

Analiza vremena ispitivanja i greške očitavanja pametnih brojlara električne energije u zavisnosti od njihovog podešenja

Analysis of Test Time and Reading Errors of Smart Electricity Meters Depending on Their Setting

Đorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd

Rezime - Vreme provere registara pametnih brojila klase tačnosti 0,2 S za indirektno merenje aktivne električne energije preko mernih transformatora, prilikom prve, vanredne ili periodične kontrole i overe, značajno je povećano prema poslednjem Pravilniku o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S od 23.12.2016. godine. Posebno je to izraženo kada je brojilo podešeno da pokazuje izmerenu vrednost električne energije u kWh na sekundarnim stranama mernih transformatora kod često primenjivanog brojila aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S, naznačenog faznog napona $110/\sqrt{3} V$ i za naznačenu struju 1 A. Na taj način dosta je povećano i ukupno vreme kao i troškovi ispitivanja takvih brojila. Pored toga, kod na ovaj način podešenih brojila električne energije sa rezolucijom na tri decimalna mesta i jedinicom u kWh, postojaće dodatna greška pri očitavanju merene vrednosti aktivne električne energije i posebno pri izračunavanju energije gubitaka aktivne električne energije. Biće razmotren prihvatljiviji pristup podešavanja ovakvih brojila.

Ključne reči - brojilo energije, registar energije, greška očitavanja, vreme ispitivanja, prenosni odnos.

Abstract - The time of checking the registers of smart meters of accuracy class 0.2 S for indirect measurement of active electricity via instrument transformers, during the first, extraordinary or periodic control and verification has been significantly increased according to the latest Rules on meters of active electrical energy of accuracy class 0.2 S from December 23, 2016. This is especially pronounced when the meter is set to show the measured value of electrical energy in kWh on the secondary side of instrument transformers with the often used meter of active electrical energy of accuracy class 0.2 S, rated phase voltage $110 / \sqrt{3} V$ and for the rated current 1 A. In that way, the total time as well as the costs of testing such meters has increased a lot. In addition, with electricity meters set in this way with a resolution of three decimal places and a unit in kWh, there is an additional error when reading the measured value of active electrical energy and especially when calculating the energy loss of active electrical energy. A more acceptable approach to setting such meters will be considered.

Index Terms - electricity meter, energy register, reading error,

test time, transformation ratio

I UVOD

Neki od razloga za zamenu postojećih elektromehaničkih brojila sa pametnim električnim brojilima sa daljinskim očitavanjem potrošnje struje u zemljama Evropske unije i u Srbiji su: ušteda električne energije, povećanje energetske efikasnosti, sprečavanje krađe struje, ali i činjenica da energetske resursi nisu neiscrpn. Između 2018. i 2023. godine očekuje se da će stopa prodora pametnih brojila električne energije u Evropskoj uniji porasti sa približno 44 % na 71 %.

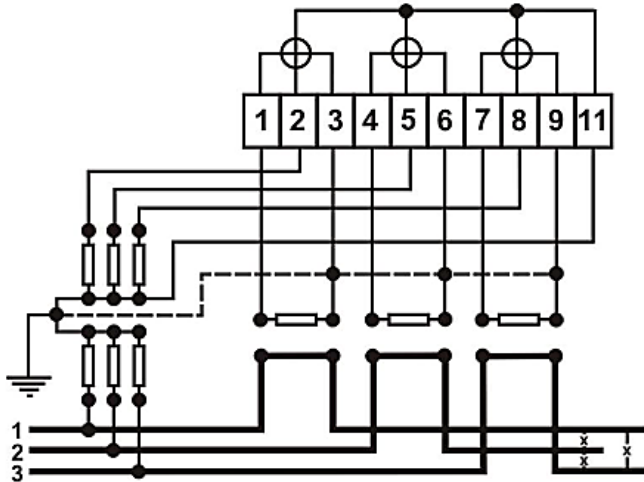
Električno brojilo je namenjeno merenju aktivne i reaktivne električne energije, maksimuma srednje snage, trenutnih vrednosti snage, struja, napona i učestanosti. Pametna brojila pored merenja aktivne i reaktivne električne energije i snage u standardnoj klasi tačnosti imaju mogućnost daljinskog očitavanja i dvosmernu komunikaciju između brojila i bazne stanice. Pametnim brojilima omogućeno je daljinsko uključivanje i isključivanje, otkrivanje neovlašćenih radnji, profilisanje opterećenja za bolju korisničku uslugu i pouzdano napajanje, obaveštavanje o prekidima napajanja i imaju mogućnost višestrukih tarifa. Podaci o potrošnji struje postaju sasvim dostupni, a uvid u potrošnju omogućava i bolju procenu, te efikasnije planiranje proizvodnje i distribucije električne energije.

Pametno brojilo se obično sastoji od sledećih hardverskih sastavnih delova:

- naponskih i strujnih senzora;
- napajanja;
- jedinice za merenje energije;
- mikrokontrolera;
- komunikacijskog međusklopa;
- sata u realnom vremenu (Real time clock).

Na slici 1. prikazana je šema veza za trofazno brojilo za četvorožični priključak sa tri merna sistema koje se uobičajeno koristi u postrojenjima. Ova električna brojila priključena su na električnu mrežu preko naponskih i strujnih mernih transformatora i mere aktivnu i reaktivnu električnu energiju iz struja i napona na sekundarnim stranama strujnih i naponskih mernih transformatora.

III PODEŠAVANJE BROJILA



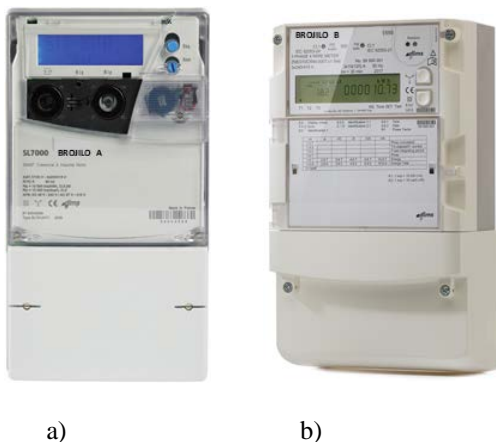
Slika 1. Šema veza trofaznog brojila za četvorožični priključak sa tri merna sistema.

III ISPITNI REŽIM

Mnoga pametna električna brojila nemaju mogućnost prebacivanja svog rada u ispitni režim sa mogućnošću skraćenog ispitivanja tačnosti pokazivanja vrednosti iz registara električne energije.

U ispitnom režimu (test mode) prikazuju se ispitna očitavanja bez uticaja na vrednosti podataka postojeće potrošnje i obračuna energije u merilu. Povećanjem rezolucije registra na ekranu, kraći intervali merenja električne energije mogu da se koriste u ispitnom režimu kako bi se smanjilo zahtevano vreme ispitivanja i oni neće da remete podatke o obračunu. Kada se nastavi prekinuti normalni režim, očitavanja snimljena tokom ispitnog režima biće odbačena i biće vraćene vrednosti podataka potrošnje i obračun postojeće energije sa najvećom mogućom podesivom rezolucijom u normalnom radu na tri decimalna mesta.

Na slici 2. prikazana su dva brojila električne energije (*A* i *B*) klase 0,2 S: a) bez i b) sa mogućnošću rada u ispitnom režimu.



Slika 2. Brojila električne energije (*A* i *B*) klase 0,2 S: a) bez mogućnosti [1] i b) sa mogućnošću rada u ispitnom režimu [2].

Pametno električno brojilo pomoću odgovarajućeg uslužnog programa proizvođača može da se podesi od strane ovlašćenog lica za buduću upotrebu. Saglasno odobrenom nivou pristupa mogu da se podešavaju mnoge bitne osobine električnog brojila (npr. tip veze (trožično ili četvorožično brojilo), nazivni napon, datum, vreme, prenosni odnosi strujnih i naponskih mernih transformatora, konstante optičkih davača, konstante impulsnih davača za daljinsko merenje, fizička adresa, tarifni stavovi, formati registara energije i snage, obračunska jedinica, sadržaj obračunskih veličina, komunikacioni parametri itd.).

Rezultat merenja brojiлом izražava se u kilovatčasovima (*kWh*) ili megavatčasovima (*MWh*).

Kod brojila *A* na slici 2.a), najviše 9 cifara prikazuje se na ekranu, sa najvećom rezolucijom na tri decimalna mesta.

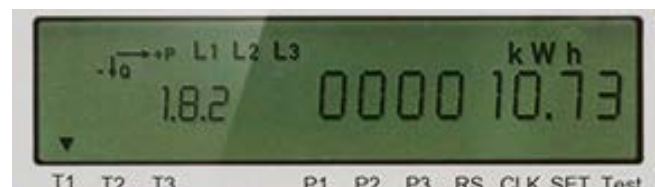
Na slici 3 prikazan je ekran trofaznog, četvorožičnog brojila *A*, sa slike 2.a), na kome je prikazana trenutna vrednost ukupne aktivne električne energije za suprotan smer energije sa rezolucijom pokazivanja energije na tri decimalna mesta u kilovatčasovima.



Slika 3. Ekran brojila *A*, sa slike 2.a), klase tačnosti 0,2 S, na kome je prikazana trenutna vrednost ukupne aktivne električne energije za povratni smer energije sa rezolucijom pokazivanja energije na tri decimalna mesta u kilovatčasovima.

Kod industrijskog i komercijalnog brojila *B* na slici 2.b), najviše 8 cifara prikazuje se na ekranu, sa najvećom rezolucijom na tri decimalna mesta.

Na slici 4. prikazan je ekran trofaznog, četvorožičnog brojila *B*, sa slike 2.b), na kome je prikazana trenutna vrednost aktivne električne energije u drugoj tarifi sa rezolucijom pokazivanja energije na dva decimalna mesta u kilovatčasovima.



Slika 4. Ekran brojila *B*, sa slike 2.b), klase tačnosti 0,2 S, na kome je prikazana trenutna vrednost aktivne električne energije u drugoj tarifi sa rezolucijom pokazivanja energije na dva decimalna mesta u kilovatčasovima.

Na slici 5. vidi se prikaz ekrana trofaznog, četvorožičnog brojila *B*, sa slike 2.b), na kome je prikazana trenutna vrednost aktivne električne energije u prvoj tarifi sa rezolucijom pokazivanja energije na tri decimalna mesta u megavatčasovima.

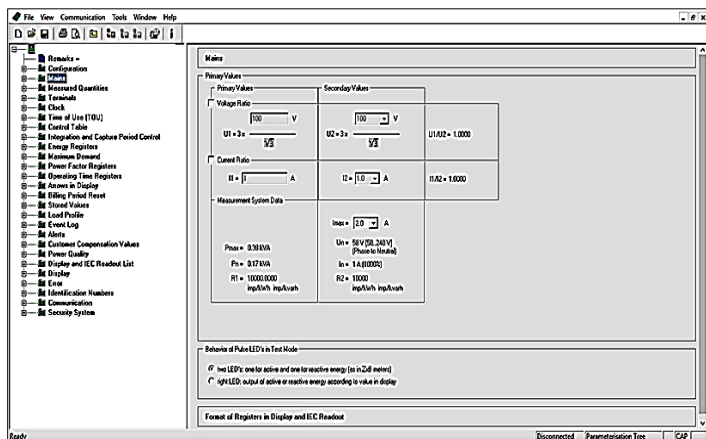


Slika 5. Prikaz ekrana brojila *B*, sa slike 2.b), klase tačnosti $0,2 S$, na kome je prikazana trenutna vrednost aktivne električne energije u prvoj tarifi sa rezolucijom pokazivanja energije na tri decimalna mesta u megawatčasovima.

Trofazna četvorožična pametna brojila koja su priključena na električnu mrežu preko naponskih i strujnih mernih transformatora i mere električnu energiju iz struja i napona na sekundarnim stranama tih mernih transformatora mogu da budu tako podešena da rezultate izmerene energije prikazuju na svom ekranu kao stvarno izmerenu energiju na sekundarima ili na primarima strujnih i naponskih mernih transformatora.

Kada je brojilo „sekundarno“ podešeno za pokazivanje stvarne vrednosti energije na sekundarnim stranama strujnih i naponskih mernih transformatora, transformatorski odnosi u brojilu podešeni su kao jednaki $1A:1A$ i $\frac{100}{\sqrt{3}}V:\frac{100}{\sqrt{3}}V$, respektivno. Jedinica merenja električne energije u tom slučaju uvek je podešena u *kWh*. Na slici 6. prikazana je kartica za unos prenosnih odnosa strujnih i naponskih transformatora za brojilo *B* sa slike 2.b).

Kada je brojilo „primarno“ podešeno za pokazivanje stvarne vrednosti energije na primarnim stranama mernih transformatora, transformatorski odnosi u brojilu podešeni su u skladu sa odgovarajućim nazivnim prenosnim odnosima mernih transformatora. Jedinica merenja električne energije u tom slučaju uvek je podešena u *MWh*.



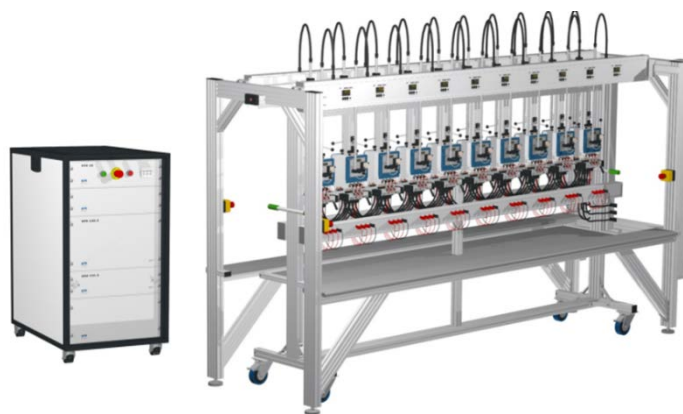
Slika 6. Kartica uslužnog programa za brojilo *B* sa slike 2.b) u kojoj je, saglasno odobrenom nivou pristupa, moguće od strane ovlašćenog lica da se podese prenosni odnosi strujnih i naponskih mernih transformatora.

Sadašnja uobičajena praksa, posebno kada preduzeće održava više stotina brojila, je da se rezolucija registara aktivne električne energije u električnim brojilima klase tačnosti $0,2 S$ podešava na tri decimalna mesta u *kWh*, i da se na ekranu brojila prikazuju vrednosti aktivne električne energije izmerene na sekundarnim stranama mernih transformatora. Jedna od „prednosti“ jeste da na

ovaj način radnici koji montiraju električna brojila u nekom elektroenergetskom postrojenju (i nisu ispitivači brojila u laboratoriji) ne moraju da vode računa o tome da li su podešeni prenosni odnosi mernih transformatora u brojilima jednaki sa stvarnim prenosnim odnosima na terenu. Međutim, radnici koji očitavaju mesečna stanja energije sa brojila (obično daljinski) i na osnovu toga rade obračun prenete električne energije i energije gubitaka imaju dodatni posao da očitavanu energiju sa sekundara svakog od brojila prevedu u traženu, stvarnu primarnu vrednost.

IV PROVERA REGISTRARA

Na slici 7. prikazan je stacionarni ispitni sistem za električna brojila u laboratoriji na kome se sprovodi i provera registara aktivne električne energije. On se sastoji od trofaznog električnog izvora i trofazne stanice.



Slika 7. Stacionarni sistem za ispitivanje električnih brojila.

Provera tačnosti pokazivanja registara brojila aktivne električne energije klase tačnosti $0,2 S$ naznačenog međufaznog napona $110 V$ i za naznačenu struju $1 A$ otežana je donošenjem novog Pravilnika o brojilima aktivne električne energije klase tačnosti $0,2 S$ (objavljenog u Službenom glasniku RS br. 104/2016) [3].

Ovaj poseban Pravilnik za brojila klase $0,2 S$ zamenio je Metrološko uputstvo za overavanje elektronskih (statičkih) višefunkcijskih brojila električne energije (objavljeno u Glasniku Zavoda za mere i dragocene metale, br. 1/2007) [4].

Staro Metrološko uputstvo za overavanje elektronskih (statičkih) višefunkcijskih brojila električne energije je i dalje u upotrebi za električna brojila klase $0,5 S$. Prema ovom starom Metrološkom uputstvu, vreme trajanja provere brojčanika treba da se izabere tako da se odnos vrednosti energije koju registruje brojčanik brojila i vrednost energije koja se dobije množenjem konstante davača impulsa i broja impulsa koje je registrovao brojčanik impulsa priključen na davač impulsa za daljinsko merenje, može odrediti sa tačnošću koja je najmanje 4 puta veća od klase tačnosti ispitivanog brojila, za svaki brojčanik.

Prema važećem Pravilniku [3], u Prilogu 3: „Overavanje brojila“, pod tačkom 7. „Provera registra“ zadata je jednačina za najmanju energiju potrebnu za proveru registra, izraženu u vatčasovima:

$$E_{min} = \frac{1000 \cdot R}{b} \quad (1)$$

gde su:

R – rezolucija registra energije,
 b – najveća dozvoljena greška u procentima.

Ova jednačina izvedena je iz uslova da razlika između zadate energije i očitane energije na registru ne može biti veća od $\frac{1}{10}$ dozvoljene greške pri nominalnim vrednostima. Ona je doslovno preuzeta iz Međunarodne preporuke *OIML R 46-1/-2* iz 2012. godine [5], izdate od strane Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju (*OIML*) sa sedištem u Francuskoj, čiji je član i Republika Srbija.

Prema jednačini (1), u slučaju „sekundarno“ podešenih električnih brojila sa registrima energije sa rezolucijom na 3 decimalna mesta (0,001 kWh) najmanja energija koja je potrebna da protekne kroz brojilo radi provere registra električnog brojila klase 0,2 S ($b = 0,2\%$) je:

$$E_{min,sek} = \frac{1000 \cdot R}{b} = \frac{1000 \cdot 0,001 \text{ kWh}}{0,2} = 5 \text{ kWh} \quad (2)$$

Prema rezultatu iz jednačine (2), za „sekundarno“ podešena električna brojila za naznačenu struju 1 A, najveću struju 2 A i naznačeni međufazni napon 100 V, za čisto vreme provere registra aktivne energije dobija se:

$$t_{min,sek} = \frac{E_{min}}{\sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot U} = \frac{5 \text{ kWh}}{\sqrt{3} \cdot 2 \text{ A} \cdot 100 \text{ V}} = 14,434 \text{ h} = 14 \text{ h } 26 \text{ min} \quad (3)$$

Dnevni rad u ovolikom trajanju ne može da se propisano organizuje sa jednim kontrolorom, jer prema Zakonu o radu [6] (objavljenom u Službenom glasniku RS broj 95/2018) zaposleni ima pravo na dnevni odmor u neprekidnom trajanju najmanje 11 sati u okviru 24 h u slučaju preraspodele radnog vremena (članovi 57. i 66.), dok je prekovremeni rad ograničen na 12 sati (članovi 53. i 66.). S druge strane, jedan ovlašćeni kontrolor za overu brojila stavlja svoj žig na brojilo po završetku svih ispitivanja propisanih prema Pravilniku o brojlama aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S.

Kada je električno brojilo podešeno, što je najčešći slučaj, za pokazivanje energija za dve tarife, potrebno je da se posebno provere dva registra aktivne električne energije, a ukupno vreme provere registara je 28 h 52 min.

Kada električno brojilo treba da bude podešeno da pored rada u dve tarife beleži izmerenu energiju u dva smera (od izvora ka korisniku i obrnuto), onda moraju da se posebno provere četiri registra aktivne električne energije, a ukupno vreme provere tih registara je 57 h 44 min.

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. [7].

U pomenutom češkom pravilniku piše da se za brojila klase tačnosti 0,2 S uslovi ispitivanja pojednostavljuju. Uslov je da razlika između zadate i očitane energije ne sme da bude veća od 1/4 dozvoljene greške (tačka 7.7 strana 33 [7]). Dopušta se

primena struja u opsegu od naznačene do najveće struje za dato električno brojilo. Ovo znači 2,5 puta manje vreme ispitivanja tačnosti pokazivanja brojača u slučaju brojila aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S u odnosu na vreme propisano domaćim Pravilnikom o brojlama aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S [3].

Kao primer „primarnog“ podešavanja podataka za aktivnu energiju, smatraće se da su prenosni odnosi naponskog i strujnog mernog transformatora:

$$n_U = \frac{110000 \text{ V}}{100 \text{ V}} = 1100 \quad i \quad n_I = \frac{1500 \text{ A}}{1 \text{ A}} = 1500 \quad (4)$$

Njihov proizvod iznosi:

$$n_T = n_U \cdot n_I = 1100 \cdot 1500 = 1,65 \cdot 10^6 \quad (5)$$

Prema jednačini (1), u slučaju „primarno“ podešenih električnih brojila sa registrima energije sa rezolucijom na 2 decimalna mesta (0,01 MWh) najmanja energija koja je potrebna da protekne kroz brojilo radi provere registra električnog brojila klase 0,2 S ($b = 0,2\%$) je:

$$E_{min,pr} = \frac{1000 \cdot R}{b} = \frac{1000 \cdot 0,01 \text{ MWh}}{0,2} = 50 \text{ MWh} \quad (6)$$

Prema rezultatu iz jednačine (2), za „primarno“ podešena električna brojila za naznačenu struju 1 A, najveću struju 2 A i naznačeni međufazni napon 100 V, za neto vreme provere registra aktivne energije dobija se:

$$t_{min,pr} = \frac{E_{min}}{\sqrt{3} \cdot n_T \cdot I_{max} \cdot U} = \frac{50 \text{ MWh}}{\sqrt{3} \cdot 1,65 \cdot 10^6 \cdot 2 \text{ A} \cdot 100 \text{ V}} = 0,08748 \text{ h} = 5,25 \text{ min} \quad (7)$$

Prema jednačini (7), izračunato vreme ispitivanja provere registra u slučaju „primarno“ podešenog električnog brojila neuporedivo je kraće nego posmatrano vreme izračunato prema jednačini (3) za slučaj „sekundarno“ podešenog električnog brojila.

V GREŠKA OČITAVANJA

Izmerena vrednost fizičkih veličina zna se samo sa izvesnom sigurnošću. Greška merenja se procenjuje. Merenje aktivne električne energije pomoću trofaznog četvoržičnog električnog brojila spada u neposredna merenja jer se rezultati merenja direktno očitavaju sa ekrana brojila.

Apsolutna greška bilo kog mernog instrumenata, pa tako i električnog brojila, računa se prema obrascu:

$$\Delta x = kx + lx_{min} = kx + \Delta x_0 \quad (8)$$

gde su:

- k – data klasa tačnosti mernog instrumenta,
- x – izmerena vrednost,
- x_{min} – vrednost poslednje cifre (rezolucija) i
- l – sačinilac
- Δx_0 – greška očitavanja.

Relativna greška merenja je:

$$\delta_U = \frac{\Delta x}{x} = k + \frac{lx_{min}}{x} \quad (9)$$

Rezultat jednog direktnog merenja x' se izražava kao:

$$x' = x \pm \Delta x \quad (10)$$

Svi digitalni instrumenti imaju nerazdvojivu mernu nesigurnost zbog ograničenog broja cifara koje mogu da se prikažu na ekranu instrumenta. Najmanja brojčani korak koji može da bude prikazan na digitalnom ekranu naziva se rezolucija.

Unutrašnje kolo digitalnog instrumenta mora da zaokruži merenje tako da odgovara broju cifara za prikaz. Ovaj postupak zaokruživanja uvodi neizvesnost jer kada se pročita merena vrednost sa ekrana, nikada ne bi moglo da se zna koja bi sledeća cifra bila bez zaokruživanja. Zato se uzima da je nesigurnost polovina vrednosti poslednjeg prikazanog decimalnog mesta, pa je vrednost sačinioa $l = \frac{1}{2}$.

U ovom radu, posmatra se greška pri očitavanju električnog brojila pri različitim načinima podešavanja transformatorskih odnosa u brojilu i shodno tome različitim podešenim mernim jedinicama za merenje električne energije (u kWh za „sekundarno“ podešena i u MWh za „primarno“ podešena brojila električne energije).

Za brojila klase tačnosti 0,2 S, biće $k = 0,002$, pa je:

$$\Delta x_U = 0,002 \cdot x + 0,5 \cdot x_{min} = 0,002 \cdot x + \Delta x_O \quad (11)$$

Posmatraće se samo sistematska (instrumentalna) greška merenja koja ostaje stalna i na koju ne utiče povećanje broja merenja.

Greška očitavanja mesečno izmerene vrednosti aktivne električne energije pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu svedena na primarnu stranu, za slučaj prenosnih odnosa naponskog i strujnog transformatora $n_U = \frac{110000 V}{100 V} = 1100$ i $n_I = \frac{1500 A}{1 A} = 1500$, je:

$$|\Delta x_{OS}| = 0,5 \cdot (1,65 \cdot 10^6 \cdot 0,001 \cdot 10^3) Wh = 825000 Wh = 0,82 MWh \quad (12)$$

Greška očitavanja mesečno izmerene vrednosti aktivne električne energije pri „primarno“ podešenom električnom brojilu je:

$$|\Delta x_{OP}| = 0,01 MWh \quad (13)$$

što je 82 puta manja greška očitavanja nego pri očitavanju „sekundarno“ podešenog brojila.

Na primarnim stranama strujnog i naponskog mernog transformatora ukupna protekla energija za mesec dana, pri nazivnim vrednostima struje i napona, je:

$$E_P = \sqrt{3} \cdot U_P \cdot I_P \cdot T = \sqrt{3} \cdot 110000 \cdot 1500 \cdot 24 \cdot 30 Wh = 205767,64 MWh \quad (14)$$

Ako brojilo počinje da radi podešeno od nule, greška očitavanja kod „sekundarno“ podešenog brojila na tri decimalna mesta u kWh je mala i za posmatrane nazivne primarne vrednosti struja i napona iznosi $\pm 0,0004$ % izmerene vrednosti. Tada je ukupna relativna greška koja se pravi zapravo veća od klase tačnosti brojila 0,2 S i iznosi $\pm 0,2004$ %.

Međutim, brojila uglavnom ne počinju rad podešena na nulu, već je to neka slučajno zabeležena vrednost energije koja je protekla tokom vremena. Protekla energija x_R se računa kao razlika dva merenja x'' i x' :

$$x_R = x'' - x' \quad (15)$$

Greška očitavanja se onda duplira i iznosi $\pm 0,0008$ % izmerene vrednosti. Tada je ukupna relativna greška veća od klase tačnosti brojila 0,2 S i iznosi $\pm 0,2008$ %.

Očigledno je da udeo ove greške očitavanja mesečno izmerene aktivne električne energije raste za manje nazivne vrednosti sekundarne struje i sekundarnog napona.

Međutim, pošto su energetske transformatori obično opterećeni u proseku sa 50 % naznačenog opterećenja [8,9], ukupna protekla energija za mesec dana, pri nazivnim vrednostima struje i napona je dvostruko manja, pa je ukupna relativna greška merenja tada za brojilo koje je bilo podešeno za rad od nule $\pm 0,2008$ %, a za brojilo kod koje su obe vrednosti energije slučajne $\pm 0,2016$ %.

Pri proračunima gubitaka na dalekovodima, treba voditi računa da električna brojila koja mere energiju na dva naspramna kraja nekog dalekovoda nemaju istu grešku očitavanja jer kroz njih teku različite aktivne snage zbog gubitaka na tom delokovodu. Energija gubitaka na dalekovodu je razlika energija x_{R1} i x_{R2} na dva kraja dalekovoda 1 i 2:

$$x_G = x_{R1} - x_{R2} = (x_1'' - x_1') - (x_2'' - x_2') \quad (16)$$

Greška očitavanja će da bude najmanje dvostruko veća. Pored toga, udeo greške očitavanja u ovom slučaju je značajniji, jer je veličina gubitaka na dalekovodu (2 – 4) % od ukupne izmerene energije koja prođe kroz dalekovod. Ako se pretpostavi da je ukupna protekla energija za mesec dana na početku dalekovoda jednaka vrednosti dobijenoj u jednačini (14), relativna greška merenja mesečnih gubitaka energije na dalekovodu:

- 1) ako su oba brojila pri prvom merenju bila podešena na nulu biće $\pm (0,22 - 0,24)$ %,
- 2) ako je samo jedno brojilo pri prvom merenju bilo podešeno na nulu $\pm (0,23 - 0,26)$ %,
- 3) ako oba brojila imaju obe vrednosti energije kao slučajne vrednosti relativna greška merenja biće $\pm (0,24 - 0,28)$ %.

Ako se pretpostavi da je dalekovod bio opterećeni u proseku sa 50 % naznačenog opterećenja, ukupna protekla energija za mesec dana, pri nazivnim vrednostima struje i napona biće dvostruko manja pa će i gubici da budu srazmerno manji. Otuda je ukupna relativna greška merenja gubitaka energije tada:

- 1) ako su oba brojila pri prvom merenju bila podešena na nulu $\pm (0,24 - 0,28)$ %,
- 2) ako je samo jedno brojilo pri prvom merenju bilo podešeno na nulu $\pm (0,26 - 0,32)$ %,
- 3) ako oba brojila imaju obe vrednosti energije kao slučajne vrednosti (u krajnjem i početnom stanju očitavanja) relativna greška merenja biće $\pm (0,28 - 0,36)$ %.

Ovo je primetno veća greška u odnosu na najveću dozvoljenu grešku električnog brojila od $\pm 0,2$ %.

U današnje vreme razvijaju se električna brojila klase 0,1 S [10]. Kod jednog takvog brojila, za iste nazivne vrednost struje, najveće struje i napona kao za posmatrano brojilo klase 0,2 S, pri „sekundarno“ podešenom brojilu i za zadate prenosne odnose mernih transformatora kao u prethodnim primerima, bio bi očigledno još veći uticaj greške očitavanja aktivne električne energije.

VI ZAKLJUČAK

Podešavanjem brojila električne energije na način da beleži stvarnu utrošenu energiju dobijenu na osnovu vrednosti struja i napona na sekundarnim stranama strujnih i naponskih mernih transformatora, respektivno, primenom važećeg Pravilnika o brojlama aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S, koji se primenjuje od 23.12.2016., javlja se veliko izračunato vreme ispitivanja registara izmerene električne energije pri prvom, redovnom (periodičnom) i vanrednom kontrolisanju i overavanju brojila. Posebno je to izraženo na primeru često korišćenog brojila klase tačnosti 0,2 S za nazivnu struju 1 A i nazivni fazni napon 57,7 V. U Češkoj Republici, koja je stalni član OIML-a kao i Republika Srbija, zahtevano vreme provere registra električne energije brojila klase 0,2 S je 2,5 puta kraće.

Kao bolji pristup, preporučuje se „primarno“ podešavanje brojila električne energije tako da pokazuje traženu, stvarnu vrednost aktivne električne energije sa primarne strane mernih transformatora iz sledećih razloga:

- 1) značajno je manje vreme ispitivanja tačnosti pokazivanja registara aktivne električne energije;
- 2) značajno je manja greška očitavanja vrednosti registra aktivne električne energije;
- 3) primetno je manja relativna greška merenja mesečnih gubitaka energije na nekom od elemenata elektroenergetskog sistema (energetskom transformatoru, nadzemnom vodu, kابلu i sl.);
- 4) neposredno sa ekrana električnog brojila očitava se stvarno potrošena električna energija;
- 5) moguće je da jedan kontrolor obavi ispitivanje tačnosti pokazivanja registra aktivne energije u vremenu koje je u skladu sa Zakonom o radu.

LITERATURA

- [1] ITRON SL7000 IEC7 user manual, https://www.otec.com.ua/show_catalogue_pdf/194683/1 [pristupljeno 20.01.2021]
- [2] Landis + Gyr. D000062026 en a – E650 Series 4 – ZMD400AT/CT, ZFD400AT/CT - User Manual. 2.2 Standards., <https://landisgyr.com.cn/uploadfiles/d000062026.pdf> [pristupljeno 20.01.2021]
- [3] Pravilnik o brojlama aktivne električne energije klase tačnosti 0,2 S („Službeni glasnik RS“, br. 104/2016), http://www.dmdm.rs/Pravilnici/pravilnik_o_brojilima_aktivne_elektricne_energije_klase_tacnosti_02_s.pdf [pristupljeno 20.01.2021]
- [4] Metrološko uputstvo za overavanje elektronskih (statičkih) višefunkcijskih brojila električne energije (Glasnik ZMDM, br. 1/2007), http://www.dmdm.rs/PDF/MusMup/MUP_elbrojila_el_en_visenamenski_1_07.pdf [pristupljeno 22.01.2021]
- [5] 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 22.01.2021]
- [6] Zakon o radu („Službeni glasnik RS“, br. 95/2018), https://www.paragraf.rs/propisi_download/zakon_o_radu.pdf [pristupljeno 22.01.2021]
- [7] Opatření obecné povahy, číslo: 0111-OOP-C022-18 kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla, včetně metod zkoušení při schvalování typu a při ověřování stanovených měřidel: „elektroměry“, https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/Uredni_deska/OOP/OOP%2022-18%20Elektrom%C4%9Bry.pdf [pristupljeno 23.01.2021]
- [8] BEE Code Transformers, https://nredcap.in/PDFs/BEE_manuals/BEE_CODE_TRANSFORMERS.pdf [pristupljeno 23.01.2021]
- [9] ABB Environmental Product Declaration - Power Transformer TrafoStar 500 MVA (ONAN/ONAF) Registration nr. S-P-00019. ABB Transformer AB Ludvika, Sweden, 2003. <https://library.e.abb.com/public/566748ad75116903c1256d630042f1af/ProductDeclarationStarTrafo500.pdf> [pristupljeno 23.10.2020].
- [10] Power Quality Meters: ION9000 Series Advanced Power Quality Meters., [https://www.productinfo.schneider-electric.com/nadigest/5c51d645347bdf0001f1f280/Master/17704_MAIN%20\(bookmap\)_0000041932.xml/\\$/Metering-00BF619F](https://www.productinfo.schneider-electric.com/nadigest/5c51d645347bdf0001f1f280/Master/17704_MAIN%20(bookmap)_0000041932.xml/$/Metering-00BF619F) [pristupljeno 23.01.2021]

AUTORI

mr Đorđe Dukanac, magistar elektrotehničkih nauka, „Elektromreža Srbije“ a.d., djordje.dukanac@ems.rs