

Optimalno podešavanje rezolucije registra električne energije pametnog brojila

Optimal Adjustment of the Resolution of the Electricity Register of the Smart Meter

Dorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd

Rezime - Tehnički gubici u prenosnoj mreži su: gubici snage, odnosno električne energije, koji su posledica utroška snage, odnosno energije, na zagrevanje elemenata u prenosnoj mreži usled postojanja aktivnog otpora u ovim elementima, gubici usled histerezisa, gubici usled vrtložnih struja, gubici od struja odvoda u izolaciji, gubici usled korone i dielektrični gubici. Pri najčešćoj upotrebi pametnih brojila za indirektni priključak u radu u postrojenju podešenih za pokazivanje električne energije sa sekundarne strane, aktivna električna energija biće očitavana na ekranu brojila sa dodatnom greškom. Tada se prenosni odnosi naponskih i strujnih mernih transformatora podešavaju u pametnom brojilu kao 1:1. Da bi se dobila stvarna vrednost energije, potrebno je naknadno da se izmerena vrednost električne energije očitana sa brojila pomnoži sa prenosnim odnosima mernih transformatora. Drugi način je da se u pametnom brojilu podese stvarni prenosni odnosi naponskih i strujnih mernih transformatora pa da se na ekranu brojila očitava stvarna vrednost električne energije u megavat-satima. U ovom radu razmatraju se greške očitavanja električne energije uzimajući u obzir: prenosne odnose mernih transformatora, rezolucije i jedinice električne energije, metode podešavanja pametnih brojila, unutrašnje konstante merila, nazivne sekundarne struje električnih brojila i propisanu najveću energiju koja se registruje na ekranu električnog brojila. Istražuje se koliko su veće greške sekundarno podešenih električnih brojila za indirektni priključak sa uobičajenom rezolucijom za pokazivanje električne energije na tri decimalna mesta i jedinicom merenja u kilovat-satima u odnosu na druga moguća podešenja za očitavanje brojila. Primetne su greške u proračunu tehničkih gubitaka električne energije na visokonaponskim dalekovodima i kablovima i energetske transformatorima.

Ključne reči - greška očitavanja, podešenja brojila, pokazivanje energije, prenosni odnos, unutrašnja konstanta brojila

Abstract - Technical losses in the transmission network are: losses of power, i.e. electrical energy, which are a consequence of the consumption of power, i.e. energy for heating the elements in the transmission network due to the existence of active resistance in these elements, losses due to hysteresis, losses due to eddy currents, losses due to drain currents in insulation, losses due to corona and dielectric losses. With the most frequent use of

smart meters for indirect connection in operation in a plant set up to display electricity from the secondary side, the active electricity will be read on the meter screen with an additional error. Then the transformation ratios of voltage and current instrument transformers are set in the smart meter as 1:1. In order to obtain the actual value of energy, it is necessary to multiply the measured value of electricity from the meter by the transformation ratios of instrument transformers. Another way is to adjust the actual transformation ratios of voltage and current instrument transformers in the smart meter, so that the actual value of electricity in megawatts can be read on the meter screen. In this paper, the errors of electricity reading are considered, taking into account: transformation ratios of measuring transformers, resolutions and units of electricity, methods of setting smart meters, internal constants of meters, nominal secondary currents of electric meters and the prescribed maximum energy that is registered on the screen of electric meter. It investigates how much larger the errors of secondarily set electric meters for indirect connection with the usual resolution for displaying electricity in three decimal places and the unit of measurement in kilowatt hours compared to other possible settings for reading meters. Errors in the calculation of technical losses of electricity on high-voltage transmission lines and cables and power transformers are noticeable.

Index Terms - Energy display, Internal constant of meter, Meter setting, Reading error, Transformation ratio

I UVOD

Brojilo električne energije je uređaj kojim se meri utrošena energija (aktivna ili reaktivna) u električnom kolu i prikazuje u vrednostima koje su podesne za korišćenje. Za to se koristi merna jedinica kojom se izražava potrošena količina energije za jedinicu vremena.

Izmerena vrednost brojilom električne energije očitava se sa ekrana brojila u kilovat-časovima (*kWh*) ili megavat-časovima (*MWh*).

Pametnim brojilima uspostavlja se dvosmerni protok podataka između potrošača i distributera električne energije [1]. Pametnim brojilima značajno je olakšano očitavanje i omogućeno je da se u

realnom vremenu prati koliko se električne energije razmeni na nekom mernom mestu i kakvi su tekući računi.

Merno mesto je mesto na kome su priključeni naponski i strujni merni transformatori koji napajaju pripadajuća brojila za merenje razmenjene električne energije između objekta korisnika prenosnog sistema i prenosne mreže.

Preko komunikacionih priključaka brojila RS 485 ostvaruje se daljinska komunikacija brojila ili niza brojila sa sistemom za daljinsko očitavanje brojila i obračun isporučene električne energije (SRAAMD – Remote Acquisition and Accounting of Metering Data).

Radi daljinskog očitavanja brojila može da se koristi prenos podataka:

- 1) optičkim vlaknima u zaštitnom užetu dalekovoda u prenosnoj mreži (OPGW/Ethernet);
- 2) GSM/GPRS/LTE mrežom mobilne telefonije;
- 3) javnom telefonskom mrežom.

Osnovni obračunski merni podaci su:

- 1) prikupljeni podaci o predatoj, odnosno preuzetoj električnoj energiji za obračunski period iz registara energije brojila i
- 2) podaci o 15-minutnim dijagramima opterećenja predate, odnosno preuzete električne energije.

Obračunski period je vremenski period koji je, po pravilu, kalendarski mesec.

U ovom radu razmatraju se trofazna električna brojila za četvorožični priključak sa tri merna sistema koja se uobičajeno koriste u elektroenergetskim postrojenjima. Takođe ova brojila su predviđena za indirektni priključak na trofaznu mrežu preko odgovarajućih naponskih i strujnih mernih transformatora.

Na tržištu SAD najpoznatiji svetski proizvođači pametnih brojila aktivne električne energije za klasu tačnosti 0,2 S ili 0,5 S su [2]:

- Honeywell International Inc. (Elster Group);
- Itron Inc.;
- Landis + Gyr;
- Schneider Electric SE.

Postoje dva osnovna moguća načina da se rezultat merenja električne energije prikaže na ekranu električnog brojila.

Prvi način je da rezultat izmerene aktivne električne energije bude prikazan na ekranu električnog brojila kao stvarno izmerena energija sa sekundara strujnih i naponskih mernih transformatora. U samom brojilu se prenosni odnosi mernih transformatora podese kao 1:1. Jedinica merenja električne energije se podešava u kWh. Za potrebe mesečnog obračuna električne energije i energije gubitaka potrebno je da se očitana „sekundarna“ energija sa brojila naknadno množi sa prenosnim odnosima mernih transformatora na mernom mestu kako bi se dobila tražena stvarno potrošena aktivna električna energija.

Drugi način je da rezultat izmerene aktivne električne energije bude prikazan na ekranu električnog brojila kao tražena energija sa primara strujnih i naponskih mernih transformatora.

U samom brojilu se podese stvarni prenosni odnosi mernih transformatora kao na mernom mestu gde je ugrađeno brojilo.

Prikazana energija na ekranu brojila predstavlja stvarno izmerenu „primarnu“ energiju, tj. „sekundarnu“ energiju pomnoženu u samom brojilu sa unapred zadatim prenosnim odnosima mernih transformatora na mernom mestu. Tako se odmah dobija tražena stvarno potrošena aktivna električna energija za potrebe mesečnog obračuna električne energije i energije gubitaka. Jedinica merenja električne energije u ovom slučaju podešava se u MWh.

U odnosu na drugi deo rada [3], ovde je detaljno uzet u obzir uticaj konstante brojila na grešku pri izračunavanju gubitaka na elementima elektroenergetskog sistema (EES-a). Takođe je ispitan uticaj rezolucije ekrana brojila pri „primarnom“ podešenju brojila uslovljen Pravilima o radu prenosnog sistema [4].

„Sekundarno“ podešenje je zastupljeno npr. iz razloga da bi zaposleni za pravljenje obračuna električne energije imali lakši posao u smislu da registar aktivne energije ekrana (brojčanik ili brojač) nijednog brojila sigurno ne prolazi kroz nulu za osam godina koliki je period overe električnih brojila za posredni priključak. Isto tako zaposleni za obračunsko i kontrolno merenje električne energije ne moraju da misle o prenosnom odnosu brojila koja odnose na teren radi ugradnje niti o posebnom podešavanju prenosnih odnosa mernih transformatora u samim brojilima pre davanja brojila na overu (jer se stavljaju oba prenosna odnosa kao 1:1).

II PERIODI ČUVANJA SNIMLJENIH STANJA REGISTARA ENERGIJE

U električnom brojilu se čuvaju snimljena stanja svih podešenih registara za aktivnu i reaktivnu električnu energiju i maksimalnu snagu najmanje za dvanaest meseci unazad, posle čega se vrši ciklični upis: trinaesti mesec umesto prvog meseca itd. [4].

Za izračunavanje ukupne aktivne električne energije E_{1g} za dvanaest meseci unazad biće korišćena jednačina:

$$E_{1g} = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_f \cdot \cos\varphi \cdot T. \quad (1)$$

gde su:

U_l – međufazni napon [V],

I_f – fazna struja [A],

$\cos\varphi$ – faktor snage,

T – period vremena [s] u 12 meseci.

Pretpostaviće se da je faktor snage $\cos\varphi = 0,97$.

Period vremena u 12 meseci je:

$$T = N_h \cdot N_d \cdot N_m = 24 \cdot 30,5 \cdot 12 \text{ h} = 8784 \text{ h}. \quad (2)$$

gde su:

N_h – broj časova u jednom danu,

N_d – prosečni broj dana u jednom mesecu i

N_m – razmatrani najmanji broj meseci.

U slučaju „sekundarno“ podešenog trofaznog brojila za posredni priključak preko mernih transformatora, sa merenjem aktivne energije u kWh na tri decimalna mesta, za 12 meseci pri naznačenoj struji brojila od 1 A i naznačenom međufaznom naponu 100 V dobija se:

$$E_{1g}^S = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 1475,79 \text{ kWh} \quad (3)$$

Ni na kraju osme godine, koliki je period periodične overe brojila, na brojčaniku brojila se neće dostići najveća moguća vrednost 99999,999 kWh kod osmocifrenog registra ekrana brojila posle čega bi se svi brojevi postavili na nulu (za sledećih 0,001 kWh):

$$E_{8g}^S = 8 \cdot E_{1g}^S = 8 \cdot 1475,79 \text{ kWh} = 11806,323 \text{ kWh} \quad (4)$$

Za 1 mesec protekla „sekundarna“ aktivna električna energija je:

$$E_{1m}^S = \frac{E_{1g}^S}{12} = 122,983 \text{ kWh} \quad (5)$$

Na brojčaniku bi se dostigla vrednost 99999,999 kWh za:

$$T_0^S = \frac{99999,999 \cdot T}{E_{8g}^S [\text{kWh}]} = \frac{99999,999 \cdot 8784 \text{ h}}{1475,79} = 595206,46 \text{ h} = 813,12 \text{ meseci} = 67,76 \text{ godina.} \quad (6)$$

Za osam godina procentualno se dostigne na osmocifarskom ekranu:

$$\zeta_0^S = \frac{11806,323 \text{ kWh}}{99999,999 \text{ kWh}} \cdot 100 \% = 11,81 \% \quad (7)$$

celog opsega brojčanika brojila, odnosno 1,48 % godišnje.

Za devetocifarni ekran često korišćenog brojila na slici 1., vrednost 999999,999 kWh bi se dostigla za $T_D^S = 677,6$ godina. Za osam godina procentualno se dostigne na devetocifarskom ekranu: $\zeta_D^S = 1,181 \%$, što je 0,148 % godišnje.



Slika 1. Često korišćeno brojilo električne energije u industriji i transformatorskim stanicama i razvodnim postrojenjima, klase 0, 2 S ili 0, 5 S za aktivnu električnu energiju sa devetocifarskim ekranom, koje se pravi za konstantu 10000 imp./kWh za brojila za indirektni priključak preko mernih transformatora [5].

Biće razmotrena četiri primera „primarnog“ podešenja brojila.

1) Prvi primer je merenje energije na primarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR2 300 MVA, 400/115±8*1,25%/10,5 kV u TS 400/110kV Sombor) ili na dalekovodu 400 kV, pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora $\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$, a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·500A/1A.

Na slici 2. prikazani su induktivni naponski merni transformatori za najviši napon 420 kV. Na slici 3. prikazani su strujni merni

transformatori za najviši napon 420 kV sa izolatorom od sive silikonske gume.



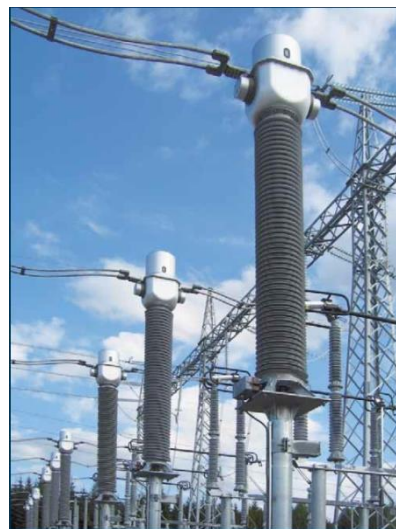
Slika 2. Induktivni naponski merni transformatori za najviši napon 420 kV [6]

Primenom jednačine (1), pod pretpostavkom proticanja stalne naznačene struje, dobija se protekla energija za godinu dana:

$$E_{1,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 400000 \cdot 2 \cdot 500 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 5903161,71 \text{ MWh.} \quad (8)$$

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

$$E_{1,1m}^P = \frac{E_{1,1g}^P}{12} = 491930,142 \text{ MWh} \quad (9)$$



Slika 3. Strujni merni transformatori za najviši napon 420 kV sa izolatorom od sive silikonske gume [6]

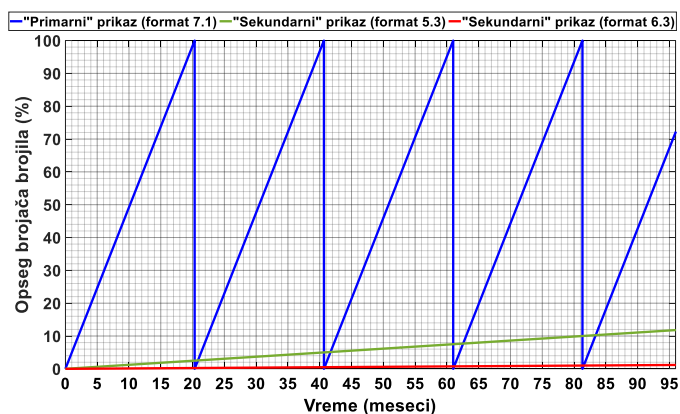
Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na osmocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,9 MWh za:

$$T_{01}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{1,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 \text{ h}}{5903161,7} =$$

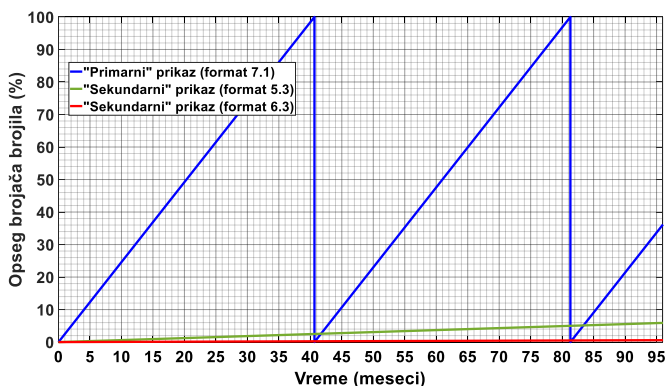
$$= 14880,16 \text{ h} = 20,33 \text{ meseci} = 1,69 \text{ godina.} \quad (10)$$

Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,99 MWh za: $T_{D1}^P = 20,33 \text{ mes.} = 1,69 \text{ god.}$

Za prvi primer, na slici 4. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja (na prvi način) i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.



(a)



(b)

Slika 4. Za prvi primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 7.1 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zeleno i crveno) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

Sa slike 4. se vidi da će četiri i dva puta za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na prvi način kod registra ukupne energije i tarifnog registra, respektivno. Kod „sekundarnog“ podešenja za osam godina se iskoristi svega 11,81 % i 5,9 % opsega brojačnika u formatu 5.3 i 1,181% i 0,59 % u formatu 6.3 kod registra ukupne energije i tarifnog registra ekrana brojila, respektivno.

2) Drugi primer je merenje energije na primarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR6 250 MVA, 220/110/10 kV u TS 220/110/35 kV Beograd 5) ili dalekovodu 220 kV pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$, a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·600A/1/1/1A.

$$E_{2,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 3896086,73 \text{ MWh.} \quad (11)$$

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

$$E_{2,1m}^P = 324673,894 \text{ MWh} \quad (12)$$

Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,9 MWh za:

$$T_{O2}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{2,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 \text{ h}}{3896086,7} = 22545,7 \text{ h} = 30,8 \text{ meseci} = 2,57 \text{ godina.} \quad (13)$$

Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,99 MWh za: $T_{D2}^P = 30,8 \text{ meseci} = 2,57 \text{ god.}$

Za drugi primer, na slici 5. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja (na drugi način) i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.

Sa slike 5. se vidi da će najviše tri puta i jedanput za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na drugi način kod registra ukupne energije i tarifnog registra, respektivno. Kod „sekundarnog“ podešenja zaključci su isti kao za sliku 4.

3) Treći primer je merenje energije na trofaznom dalekovodu 110 kV (npr. DV 110 kV br. 1112 TS Bogatić – TS Šabac 3) pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$, a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·200A/1/1/1A.

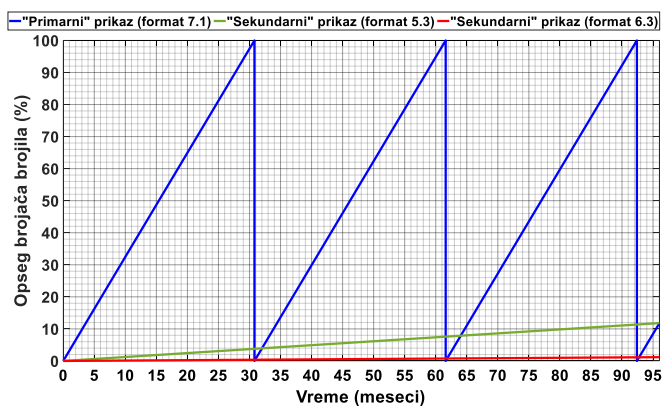
$$E_{3,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 110000 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 649347,788 \text{ MWh.} \quad (14)$$

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

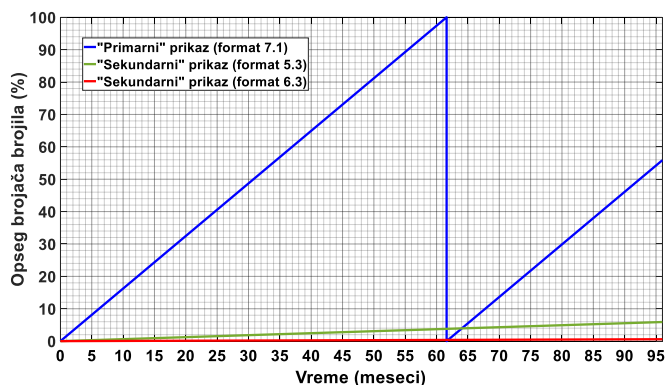
$$E_{3,1m}^P = 54112,316 \text{ MWh} \quad (15)$$

Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na ekranu brojila potrebno je 6 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 999999,99 MWh za:

$$T_{O3}^P = \frac{999999,99 \cdot T}{E_{3,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{999999,99 \cdot 8784 \text{ h}}{649347,788} = 13527,419 \text{ h} = 18,48 \text{ meseci} = 1,54 \text{ godina.} \quad (16)$$



(a)



(b)

Slika 5. Za drugi primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 7.1 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zeleno) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

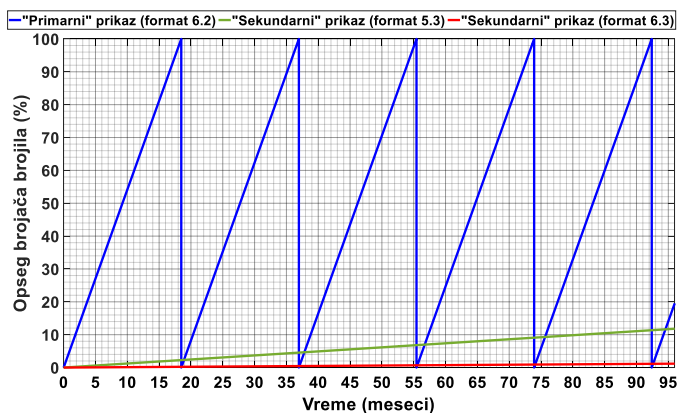
Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 6 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 999999,999 MWh za: $T_{D3}^P = 18,48 \text{ mes.} = 1,54 \text{ god.}$

Za treći primer na slici 6. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja na treći način i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.

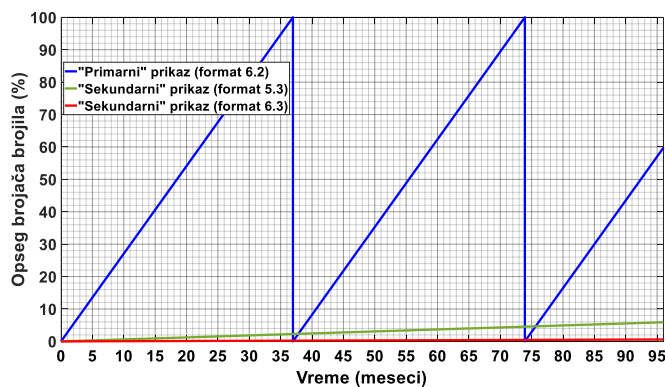
Sa slike 6. se vidi da će najviše pet puta i dva puta za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na treći način kod registra ukupne energije i tarifnog registra, respektivno, sada u formatu 6.2. Da je uzeta rezolucija registra ekrana na 1 decimalno mesto ne bi bilo ni jednog prelaza brojčanika na rad od nule za osam godina rada brojila u postrojenju. Kod „sekundarnog“ podešenja zaključci su isti kao za slike 4. i 5.

4) Četvrti primer je merenje energije na sekundarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR6 250 MVA, 220/110/10 kV u TS 220/110/35 kV Beograd 5) ili dalekovodu 110 kV (npr. DV 110 kV br.151/5 PRP Alibunar – TS Alibunar) ili na sekundarnoj strani trofaznog energetskog transformatora (npr. TR2 300 MVA, 400/115±8*1,25%/10,5 kV u TS 400/110kV Sombor) pri čemu je prenosni odnos naponskih mernih transformatora $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$, a prenosni odnos strujnih mernih transformatora 2·750A/1/1/1A.

$$E_{4,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 110000 \cdot 2 \cdot 750 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 2435054,2 \text{ MWh.} \quad (17)$$



(a)



(b)

Slika 6. Za treći primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 6.2 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zeleno) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

Za 1 mesec aktivna električna energija je:

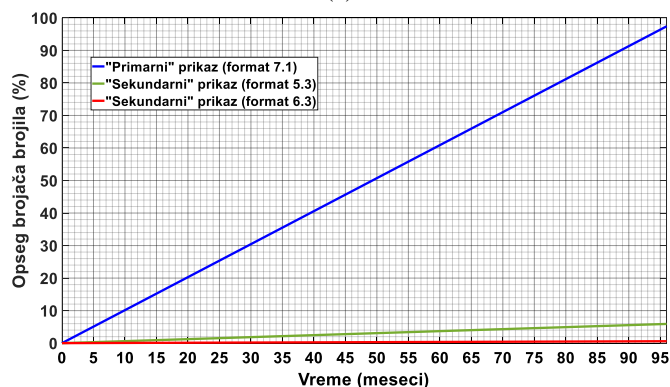
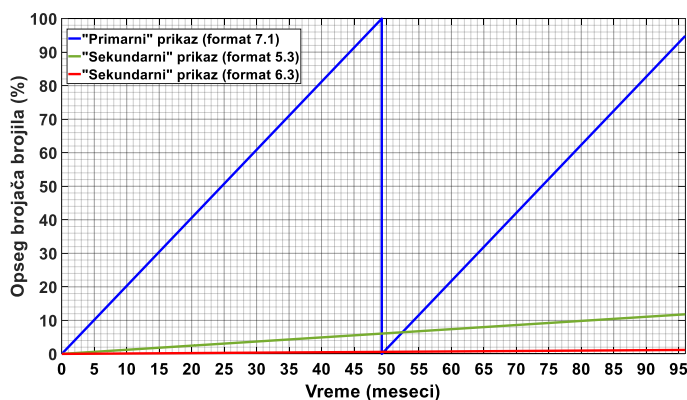
$$E_{4,1m}^P = 202921,18 \text{ MWh} \quad (18)$$

Prema tome, za prikaz aktivne električne energije na ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,9 MWh za:

$$T_{04}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{4,1g}^P [MWh]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 h}{2435054,2} = 36073,119 h = 49,28 \text{ meseci} = 4,11 \text{ godina.} \quad (19)$$

Takođe, za prikaz aktivne energije na devetocifarskom ekranu brojila potrebno je 7 celih cifara. Brojčanik će da dostigne vrednost 9999999,99 MWh za: $T_{D4}^P = 49,28 \text{ mes.} = 4,11 \text{ god.}$

Za četvrti primer na slici 7. prikazani su tokovi energije prikazane na ekranu brojila iz (a) registra ukupne energije i (b) tarifnog registra sa duplo sporijim tokom energije. Pretpostavljaju se stalno naznačene vrednosti struje i napona za slučajeve „primarnog“ podešenja na četvrti način i „sekundarnog“ podešenja brojila za dva formata registra ekrana brojila.



Slika 7. Za četvrti primer tokovi prikazane energije na osmocifarskom ekranu brojila za slučajeve 1) „primarnog“ podešenja brojila u formatu 7.1 (plava kriva), 2) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 5.3 (zelena kriva) i 3) „sekundarnog“ podešenja brojila u formatu 6.3 (crvena kriva) za (a) registar ukupne energije i (b) tarifni registar sa duplo sporijim tokom usrednjene energije

Sa slike 7. se vidi da će jedanput i nijednom za osam godina da se pojavi prelazak brojčanika brojila na rad od nule kod „primarnog“ podešenja brojila na četvrti način kod registra

ukupne energije i tarifnog registra, respektivno. Kod „sekundarnog“ podešenja zaključci su isti kao za slike 4., 5. i 6.

Radi uprošćenja, na dijagramima na slikama 4.–7. pretpostavljeno je da kroz dva tarifna registra u proseku dnevno protekne po 50 % ukupne dnevne aktivne energije, koja je prikazana usrednjeno za ta dva tarifna registra sa tarifama (7–23 h i 23–7 h).

Na dijagramima na slikama 4.–7., ako je opterećenje na mestu merenja 50 % od naznačenog opterećenja, tokovi energije na oba dijagrama biće duplo sporiji, a iskorišćenost registara aktivne energije ekrana brojila pri „sekundarnom“ podešenju duplo manja.

Na slici 8., na električnom brojilu visoke preciznosti merenja aktivne električne energije klase 0,2 S ili 0,5 S na ekranu postoji 8 cifara [7]. Trenutna stanja različitih registara se čuvaju u dijagramu opterećenja (engl. load profile) u pravilnim intervalima. Svaki unos u dijagram opterećenja sastoji se od same izmerene vrednosti (registara energije od 8 bajtova, dijagnostičkih vrednosti od 4 bajta), vremena i datuma snimanja registra od 8 bajtova i šifre stanja od 4 bajta.



Slika 8. Brojilo električne energije visoke preciznosti merenja, klase 0,2 S ili 0,5 S za aktivnu električnu energiju sa osmocifarskim ekranom [7]. Obično se koristi za merenje električne energije u prekograničnoj razmeni

64-bitni procesor ima 8 bajtova široke registre. Maksimalni broj uskladišten u 64-bitnom registru ili promenljivoj je $2^{64} - 1 = 18446744073709551615$ (20-cifreni broj). Ove registre treba razlikovati od 8-cifrenog registra aktivne energije ekrana brojila na koji se odnosi naslov ovog rada.

U elektroenergetskim postrojenjima za naznačeni napon 110 kV i veći, zbog veličine postrojenja i velikih dužina električnih kablova, kako bi se smanjili gubici električne energije na njima srazmerni kvadratu električne struje, za merenje električne energije u mreži koriste se obično brojila visoke klase tačnosti za indirektni priključak i naznačenu struju 1 A i naznačeni međufazni napon 100 V. U elektroenergetskim postrojenjima za naznačeni napon 35 kV za merenje električne energije u mreži koriste se brojila visoke klase tačnosti za indirektni priključak i naznačenu struju 5 A, pa je razmatrana greška usled očitavanja (i podešenja) registra aktivne energije ekrana brojila 5 puta manja.

III UDEO GREŠKE USLED OGRANIČENE REZOLUCIJE REGISTRA AKTIVNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Najmanja brojčani korak koji može da bude prikazan na digitalnom ekranu naziva se rezolucija. Ovo je rezultat sadržan u

odgovarajuće podešenom registru aktivne električne energije. Brojila na slikama 8. i 9. imaju na ekranu 8 sigurnih cifara.

U unutrašnjem kolu digitalnog instrumenta mora da se zaokruži izmerena vrednost tako da odgovara broju cifara za prikaz. Ovim postupkom zaokruživanja uvodi se neizvesnost jer kada se pročita izmerena vrednost sa ekrana brojila, nikada ne bi moglo da se zna koja bi sledeća cifra bila bez zaokruživanja. Zato se nesigurnost usled ograničene rezolucije brojila predstavlja kao polovina vrednosti poslednjeg prikazanog decimalnog mesta na ekranu brojila [8]. Prema tome je vrednost sačinioća $s = \frac{1}{2}$.

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

$$\Delta e = b \cdot e + s \cdot e_{min} = b \cdot e + \Delta e_r \quad (20)$$

gde su:

- b – data klasa tačnosti mernog instrumenta,
- e – izmerena vrednost,
- e_{min} – vrednost poslednje cifre (rezolucija),
- s – sačinilac,
- Δe_r – greška usled ograničene rezolucije ekrana brojila.

Drugi deo greške merenja u jednačini (20) predstavlja sistematsku (instrumentalnu) grešku merenja, a prvi deo slučajnu grešku.

Relativna greška merenja je:

$$\delta = \frac{\Delta e}{e} = b + \frac{s \cdot e_{min}}{e} \quad (21)$$

Rezultat e jednog direktnog merenja sa električnim brojilom sa apsolutnom greškom Δe se izražava kao:

$$e = e_e \pm \Delta e \quad (22)$$

gde je e_e – tačna vrednost koja je moguće da se izmeri etalonom.

Osnovno je da se izračuna aktivna električna energija na primarnoj strani mernih transformatora. Pri tome se razlikuju greške usled ograničene rezolucije električnog brojila pri različitim načinima podešavanja prenosnih odnosa mernih transformatora u brojilu. Pokazaće se da se pri sekundarnom podešavanju brojila povećava greška usled rezolucije registra ekrana brojila jer se izmerena zaokružena sekundarna vrednost sa brojila naknadno množi sa prenosnim odnosima mernih transformatora. Pri primarnom podešavanju se u memorijskim registrima brojila vrši množenje sa prenosnim odnosima mernih transformatora pa se vrednost zaokružuje shodno podešenom formatu registra ekrana. Tada je bitna unutrašnja rezolucija brojila i njegova konstanta.

IV PRORAČUNI UDELA GREŠKE U OGRANIČENE REZOLUCIJE REGISTRA AKTIVNE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Za razliku od [3], u ovom radu će se uzeti u obzir uticaj različitih unutrašnjih konstanti električnog brojila na tačnost izmerene energije električnih gubitaka na visokonaponskom dalekovodu ili kابلu i energetsom transformatoru. Poređenja će biti vršena za „primarno“ podešena električna brojila u odnosu na uobičajeno „sekundarno“ podešena električna brojila.

Moguće unutrašnje konstante za električno brojilo na slici 9. [9] su iz skupa [500; 1000; 2000; 5000; 10000; 20000; 40000;

50000; 100000; 200000] imp./kWh (impulsa po kilovat-času). Moguće unutrašnje rezolucije brojila su, respektivno, iz skupa [0,002; 0,001; 0,0005; 0,0002; 0,0001; 0,00005; 0,000025; 0,00002; 0,00001; 0,000005]. Trofazno brojilo za indirektni priključak na slici 1. pravi se uvek za konstantu 10000 imp./kWh, a za direktni priključak uvek za konstantu 1000 imp./kWh. U praksi se u EMS-u, kada su primarni naponi u mreži veći ili jednaki 35 kV, uglavnom koriste trofazna brojila za indirektni priključak za konstante 10000 imp./kWh i više. Postoji još jedan zanemarljiv broj starih brojila u upotrebi sa konstantom 5000 imp./kWh iz 2002. godine u vlasništvu EPS-a.



Slika 9. Često korišćeno brojilo električne energije kojim se postižu važne radne osobine u oblastima industrijske i komercijalne primene. Proizvodi se za klase **0,2 S i 0,5 S** za aktivnu električnu energiju i sa osmofarskim ekranom [9]. Na levoj strani slike prikazan je izvlačivi modem

Pretpostaviće se uobičajeno „sekundarno“ podešeno električno brojilo sa rezolucijom na tri decimalna mesta ($e_{min} = 0,001$ kWh). Radi jednostavnosti, razmatraće se primeri dalekovoda za naznačene napone 110 kV, 220 kV i 400 kV. Slična razmatranja mogu da se izvedu i za energetske kablove i energetske transformatore, s tim što su kod energetskog transformatora različiti naznačeni naponi i struje na primarnoj i sekundarnoj strani, pa se tako razlikuju i prenosni odnosi mernih transformatora na tim dvema stranama.

Uvek su brojila za elemente EES-a na naponima 110 kV, 220 kV i 400 kV trofazna, četvorožična za posredni priključak, klase 0,2 S, naznačene struje 1 A, najveće struje 2 A, nazivnog faznog napona 57,7 V. Zbog veličine postrojenja na tim visokim naponima, manjom naznačenom strujom brojila od 1 A smanjuju se gubici na spojnim kablovima između mernih transformatora i brojila koji su srazmerni struji na kvadrat. Tako se dobijaju manji padovi napona na njima.

Za elemente EES-a na 35 kV naznačena struja brojila za merenje aktivne energije je 5 A, a najveća struja 10 A. Za te elemente se greška usled ograničene rezolucije brojila smanjuje 5 puta zbog 5 puta manjeg prenosnog odnosa strujnog transformatora za naznačenu struju 5 A u odnosu na slučaj kada je ta struja 1 A. Tako će relativna greška usled ograničene rezolucije brojila pri merenju gubitaka na energetsom transformatoru 110/35 kV ili 220/35 kV na sekundarnoj strani, a svedeno na primarnu stranu, uvek biti manja nego na primarnoj strani tog transformatora.

Ako je unutrašnja konstanta električnog brojila veća ili jednaka 2000 imp./kWh, merna greška usled ograničene rezolucije ovako podešenog električnog brojila je $0,5 \cdot 0,001 \text{kWh} = 0,0005 \text{kWh}$.

1) U prvom primeru iz II poglavlja proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_1 = n_{U1} \cdot n_{I1} = \frac{400}{0,1} \cdot 2 \cdot 500 = 4000000 = 4 \cdot 10^6 \quad (23)$$

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu je:

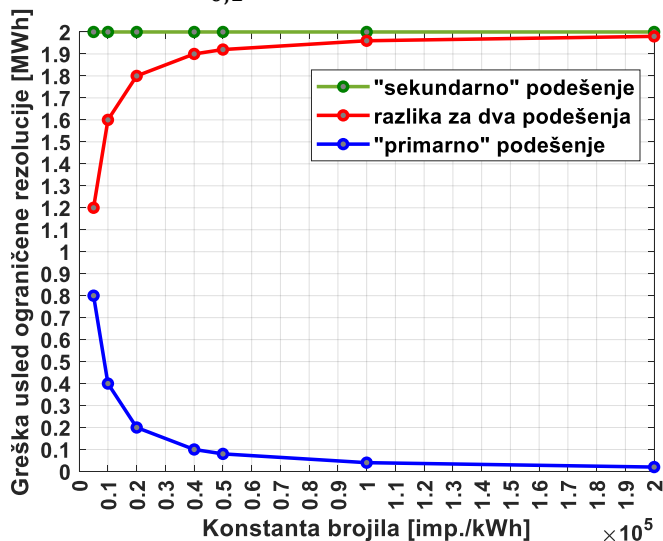
$$\begin{aligned} \Delta e_{rs1} &= s \cdot e_{min} \cdot n_1 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 4 \cdot 10^6 \text{ kWh} = \\ &= 2000 \text{ kWh} = 2 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (24)$$

Na slici 10, obeležena je crvenom linijom razlika grešaka usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije ekrana brojila za dva podešenja brojila: sekundarno podešenje (prikazano zelenom linijom) i primarno podešenje (prikazano plavom linijom) za konstante brojila od [5000 – 200000] imp./kWh.

Za opseg konstanti brojila $C_b = [5000 - 200000]$ imp./kWh greška pri primarnom podešenju je srazmerno manja sa činiocem $2000/C_b$. To znači, da će za dati opseg konstanti C_b , greška pri primarnom podešenju biti [40–1] % greške pri sekundarnom podešenju, respektivno. I za ostala tri primera grafici su sa krivama istog oblika i međusobnog položaja, pa se neće nadalje navoditi (vrednosti po y-osi bi se samo razlikovale).

2) U drugom primeru iz II poglavlja proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_2 = n_{U2} \cdot n_{I2} = \frac{220}{0,1} \cdot 2 \cdot 600 = 2640000 = 2,64 \cdot 10^6 \quad (25)$$



Slika 10. Za prvi primer, crvenom linijom obeležena je razlika grešaka usled ograničene rezolucije registra ukupne aktivne energije ekrana brojila za: sekundarno podešenje (prikazano zelenom linijom) i primarno podešenje (prikazano plavom linijom) za konstante brojila od [5000 – 200000] imp./kWh

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena

na primarnu stranu tada je:

$$\begin{aligned} \Delta e_{rs2} &= s \cdot e_{min} \cdot n_2 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 2,64 \cdot 10^6 \text{ kWh} = \\ &= 1320 \text{ kWh} = 1,32 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (26)$$

3) U trećem primeru proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_3 = n_{U3} \cdot n_{I3} = \frac{110}{0,1} \cdot 2 \cdot 200 = 440000 = 0,44 \cdot 10^6 \quad (27)$$

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu tada je:

$$\begin{aligned} \Delta e_{rs3} &= s \cdot e_{min} \cdot n_3 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 0,44 \cdot 10^6 \text{ kWh} = \\ &= 220 \text{ kWh} = 0,22 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (28)$$

4) U četvrtom primeru proizvod prenosnih odnosa naponskog i strujnog mernog transformatora je:

$$n_4 = n_{U4} \cdot n_{I4} = \frac{110}{0,1} \cdot 2 \cdot 750 = 1650000 = 1,65 \cdot 10^6 \quad (29)$$

Pri „sekundarno“ podešenom električnom brojilu na uobičajeno tri decimalna mesta, greška usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu tada je:

$$\begin{aligned} \Delta e_{rs4} &= s \cdot e_{min} \cdot n_4 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 1,65 \cdot 10^6 \text{ kWh} = \\ &= 825 \text{ kWh} = 0,825 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (30)$$

Ako je unutrašnja konstanta električnog brojila veća od 2000 imp./kWh i merna greška usled ograničene rezolucije „primarno“ podešenog električnog brojila biće srazmerno manja. Rezolucija primarno podešenih brojila je ograničena uslovom za period čuvanja snimljenih stanja registara energije, što je objašnjeno u II poglavlju.

U praksi se uglavnom koriste brojila sa konstantom 10000 imp./kWh i većom. Za konstantu brojila 10000 imp./kWh greška usled ograničene rezolucije „primarno“ podešenog električnog brojila biće pet puta manja u ustaljenom stanju nego greška usled ograničene rezolucije „sekundarno“ podešenog električnog brojila. Za konstantu brojila 200000 imp./kWh greška usled ograničene rezolucije brojila biće 100 puta manja u ustaljenom stanju, itd.

V PRORAČUNI UDELA GREŠKE U GUBICIMA ENERGIJE U MREŽI USLED OGRANIČENE REZOLUCIJE I NAČINA PODEŠENJA PRIKAZA REGISTRA EKRANA BROJILA

Radi jednostavnosti, proračuni iz naslova ovog poglavlja biće izvršeni za registar ukupne aktivne električne energije brojila. U stvarnosti u najvećem broju postoje u brojilima registri aktivne električne energije za dve tarife, dok se registar ukupne energije ne podešava da se prikazuje na svim brojilima. Obično se u proračunima uzimaju te pojedinačne energije po tarifama i množe se sa cenom po kWh da bi se izračunali troškovi nabavke energije za pokrivanje gubitaka u EES-u.

Vrednosti energije na brojilima na dva kraja dalekovoda ili energetskeg transformatora su neke slučajno zabeležene vrednosti energije koja je protekla tokom vremena. Zato mora da se izračunava protekla energija na svakom od mernih mesta

posebno.

V.1 PRORAČUNI GREŠAKA GUBITAKA ENERGIJE NA DALEKOVODU

Prvo će da se razmatra računanje grešaka gubitaka energije na dalekovodu uz pretpostavku da su brojila „sekundarno“ podešena.

Na mernom mestu 1, kada se protekla električna energija za mesec e^{SD}_1 dana svedena na primarnu stranu mernih transformatora računa kao razlika dva merenja (za trenutno e''^S_1 i prethodno e'^S_1 očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa n , dobija se:

$$e^{SD}_1 = n \cdot (e''^S_1 - e'^S_1) \quad (31)$$

Ukupna greška merenja aktivne energije Δe^{SD}_{m1} na mernom mestu 1 svedena na primarnu stranu pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e^{SD}_1 = n \cdot [b \cdot (e''^S_1 - e'^S_1) + 2 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in}] \quad (32)$$

Na mernom mestu 2, kada se protekla električna energija za mesec dana e^{SD}_{m2} svedena na primarnu stranu računa kao razlika dva merenja (za trenutno e''^S_{m2} i prethodno e'^S_{m2} očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa n , dobija se:

$$e^{SD}_2 = n \cdot (e''^S_2 - e'^S_2) \quad (33)$$

Ukupna greška merenja aktivne energije Δe^{SD}_2 na mernom mestu 2 svedena na primarnu stranu pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e^{SD}_2 = n \cdot [b \cdot (e''^S_2 - e'^S_2) + 2 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in}] \quad (34)$$

Ukupna greška pri proračunu električne energije gubitaka na dalekovodu svedena sa sekundarne strane na primarnu stranu, ako je smer električne energije od početka (mernog mesta 1) ka kraju (mernom mestu 2) dalekovoda, je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{SD} &= \Delta e^{SD}_1 - \Delta e^{SD}_2 = \\ &= n \cdot \{b \cdot [(e''^S_1 - e'^S_1) + (e''^S_2 - e'^S_2)] + 4 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in}\} \quad (35) \end{aligned}$$

Kod proračuna greške gubitaka električne energije na dalekovodima sada će da se smatra da su brojila „primarno“ podešena. U jednačini (35) treba da se stavi 1 umesto n za prvi deo greške, a u drugom delu greške umesto rezolucije ekrana brojila pri sekundarnom podešenju $e^S_{in} = 0,001 \text{ kWh}$ treba da se stavi $e^P_{in} = \frac{2000}{C_b} \cdot e^S_{in}$, pod pretpostavkom da su iste konstante brojila C_b na krajevima dalekovoda. Prema tome, važi da je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{PD} &= \Delta e^{PD}_1 - \Delta e^{PD}_2 = b \cdot [(e''^P_1 - e'^P_1) + (e''^P_2 - e'^P_2)] + \\ &+ n \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{C_b} \cdot e^S_{in} \quad (36) \end{aligned}$$

gde su:

e''^P_1 i e'^P_1 – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u MWh na mernom mestu 1 dalekovoda,

e''^P_2 i e'^P_2 – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u MWh na mernom mestu 2 dalekovoda.

V.2 PRORAČUNI GREŠAKA GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA ENERGETSKOM TRANSFORMATORU

Sada će se da se razmatra računanje grešaka gubitaka energije na energetskom transformatoru uz pretpostavku da su brojila „sekundarno“ podešena.

Na mernom mestu 1 na primarnoj strani energetskog transformatora, kada se protekla električna energija za mesec dana e^{ST}_{m1} svedena na primarnu stranu mernih transformatora računa kao razlika dva merenja (za trenutno e''^S_{m1} i prethodno e'^S_{m1} očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa n_I , dobija se:

$$e^{ST}_1 = n_I \cdot (e''^S_{m1} - e'^S_{m1}) \quad (37)$$

Ukupna greška merenja na mernom mestu 1 svedena na primarnu stranu mernih transformatora pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e^{ST}_1 = n_I \cdot [b \cdot (e''^S_{m1} - e'^S_{m1}) + 2 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in}] \quad (38)$$

Na mernom mestu 2 na sekundarnoj strani energetskog transformatora, kada se protekla električna energija za mesec dana e^{ST}_{m2} svedena na primarnu stranu mernih transformatora i primarnu stranu energetskog transformatora računa kao razlika dva merenja (za trenutno e''^S_{m2} i prethodno e'^S_{m2} očitano „sekundarno“ stanje) i pomnoži sa proizvodom prenosnih odnosa mernih transformatora n_{II} i prenosnim odnosom energetskog transformatora n_T , biće:

$$e^{ST}_2 = n_{II} \cdot n_T \cdot (e''^S_{m2} - e'^S_{m2}) \quad (39)$$

Ukupna greška merenja aktivne energije na mernom mestu 2 svedena na primarnu stranu pri tome će da bude jednaka:

$$\Delta e^{ST}_2 = n_{II} \cdot n_T \cdot [b \cdot (e''^S_{m2} - e'^S_{m2}) + 2 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in}] \quad (40)$$

Ukupna greška pri proračunu energije gubitaka na energetskom transformatoru svedena sa sekundarne strane na primarnu stranu, ako je smer električne energije od primara (mernog mesta 1) ka sekundaru (mernom mestu 2) energetskog transformatora, je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{ST} &= \Delta e^{ST}_1 - \Delta e^{ST}_2 = b \cdot [n_I \cdot (e''^S_{m1} - e'^S_{m1}) + n_{II} \cdot n_T \cdot \\ &\cdot (e''^S_{m2} - e'^S_{m2})] + 2 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in} \cdot (n_I + n_{II} \cdot n_T) \quad (41) \end{aligned}$$

Ako se pretpostavi da je $n_I \cong n_{II} \cdot n_T$, jednačina (41) može da se napiše u obliku:

$$\begin{aligned} \Delta e^{ST} &= \Delta e^{ST}_1 - \Delta e^{ST}_2 = n_I \cdot \{b \cdot [(e''^S_{m1} - e'^S_{m1}) + \\ &+ (e''^S_{m2} - e'^S_{m2})] + 4 \cdot 0,5 \cdot e^S_{in}\} \quad (42) \end{aligned}$$

Sada će, kod proračuna greške gubitaka električne energije na energetskom transformatoru, da se smatra da su brojila „primarno“ podešena. Uzimaju se „primarno“ izmerene vrednosti energije, pa se u jednačini (42) u prvom delu greške umesto n_I stavlja 1, a u drugom delu greške umesto rezolucije ekrana brojila pri sekundarnom podešenju $e^S_{min} = 0,001 \text{ kWh}$, stavlja se $e^P_{in} = \frac{2000}{C_b} \cdot e^S_{in}$. Prema tome, je:

$$\begin{aligned} \Delta e^{PT} &= \Delta e^{PT}_1 - \Delta e^{PT}_2 = b \cdot [(e''^P_1 - e'^P_1) + \\ &+ n_T \cdot (e''^P_2 - e'^P_2)] + n_I \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{C_b} \cdot e^S_{in} \quad (43) \end{aligned}$$

gde su:

e''_{m1} i e''_{m1} – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u MWh na mernom mestu 1 energetskog transformatora u trenutnom i prethodnom stanju,

e''_{m2} i e''_{m2} – očitane aktivne električne energije na primarnoj strani mernih transformatora u MWh na mernom mestu 2 energetskog transformatora u trenutnom i prethodnom stanju.

Radi uprošćenja jednačine su pisane pod pretpostavkom da su iste unutrašnje konstante brojila na krajevima transformatora. Ovi proračuni važe i za pojedine tarifne registre energije samo su izračunate mesečne aktivne električne energije manje.

Prvi deo grešaka u gubicima aktivne energije u jednačinama (35), (36), (42) i (43) je unutrašnja osobina samog brojila i može da se smanji primenom brojila velike tačnosti i preciznosti.

Drugi deo grešaka u gubicima aktivne električne energije u jednačinama (35), (36), (42) i (43) može da se smanji drugim načinom podešenja prenosnih odnosa mernih transformatora u samim brojilima. Umesto što se u praksi koriste električna brojila uglavnom sa „sekundarnim“ podešenjem i rezolucijom na tri decimalna mesta, primenom „primarnog“ podešenja brojila drugi deo greške gubitaka može da se značajno smanji. To smanjenje je srazmerno sa $\frac{2000}{C_b}$ gde je C_b unutrašnja konstanta brojila.

V.3 PROCENA NAJVEĆE MOGUĆE GREŠKE U GUBICIMA AKTIVNE ENERGIJE SVEDENE NA PRIMARNU STRANU USLED OGRANIČENE REZOLUCIJE I „SEKUNDARNOG“ PODEŠENJA PRIKAZA REGISTRA EKRANA BROJILA (TZV. GREŠKA GUBITAKA PRI OČITAVANJU)

Za prvi primer iz poglavlja II i III, pri sekundarnom podešenju, ali svedeno na primarnu stranu, ako se upoređi jednačina (24) za grešku usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije i jednačina (1) ukupne električne energije koja je protekla za mesec dana, njihovim deljenjem dobija se:

$$\frac{\Delta e_{rs1}}{E_{1,1m}^P} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min} \cdot n_1}{\sqrt{3} \cdot U_{11}^P \cdot I_{f1}^P \cdot \cos\varphi \cdot T} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min}}{\sqrt{3} \cdot U_{11}^S \cdot I_{f1}^S \cdot \cos\varphi \cdot T} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min}}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1 \cdot \cos\varphi \cdot T} = 4,0656 \cdot 10^{-6} \quad (44)$$

Vidi se da izraz (44) važi za sva 4 razmatrana primera tako da završni rezultati mogu da se uopšte za slučajeve kada su trofazna električna brojila za indirektno priključenje, za naznačeni sekundarni međufazni napon 100 V i sekundarnu naznačenu struju 1 A. Uzima se u obzir klasa tačnosti 0,2 S.

Za nazivne primarne vrednosti struja i napona, pri jednom očitavanju brojila za 1 mesec na jednom mernom mestu, greška pri sekundarnom podešenju, usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije i svedena na primarnu stranu iznosi $\pm 4,07 \cdot 10^{-4}$ % primarne mesečne ukupne aktivne energije.

Ako se traži protekla aktivna električna energija na mernom mestu za mesec dana onda se greška udvostručava (videti drugi član zbira u jednačinama (32), (34), (38) i (40)), pa tako iznosi $\pm 8,13 \cdot 10^{-4}$ % primarne mesečne ukupne aktivne energije.

Ako se razmatra razlika aktivnih električnih energija na dalekovodu naznačenog napona 400 kV, 220 kV ili 110 kV ili

energetskom transformatoru prenosnog odnosa 400/220 kV, 400/110 kV ili 220/110 kV, tada se dodatno udvostručava greška pri sekundarnom podešenju usled ograničene rezolucije registra aktivne električne energije svedena na primarnu stranu i iznosi $\pm 1,63 \cdot 10^{-3}$ % u odnosu na primarnu mesečnu ukupnu aktivnu električnu energiju proteklu kroz razmatrani element EES-a (videti drugi član zbira u jednačinama (35), (36), (42) i (43)).

Uzimajući u obzir glavne delove uobičajene mreže za prenos i raspodelu električne energije, prosečne vrednosti gubitaka električne energije u različitim koracima (elementima EES-a) su:

- (1 – 2) % - za energetski transformator podizač napona od generatora do dalekovoda;
- (2 – 4) % - za dalekovod;
- (1 – 2) % - za energetski transformator spuštač napona sa dalekovoda na distributivnu mrežu;
- (4 – 6) % - za transformatore i kablove distributivne mreže.

U odnosu na prosečna merenja energije, proučavana greška biće:

1. za gubitke na dalekovodu (25 – 50) puta veća, odnosno $\pm(0,041 – 0,081)$ % prosečnih aktivnih gubitaka energije.
2. za gubitke na energetskom transformatoru (50 – 100) puta veća, odnosno $\pm(0,081 – 0,163)$ % prosečnih gubitaka.

Ako se pretpostavi prosečno opterećenje od 50 % naznačene vrednosti tokom veka trajanja dalekovoda i energetskog transformatora [10], greška pri sekundarnom podešenju usled ograničene rezolucije registra ukupne aktivne električne energije svedena na primarnu stranu biće dvostruko veća tj.:

1. za dalekovod je $\pm(0,081 – 0,163)$ % prosečnih gubitaka.
2. za energetski transformator je $\pm(0,163 – 0,325)$ % prosečnih gubitaka energije na energetskom transformatoru.

Poslednje su navedene greške za registar ukupne aktivne električne energije. Pošto su pri obračunu cene gubitaka energije bitne vrednosti aktivne energije iz registra za višu i nižu tarifu, razmatrana greška će da bude dvostruko veća i pod uslovom da u proseku tarifni registri dele opterećenje po pola, greška je:

1. za dalekovod $\pm(0,163 – 0,325)$ % prosečnih gubitaka.
2. za energetski transformator $\pm(0,325 – 0,65)$ % prosečnih gubitaka aktivne energije na energetskom transformatoru.

VI ZAKLJUČAK

Pri „sekundarnom“ podešenju trofaznog električnog brojila za indirektno priključenje, vrednost aktivne energije očitana sa ekrana brojila sa uobičajenom rezolucijom na tri decimalna mesta ($0,001 kWh$) biće sa mernom greškom od $\pm 0,0005 kWh$ usled ograničene rezolucije registra aktivne energije. Ova greška će pri svodjenju na primarnu stranu da bude višestruko veća posle „ručnog“ množenja sa prenosnim odnosima strujnog i naponskog mernog transformatora, nego kada se ovo množenje vrši u samom brojilu čiji su memorijski registri veličine 8 bajtova.

Umesto što se u praksi koriste električna brojila uglavnom sa „sekundarnim“ podešenjem i rezolucijom na tri decimalna mesta, primenom „primarnog“ podešenja brojila greška usled ograničene rezolucije može da se značajno smanji. To smanjenje

je srazmerno sa činiocem $\frac{2000}{C_b}$, gde je C_b unutrašnja konstanta električnog brojila iz opsega [5000 – 200000] imp./kWh.

Prema tome, radi tačnijeg merenja aktivne električne energije gubitaka na elementima EES-a, najbolje moguće podešenje registara ekrana brojila za aktivnu električnu energiju je „primarno“ podešenje. Rezolucija ekrana brojila pri „primarnom“ podešenju se 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 (što zavisi od proizvoda vrednosti prenosnih odnosa strujnih i naponskih mernih transformatora na mestu merenja).

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Imamović, J., Kurtagić, S. M., Manić E., Analiza potencijala za uvođenje sistema pametnih mreža u Bosni i Hercegovini, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 3, pp. 61-65, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.611>
- [2] The US Smart Meter Market: Size, Trends & Forecast with Impact Analysis of COVID 19 (2021-2025), ID: 5481223, United States, November 2021. <https://www.marketresearch.com/Daedal-Research-v3440/Smart-Meter-Size-Trends-Forecast-30306512/> [pristupljeno 27.10.2022]
- [3] 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>
- [4] Pravila o radu prenosnog sistema, Elektromreža Srbije AD, http://ems.rs/media/uploads/PRAVILA_O_RADU_PRENOSNOG_SISTEMA.pdf [pristupljeno 27.05.2022]
- [5] User Guide SL7000 IEC7, <https://www.manualslib.com/download/1599460/Itron-SI7000-Iec7.html> [pristupljeno 27.05.2022]
- [6] High voltage instrument transformers | Artech, <https://www.el-instaenergo.cz/files/download/produkty/artche-pristrojove-transformatory/artche-high-voltage-instrument-transformers/artche-brochure-high-voltage-instrument-transformers-en.pdf/> [pristupljeno 27.05.2022]
- [7] ZMQ200, ZFQ200, ZCQ200 – User Manual, Landis+Gyr AG, https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/7102000215_en-l-ZxQ-User-Manual.pdf [pristupljeno 27.05.2022]
- [8] Measurement: Uncertainty and Error in Lab Measurements. https://d320goqmya1dw8.cloudfront.net/files/sp/library/uncertainty/introduction_measurement_advsn.v3.pdf [pristupljeno 27.05.2022]
- [9] ZMD400AT/CT, ZFD400AT/CT – E650 Series 4 – User Manual, Landis+Gyr AG. <https://landisgyr.com.cn/uploadfiles/d000062026.pdf> [pristupljeno 27.05.2022]
- [10] Environmental Product Declaration - Power Transformer TrafoStar 500 MVA (ONAN/ONAF), ABB Power Transmission, <https://library.e.abb.com/public/566748ad75116903c1256d630042f1af/ProductDeclarationStarTrafo500.pdf> [pristupljeno 27.05.2022]

AUTOR/AUTHOR

Djordje Dukanac – magistar elektrotehničkih nauka, Akcionarsko društvo “Elektromreža Srbije” Beograd, djordje.dukanac@ems.rs, ORCID [0000-0002-1090-3129](https://orcid.org/0000-0002-1090-3129)