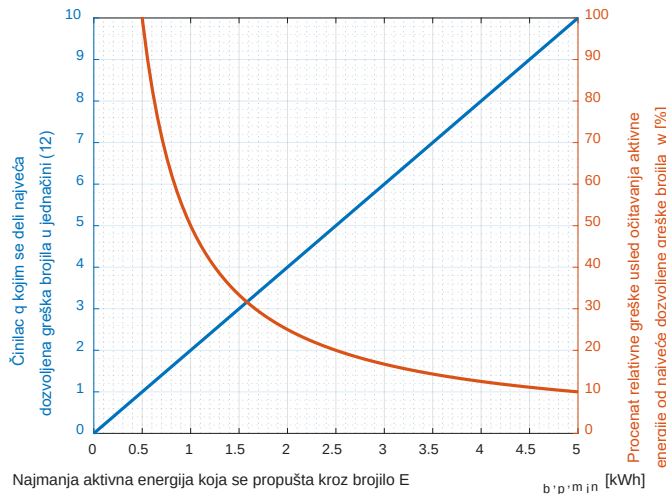
Ne razmišljajući mnogo, uzimanjem u obzir očigledne rezolucije registara energije $R = R_o = 0,001$ kWh, pri najmanjoj energiji koja se propušta kroz brojilo od 5 kWh koja se dobija prema jednačini (6), najmanje vreme ispitivanja jednog registra aktivne električne energije iznosilo bi 14 sati i 26 minuta prema jednačini (11) (što je pomenuto i u poglavlju II). Za ispitivanje 4 registra aktivne električne energije (za dve tarife i dva smera energije), najmanje ukupno vreme ispitivanja iznosilo bi 57 h i 44 minuta.

U nejednačini (7), ako bi se pretpostavilo da je relativna razlika između energije dobijene sa impulsnog davača E_b i registrovane energije u brojilu E_r manja od najveće dozvoljene greške brojila pri naznačenim uslovima, ne 10 puta, nego proizvoljan broj q puta, dobila bi se umesto jednačine (8), jednačina (12):

$$E_{b,p,min} = \frac{100 \cdot R [Wh]}{\frac{b [\%]}{q}} = \frac{10000 \cdot R [Wh]}{w [\%] \cdot b [\%]} \quad (12)$$

gde je $w[\%] = 100/q$ procentualni iznos relativne sistematske greške usled očitavanja energije iz registra brojila od najveće dozvoljene greške brojila.

Pri očitnoj rezoluciji R_o , za brojilo oznake A (sa podacima u trećem pasusu na ovoj strani poglavlja V), na slici 8. prikazan je plavom krivom činilac q , kojim se deli najveća dozvoljena greška brojila u jednačini (12), a crvenom krivom procentualni udeo relativne sistematske greške usled očitavanja registra aktivne energije brojila u najvećoj dozvoljenoj grešci brojila $w[\%]$, u zavisnosti od najmanje aktivne energije koja se propušta kroz brojilo $E_{b,p,min}$.



Slika 8. a) Činilac q kojim se deli najveća dozvoljena greška brojila u jednačini (12) i b) procenat relativne sistematske greške usled očitavanja energije iz registra u njoj w [%], u zavisnosti od najmanje aktivne energije $E_{b,p,min}$ koja se propušta kroz sekundarno podešeno brojilo oznake A, za očiglednu rezoluciju registra energije na tri decimalna mesta.

Na slici 8 se vidi da je 5 kWh najmanja dopuštena aktivna energija koja se propušta kroz brojilo, kada se uzme u obzir očigledna (očita, golim okom vidljiva) rezolucija registra energije sa ekrana brojila. Pri tome je $q = 10$ činilac kojim se deli najveća dozvoljena greška brojila u jednačini (12) i $w = 10$ % udeo relativne sistematske greške usled očitavanja aktivne električne energije iz registra brojila u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila.

Najmanje vreme provere registra aktivne energije $t_{r,min}$, pri očiglednoj rezoluciji registra R_o na tri decimalna mesta, je linearno srazmerno sa q , slično kao i najmanja dopuštena aktivna energija izmerena brojiлом $E_{b,p,min}$ na slici 8a), pa taj grafik koji bi bio istog oblika nije nacrtan.

Kada se bolje razmisli, pokazuje se da nije uvek opravdana primena jednačine (11) uz uzimanje u obzir očigledne rezolucije registra brojila koja se vidi na samom ekranu brojila R_o , pošto rezolucija registra brojila R zavisi i od merne konstante brojila, tj. od stvarne unutrašnje rezolucije brojila koja, kada se zaokruži na očiglednu rezoluciju brojila, predstavlja pravu rezoluciju brojila.

Uzimanje u obzir očigledne (jasno vidljive) rezolucije registra R_o , na tri decimalna mesta sa ekrana brojila, opravdano je ako je konstanta brojila 1000 imp/kWh, kao kod brojila za domaćinstva. Za tu konstantu od 1000 imp/kWh, brojila oznake A prave se za direktnu vezu, klasu tačnosti 1, naznačenu struju 5 A, maksimalnu struju 120 A i naznačeni fazni napon 230 V. „Najmanje“ vreme provere registra aktivne energije takvog brojila je malo, jer je 1195 puta kraće od 14 sati i 26 minuta, koliko bi trajalo najmanje vreme provere registra aktivne energije brojila oznake A sa konstantom brojila 10000 imp/kWh, klasom tačnosti 0,2 S, naznačenim faznim naponom 57,74 V i maksimalnom strujom 2 A, koje se koristi u postrojenjima u Srbiji za napone 110 kV i više.

V.1 Prava rezolucija registra električne energije i mogućnost za smanjenje vremena provere registra aktivne električne energije brojila dva puta

Digitalnim uređajima kojima se zaokružuju merene vrednosti (npr. multimetrima), uzimaju se uzorci neprekidnog ulaznog signala i koriste se registri kojima se broji, usrednjava i zaokružuje najmanje značajna, prikazana cifra [13]. U većini uređaja, najmanja značajna cifra se zaokružuje nagore ili naniže korišćenjem konvencionalnog zaokruživanja. Kada merni uređaji, kao npr. brojila električne energije, rade na ovaj način, prihvatljivo je da se sistematska greška usled ograničene rezolucije registra energije brojila Δe_r smatra polovinom najmanje značajne cifre u registru energije brojila. Drugim rečima, prava rezolucija registra energije brojila R_p bila bi jednaka polovini očigledne rezolucije registra energije brojila R_o :

$$R = \Delta e_r = R_p = \frac{R_o}{2} \quad (13)$$

U praksi u Srbiji, u postrojenjima za 110 kV i više, brojila u vlasništvu EMS AD su klase tačnosti 0,2 S, sa unutrašnjom konstantom $K_b \geq 10000 \text{ imp./kWh}$.

Za unutrašnju konstantu električnog brojila od 10000 imp/kWh (tj. 10 puta veću od 1000 imp/kWh), unutrašnja rezolucija tog brojila je 0,0001 kWh (tj. 10 puta tačnija od očigledne rezolucije registra brojila R_o na tri decimalna mesta). Za takvo brojilo je potpuno opravdano da se primeni jednačina (13) za pravu rezoluciju registra energije brojila R_p . Tada bi vreme provere svakog od registara aktivne električne energije pominjanog brojila oznake A iz poglavlja II i V bilo duplo manje, tj. po 7 sati i 13 minuta.

Procentualni udeo w relativne sistematske greške usled očitavanja energije iz registra energije brojila na njegovom ekranu u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila bio bi opet 10 %, jer je prava rezolucija registra energije brojila R_p sada dva puta manja nego u slučaju na slici 8b) kada je uzeta u obzir očigledna rezolucija registra energije brojila R_o . Dakle, promenilo se R u jednačini (12), ali ne i činilac q . Kao rezultat toga, duplo je manja zadata najmanja vrednost aktivne električne energije koja se meri brojiлом $E_{b,p,min}$, tj. iznosi 2,5 kWh, jer se relativna greška između zadate energije koja se meri brojiлом E_b i energije koja se očitava sa brojila (iz registra energije) E_r povećala na 1/5 granice najveće dozvoljene greške brojila u nejednačini (7).

VI UKUPNA RELATIVNA GREŠKA OČITAVANJA REGISTRA AKTIVNE ELEKTRIČNE ENERGIJE ISPITIVANOG BROJILA

Pri proveru registra aktivne električne energije brojila, utvrđuje se da li je ukupna relativna greška očitavanja registra energije ispitivanog brojila manja od najmanje dozvoljene greške brojila. Ukupna relativna greška energije dobijene očitavanjem registra izmerene energije brojila E_r , u odnosu na energiju izmerenu etalon brojilom E_e , za svako merenje, računa se prema obrascu:

$$\gamma = \frac{E_r - E_e}{E_e} = \pm \left(|e| + \left| \frac{\Delta e_r}{E_e} \right| + u_{m,p} \right) = \pm \left(|e| + \left| \frac{s \cdot R}{E_e} \right| + u_{m,p} \right) \quad (14)$$

gde su:

- e – relativna slučajna greška energije izmerene preko ispitnog izlaza brojila u odnosu na energiju izmerenu etalon brojilom, za 1 merenje (videti poglavlje III),
- E_r – vrednost energije očitane iz registra ispitivanog brojila, koji se prikazuje na njegovom ekranu,
- E_e – električna energija koja se meri etalon brojilom,
- Δe_r – sistematska (instrumentalna) greška usled ograničene rezolucije registra energije na ekranu brojila,
- R – vrednost poslednje cifre (tj. rezolucija) registra energije na ekranu brojila (tj. najmanja električna energija na ekranu brojila za zadatu vidljivu rezoluciju registra energije) ili tzv. očigledna rezolucija registra energije,
- s – sačinilac kojim se množi R (može da bude 1 ili $\frac{1}{2}$, zavisno od unutrašnje rezolucije brojila, videti jednačinu (13) i propratno objašnjenje u odeljku V.1),
- $u_{m,p}$ – proširena merna nesigurnost mernog sistema za kontrolisanje električnih brojila, za datu mernu tačku (videti poglavlje IV).

Radi podsećanja, u sistematskoj grešci usled ograničene rezolucije registra energije brojila Δe_r , kada je $s=1$ radi se o očiglednoj (golim okom vidljivoj) rezoluciji registra energije brojila R_o , a kada je $s=1/2$ radi se o pravoj rezoluciji registra energije brojila R_p , kojom se uzima u obzir unutrašnja rezolucija brojila u slučaju da je veća od očigledne rezolucije registra brojila bar 2 puta [6].

VI.1 Mogućnost za smanjenje vremena provere registra aktivne električne energije brojila dva i po puta

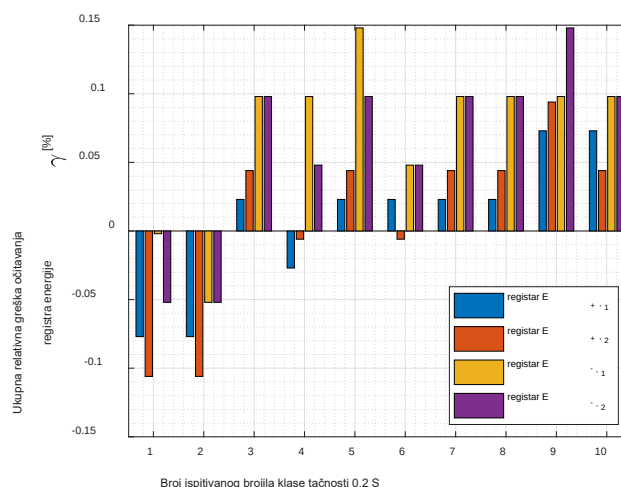
U Češkoj Republici, stalnoj članici OIML-a i Evropske unije, važe „Opšte mere koje se tiču metroloških i tehničkih zahteva za zakonski kontrolisane merne instrumente uključujući metode ispitivanja za potvrdu tipa i verifikaciju zakonski kontrolisanih mernih instrumenata: električna brojila“, broj 0111-OOP-C022-18, koje su stupile na snagu 28.3.2019. god. [14]. U tom propisu se takođe predlaže primena jednačine (6) za proveru registra energije brojila, ali uz napomenu da se u slučaju brojila aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S, relativna greška između zadate energije koja se meri brojilom E_b i energije koja se očitava sa brojila E_r povećava na $1/4$ granice najveće dozvoljene greške brojila u nejednačini (7). Po ovom propisu, vreme ispitivanja registara aktivne električne energije iznosi po 5 sati i 47 minuta kod brojila oznake A, klase tačnosti 0,2 S, sa „sekundarnim“ podešenjem na tri decimalna mesta u kWh-ima,

za konstantu brojila od 10000 imp./kWh, naznačenu struju 1 A, maksimalnu struju 2 A i naznačeni fazni napon 57,74 V.

Procentualni udeo w relativne sistematske greške usled očitavanja aktivne energije iz registra energije brojila na njegovom ekranu u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila bio bi sada 12,5 %, pri čemu je uzeta prava rezolucija registra energije brojila R_p koja je dva puta manja nego u slučaju na slici 8 kada je uzeta u obzir očigledna rezolucija registra energije brojila R_o . Dakle, promenilo se R u jednačini (12), ali se promenio i činilac q sa 10 na 8. Kao rezultat toga, 2,5 puta je manja zadata najmanja vrednost aktivne električne energije koja se meri brojilom $E_{b,p,min}$, tj. iznosi 2 kWh, jer se relativna greška između zadate energije koja se meri brojilom E_b i energije koja se očitava sa brojila (iz registra energije) E_r povećala na $1/4$ granice najveće dozvoljene greške brojila u nejednačini (7).

Dokazano je u poglavlju IV da proširena merna nesigurnost ispitivanog mernog sistema u ovom radu, za izabrane merne tačke za aktivnu električnu energiju, ne prelazi 12,7 % najveće dozvoljene greške brojila. To je 20,6 % manje od uslova za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema (od 33,3 % najveće dozvoljene greške brojila), pa je moguće i dodatno da se smanji vreme provere registra aktivne energije sa dva puta (kao što je opisano u odeljku V.1) na dva i po puta, u odnosu na vreme koje bi se dobilo jednačinom (11) kada bi se u nju uvrstila očigledna rezolucija registra aktivne energije brojila R_o .

Za 10 brojila oznake A, klase tačnosti 0,2 S, koja su zajedno kontrolisana na istoj ispitnoj stanici, a overena 14.6.2022. godine, naznačenih podataka pomenutih u trećem pasusu ovog odeljka VI.1, na slici 9. date su ukupne relativne greške očitavanja registara aktivne energije ovih ispitivanih brojila, od kojih su dva brojila proizvedena 2020. godine, a preostalih osam 2004. godine. Ukupne relativne greške očitavanja registara aktivne energije ovih 10 brojila oznake A date su za 4 registra aktivne električne energije za dva smera energije, pozitivni (+) i negativni (-), i za po dve tarife (1 i 2).



Slika 9. Ukupne relativne greške očitavanja registara aktivne električne energije za 10 ispitivanih brojila oznake A, za po 4 registra energije, za 2 smera aktivne energije (pozitivan i negativan) i dve tarife (prvu i drugu)

Sa slike 9. vidi se da su sve ukupne relativne greške očitavanja četiri registra aktivne energije svakog od ovih 10 brojila u granicama najveće dozvoljene greške brojila. To opravdava smanjenje vremena provere registara aktivne električne energije brojila oznake A za 2,5 puta, u odnosu na vreme koje je bi se dobilo jednačinom (11) kada bi se u nju uvrstila očigledna rezolucija registra aktivne energije brojila R_o .

VII ZAKLJUČAK

Cilj ovog članka bio je da se prvo analizira ispunjenost uslova za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema za ispitivanje brojila i utvrde najpovoljnije merne tačke i najnepovoljnija merna tačka. Drugo, da se analizira uslov za proveru registra aktivne električne energije brojila u smislu minimiziranja ukupnog vremena ispitivanja brojila radi overe, i to pre svega brojila oznake A, koja su opisana u II poglavlju, klase tačnosti 0,2 S, „sekundarno“ podešena sa rezolucijom na tri decimalna mesta u kWh-ima i koja se dosta koriste za merenje električne energije u prenosnom sistemu u Srbiji. Na kraju, da se razmotri da li bi prvi uslov mogao da bude olakšavajuća okolnost za ublažavanje zahteva zadatog drugim uslovom.

Iz izvršenog oglada je jasno da je proširena merna nesigurnost mernog sistema za ispitivanje brojila prilično ujednačena za različite tačke merenja aktivne električne energije, a najveća apsolutna razlika je tek $6 \cdot 10^{-5} \%$, što predstavlja relativnu razliku od svega 0,24 %. Tako ova proširena merna nesigurnost mernog sistema može približno da se smatra sistematskom greškom i da posluži da se, za svaku mernu tačku, popravi ukupna relativna greška očitane energije brojila pri merenju mernim sistemom za kontrolu brojila. Time bi se, za svaku mernu tačku, dobila prava relativna greška u električnoj energiji koja se dobija očitavanjem registra energije sa brojila.

Za merne tačke 3 i 9, koje se na poseban zahtev korisnika brojila ispituju za svrhu overavanja brojila, pri $\cos\varphi=0,25$ i $\cos\varphi=0,5$ C, struji 1 A i uključene sve tri faze, pokazalo se da je odnos odgovarajuće najveće dozvoljene greške brojila i proširene merne nesigurnosti mernog sistema najveći, oko 19,72. Drugim rečima, uslov za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema za kontrolu brojila je tada najbolje ispunjen. 5,1 % je proširena merna nesigurnost mernog sistema u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila, koja je za te merne tačke najveća tj. 0,5 %.

S druge strane, za ove merne tačke 3 i 9, čak ni krive promena relativnih slučajnih grešaka izmerene aktivne električne energije pomoćnim brojiлом oznake C za 10 merenja nisu kritične, jer se nalaze ispod odgovarajućih krivih za čak 5 drugih mernih tačaka.

Za mernu tačku 1, pri $\cos\varphi=1$, za struju 1 A i uključene sve tri faze, odnos odgovarajuće najveće dozvoljene greške energije brojila i proširene merne nesigurnosti mernog sistema je najnepovoljniji, izrazito je najmanji, tj. 7,9, jer je zahtevana najveća dozvoljena greška brojila za tu mernu tačku najmanja, tj. 0,2 %. Međutim, proširena merna nesigurnost analiziranog mernog sistema za ispitivanje brojila je i za ovu kritičnu mernu tačku 1 daleko manja od dozvoljenih 33,3 % najveće dozvoljene greške brojila i iznosi svega 12,7 % od nje (2,62 puta manje).

Provera registra aktivne električne energije brojila se obično vrši

pri $\cos\varphi=1$ i uključene sve tri faze, jer je tada vreme ovog ispitivanja najmanje. Dakle, za proveru registra aktivne energije brojila merna tačka 1 je najpovoljnija, za razliku od provere proširene merne nesigurnosti mernog sistema gde je merna tačka 1 bila najnepovoljnija.

Uzimajući u obzir unutrašnju rezoluciju brojila, njenim zaokruživanjem na poslednju cifru registra aktivne energije brojila dobija se prava rezolucija registra aktivne energije R_p koja je dvostruko manja od očigledne (golim okom vidljive) rezolucije registra aktivne energije brojila na njegovom ekranu R_o . Ovo je opravdano za brojila električne energije u prenosnom sistemu u Srbiji, za napone 110 kV i više, čija je unutrašnja konstanta brojila $K_b \geq 10000$ imp./kWh. Na taj način se vreme ispitivanja 4 registra aktivne električne energije, za dva smera energije i dve tarife, smanjuje sa 57 sati i 44 minuta na 28 sati i 52 minuta, za brojilo oznake A, sa „sekundarnim“ podešenjem na tri decimalna mesta u kWh-ima, klase tačnosti 0,2 S, za konstantu brojila od 10000 imp./kWh, naznačenu struju 1 A, maksimalnu struju 2 A i naznačeni fazni napon 57,74 V.

S druge strane, uzimajući u obzir pravu rezoluciju registra aktivne električne energije brojila R_p i češki pravilnik [14], prema kome treba da se smanji vreme provere registra aktivne energije 2,5 puta za brojila klase tačnosti 0,2 S, procentualni udeo w relativne sistematske greške usled očitavanja aktivne energije iz registra energije brojila na njegovom ekranu u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila povećao bi se sa 10 % na 12,5 %. Na taj način moguće je i dodatno da se smanji vreme provere registara aktivne energije brojila, sa dva puta (tj. za 50 %) na dva i po puta (tj. za 60 %), u odnosu na vreme koje je bi se dobilo jednačinom (11) kada bi se u nju uvrstila očigledna rezolucija registra aktivne energije brojila R_o .

Ovo dodatno povećanje procentualnog udela w relativne sistematske greške usled očitavanja aktivne energije iz registra energije brojila u odnosu na najveću dozvoljenu grešku brojila od svega 2,5 % (sa polaznih 10 % na 12,5 % prema jednačini (12)) je sasvim prihvatljivo iz sledećih razloga:

- 1) Prvi uslov za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema za kontrolisanje brojila ne obuhvata relativnu sistematsku grešku usled ograničene rezolucije registra aktivne energije kontrolisanog brojila. Međutim, ovaj uslov može indirektno da bude olakšavajuća okolnost, uzimajući u obzir da je drugi uslov za proveru registra aktivne energije brojila osmišljen da na kraju ukupna relativna greška očitavanja aktivne energije iz registra brojila ne prelazi najveću dozvoljenu grešku brojila. Ovo proizilazi iz toga što proširena merna nesigurnost mernog sistema analiziranog u ovom radu nije prelazila 12,7% najveće dozvoljene greške brojila za razne merne tačke, što je za 20,6 % manje od najvećeg uslova za proširenu mernu nesigurnost mernog sistema, kojim je dozvoljeno odstupanje do 33,3 % najveće dozvoljene greške brojila. Uzimajući ovo u obzir, dodatnih 2,5 % merne nesigurnosti zbog relativne sistematske greške usled očitavanja aktivne energije iz registra energije brojila ne predstavlja problem pri određivanju ukupne relativne greške očitavanja registra aktivne energije ispitivanog brojila, što je dodatno dalje obrazloženo u tački 2) ispod.

2) Za brojila oznake A, čije je vreme provere registara aktivne električne energije predugo uzimajući u obzir samo očiglednu rezoluciju tih registara R_o , pokazalo se i iz iskustava u praksi, čiji su rezultati izneti u ovom radu sa jednog od kontrolisanja brojila radi overe, da je smanjenje vremena njihove provere za 2,5 puta opravdano, jer su ukupne relativne greške očitavanja registara aktivne energije tih brojila bile u granicama najveće dozvoljene greške brojila. Na taj način se vreme ispitivanja 4 registra aktivne električne energije, za dva smeru energije i dve tarife, smanjuje sa 57 sati i 44 minuta na 23 sata i 6 minuta, za brojilo oznake A, sa „sekundarnim“ podešenjem na tri decimalna mesta u kWh-ima i naznačenih podataka kao u 7 pasusu ovog zaključka (tj. poglavlja VII).

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Petrović-Stojanović, J. Od 3,7 miliona brojila u Srbiji svega četiri odsto „pametnih“, Politika, 2.12.2023. <https://www.politika.rs/scc/clanak/587451/Od-3-7-miliona-brojila-u-Srbiji-svega-cetiri-odsto-pametnih> [pristupljeno 15.01.2024]
- [2] Godišnji tehnički izveštaj EMS AD – 2022, 2023. <https://ems.rs/wp-content/uploads/2023/05/GTI-o-rad-u-EMS-AD-u-2022.-godini-Correct.pdf> [pristupljeno 15.01.2024]
- [3] Zakon o metrologiji, „Sl. glasnik RS“, br. 15/2016, 22 strane, 2016. <https://privreda.gov.rs/sites/default/files/documents/2021-08/Zakon-O-Metrologiji.pdf> [pristupljeno 17.01.2024]
- [4] Dukanac, Đ. Analiza vremena ispitivanja i greške očitavanja pametnih brojila električne energije u zavisnosti od njihovog podešenja, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 1, pp. 50-55, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-1.50D>
- [5] Dukanac, Đ. Optimalno podešavanje rezolucije registra električne energije pametnog brojila, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 2, pp. 75-85, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.75D>
- [6] Dukanac, Đ., Mogućnosti za unapređenje kontrolisanja brojila električne energije klasa tačnosti 0,2 S i 0,5 S, in Proc. 37. Međunarodno savetovanje „ENERGETIKA 2022“, Zlatibor, Srbija, 21–24. juna 2022.
- [7] SL7000 IEC7 user guide, Itron S.A.S, France, 2010. https://www.otec.com.ua/show_catalogue_pdf/245372/1 [pristupljeno 17.01.2024]
- [8] ZMD400AT/CT, ZFD400AT/CT, E650 Series 4, User Manual, Landis+Gyr AG, Switzerland, 2017. <https://www.manualslib.com/manual/1632363/LandisPlusgyr-E650-Series-4.html#manual> [pristupljeno 17.01.2024]
- [9] ZMQ200, ZFQ200, ZCQ200, User Manual, Landis+Gyr AG, Switzerland, 2012. https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/7102000215_en-l-ZxQ-User-Manual.pdf [pristupljeno 17.01.2024]
- [10] Pravilnik o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S „Službeni glasnik RS“, br. 104/2016). https://www.dmdm.rs/images/dokumenti/podzakonski_propisi/pravilnik_o_brojilima_aktivne_elektricne_energije_klase_tacnosti_02_s.pdf [pristupljeno 20.01.2024]
- [11] Zakon o radu. „Službeni glasnik RS“, br. 95/2018. https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_radu.html [pristupljeno 20.01.2024]
- [12] International Recommendation OIML R 46-1/-2: “Active electrical energy meters”, Part 1: Metrological and technical requirements, Part 2: Metrological controls and performance tests, 2012. https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r046-1-2-e12.pdf [pristupljeno 20.01.2024]
- [13] Harrison, D., Harlow, J. *Introduction to Uncertainty in Physical Measurements*, University of Toronto, Kanada, 2015. <https://www.physics.utoronto.ca/~jharlow/teaching/phy131f15/uncertainties/Mini.pdf> [pristupljeno 18.03.2024]
- [14] Draft General Measure number: 0111-OOP-C02218 laying down the metrological and technical requirements for legally controlled measuring instruments, including test methods for type approval and verification of the following legally controlled measuring instruments: ‘electricity meters’, Czech Metrology Institute, 2019. <https://technical-regulation-information-system.ec.europa.eu/en/notification/15424> [pristupljeno 18.03.2024]

AUTOR/AUTHOR

Đorđe Dukanac – doktor elektrotehnike i računarstva, Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd, djordje.dukanac@ems.rs, ORCID [0000-0002-1090-3129](https://orcid.org/0000-0002-1090-3129)

Analysis of Fulfilment of Conditions for Measurement Uncertainty of the Smart Meter Control System and Reduction of Register Check Time

Abstract – This paper examines the results of the application and the existence of a coupling between the two conditions, which are important when controlling the meter in order to possibly reduce its execution time. According to the Rulebook on meters of active electric energy of accuracy class 0.2 S, the first condition for the extended measurement uncertainty of the measuring system for controlling the meter in relation to the maximum permissible error of the meter is set. The first goal of this work is to check whether this first condition is the most critical for $\cos\varphi=0.25$ inductive or $\cos\varphi=0.5$ capacitive, which are set at the special request of the meter user. A standard of accuracy class 0.02 and an indirect connection meter of accuracy class 0.2 S for active energy were used. In the above-mentioned Rulebook and International Recommendation OIML R 46-1/-2, the second condition is set that will be analysed, for the relative difference between the energy at the test output and the energy read on the register in relation to the maximum permissible error of the meter. The second goal of this paper is to analyse whether, in terms of the justification of reducing the time of checking the meter's active energy register, the first condition can be a facilitating factor. It will further be considered whether this second condition can be relaxed for meters of accuracy class 0.2 S, considering the usual expected total relative error obtained when checking the register for active energy and the precision and accuracy of meters of that class used.

Index Terms – Measurement uncertainty, Smart meter, Electrical energy, Register check, Resolution, Accuracy class