



**ПОБОЉШАНО ПОДЕШАВАЊЕ ПОКАЗИВАЊА ЕНЕРГИЈЕ НА ЕКРАНУ ПАМЕТНОГ
БРОЈИЛА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ УЗИМАЈУЋИ У ОБЗИР УНУТРАШЊУ КОНСТАНТУ
БРОЈИЛА**

**ADVANCED ADJUSTMENT OF ENERGY DISPLAY ON THE SCREEN OF THE SMART
ELECTRICITY METER TAKING INTO ACCOUNT THE INTERNAL CONSTANT OF THE METER**

Ђорђе ДУКАНАЦ, Акционарско друштво „Електромрежа Србије“, Београд, Србија

КРАТАК САДРЖАЈ

Вредност губитака зависи од параметара и режима рада електроенергетских елемената, који се налазе између места мерења и места примопредаје. Према годишњем техничком извештају ЕМС АД за 2020. годину, од 963 места мерења (обрачунских и контролних), број места мерења у електроенергетским објектима ЈП ЕПС је 568 (59%). При најчешћој употреби паметних бројила у раду у постројењу подешених за показивање електричне енергије са секундарне стране, активна електрична енергија биће очитавана на екрану бројила са додатном грешком. Тада се преносни односи напонских и струјних мерних трансформатора подешавају у паметном бројилу као 1:1. Да би се добила стварна вредност енергије, потребно је накнадно да се измерена вредност електричне енергије очитана са бројила помножи са преносним односима мерних трансформатора. Други начин је да се у паметном бројилу подесе стварни преносни односи напонских и струјних мерних трансформатора па да се на екрану бројила очитавана стварна вредност електричне енергије у мегават-сатима. У овом раду разматрају се грешке очитивања електричне енергије узимајући у обзир различите: преносне односе мерних трансформатора, резолуције и јединице електричне енергије, методе подешавања паметних бројила, унутрашње константе мерила и називне секундарне струје електричних бројила. Истражује се колико су веће грешке секундарно подешених електричних бројила за индиректни прикључак са уобичајеном резолуцијом за показивање електричне енергије на три децимална места и јединицом мерења у киловат-сатима у односу на друга могућа подешавања за очитивање бројила. Приметне су грешке у прорачуну техничких губитака електричне енергије на високонапонским далеководима и кабловима и енергетским трансформаторима. Зато се траже напредна решења за подешавање начина очитивања податка електричне енергије на екрану бројила.

Кључне речи: грешка приказивања – константа бројила – подешавања бројила – обрачунска константа – очитана енергија.

ABSTRACT

The value of losses depends on the parameters and mode of operation of electrical grid elements, which are located between the metering point and the handover point. According to the 2020 annual technical report of JSC EMS, out of 963 metering points (billing and control), the number of metering points in the electric power facilities of PSE EPS is 568 (59%). With the most frequent use of smart meters 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 transmission ratios of voltage and current measuring transformers are set in the smart meter as 1:1. In order to obtain the actual value of energy, it is necessary to subsequently multiply the measured value of electricity read from the meter by the transmission ratios of instrument transformers. Another way is to adjust the actual transmission ratios of voltage and current instrument transformers in the smart meter, so that the actual value of electricity in megawatt-hours is read on the meter screen. In this paper, the errors of electricity reading are considered, taking into account different: transmission ratios of measuring transformers, resolutions and units of electricity, methods of setting smart meters, internal constants of meters and nominal secondary currents of electric meters. It investigates how much higher the errors of secondarily set electric meters for indirect connection with the usual resolution for showing 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. Therefore, advanced solutions are being sought to adjust the way the electricity data is read on the meter screen.

25
godina

13. SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA sa regionalnim učešćem
13th CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION with regional participation
12-16 / 09 / 2022, Kopaonik, Srbija



ZBORNİK RADOVA | PROCEEDINGS



Keywords: billing constant – display error – meter constant – meter settings – read energy.

2. УВОД

У овом раду разматрају се трофазна електрична бројила за четворожични прикључак са три мерна система која се уобичајено користе у електроенергетским постројењима [1]. Такође ова бројила су предвиђена за индиректни прикључак на трофазну мрежу преко одговарајућих напонских и струјних мерних трансформатора.

Постоје два основна могућа начина да се резултат мерења електричне енергије прикаже на екрану електричног бројила:

- 1) Први начин је да резултат измерене активне електричне енергије буде приказан на екрану електричног бројила као стварно измерена енергија са секундарна струјних и напонских мерних трансформатора. У самом бројилу се тада преносни односи мерних трансформатора подесе као 1:1. Јединица мерења активне електричне енергије се подешава у kWh. За потребе месечног обрачуна електричне енергије и енергије губитака потребно је да се очитана „секундарна“ енергија са бројила накнадно множи са преносним односима мерних трансформатора на мерном месту како би се добила тражена стварно потрошена активна електрична енергија.
- 2) Други начин је да резултат измерене активне електричне енергије буде приказан на екрану електричног бројила као тражена енергија са примара струјних и напонских мерних трансформатора. У самом бројилу се подесе стварни преносни односи мерних трансформатора као на мерном месту где је уграђено бројило. Приказана енергија на екрану бројила представља стварно измерену „примарну“ енергију, тј. „секундарну“ енергију помножену у самом бројилу са унапред задатим преносним односима мерних трансформатора на мерном месту. Тако се одмах добија тражена стварно потрошена активна електрична енергија за потребе месечног обрачуна електричне енергије и енергије губитака. Јединица мерења активне електричне енергије у овом случају подешава се у MWh.

У односу на други део рада [2] [1], овде је детаљно узет у обзир утицај константе бројила на грешку при израчунавању губитака на елементима електроенергетског система (ЕЕС-а). Такође је испитан утицај резолуције екрана бројила при „примарном“ подешању бројила условљен Правилима о раду преносног система [3] [2].

„Секундарно“ подешање је заступљено нпр. из разлога да би запослени за прављење обрачуна електричне енергије имали лакши посао у смислу да регистар активне енергије екрана (бројчаник или бројач) ниједног бројила сигурно не пролази кроз нулу за осам година колики је период овере електричних бројила за посредни прикључак. Исто тако запослени за обрачунско и контролно мерење електричне енергије не морају да мисле о преносном односу бројила која односе на терен ради уградње нити о посебном подешавању преносних односа мерних трансформатора у самим бројилима пре давања бројила на оверу (јер се стављају оба преносна односа као 1:1).

2. ЧУВАЊЕ СНИМЉЕНИХ СТАЊА РЕГИСТАРА АКТИВНЕ ЕНЕРГИЈЕ

У електричном бројилу се чувају снимљена стања свих подешених регистара за активну и реактивну електричну енергију и максималну снагу најмање за дванаест месеци уназад, после чега се врши циклични упис: тринаести месец уместо првог месеца итд. [3] [2].

За израчунавање укупне активне енергије E_{1g} за дванаест месеци уназад биће коришћена једначина:

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

где су: U_l – међуфазни напон [V], I_f – фазна струја [A], $\cos\varphi$ – фактор снаге, T – период времена [s] у 12 месеци, претпоставиће се да је фактор снаге $\cos\varphi = 0,97$.

Период времена у 12 месеци је: $T = N_h \cdot N_d \cdot N_m = 24 \cdot 30,5 \cdot 12 h = 8784 h$, где су: N_h – број часова у једном дану, N_d – просечни број дана у једном месецу и N_m – разматрани најмањи број месеци.

У случају „секундарно“ подешеног трофазног електричног бројила за посредни прикључак преко мерних трансформатора, са мерењем активне електричне енергије у kWh на три децимална места, за 12 месеци при назначеној струји бројила од 1 А и назначеном међуфазном напону 100 V добија се:

$$E_{1g}^S = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 8784 Wh = 1475,79 kWh \quad (2)$$

Ни на крају осме године, колики је период периодичне овере бројила, на бројчанику бројила неће се достићи највећа могућа вредност 99999,999 kWh код осмоцифреног регистра екрана бројила после чега би се сви бројеви поставили на нулу (за следећих 0,001 kWh):

$$E_{8g}^S = 8 \cdot E_{1g}^S = 8 \cdot 1475,79 kWh = 11806,323 kWh \quad (3)$$

За 1 месец протекла „секундарна“ активна електрична енергија је: $E_{1m}^S = \frac{E_{1g}^S}{12} = 122,983 \text{ kWh}$.

На бројчанику би се достигла вредност 99999,999 kWh за:

$$T_O^S = \frac{99999,999 \cdot T}{E_{3g}^S [\text{kWh}]} = \frac{99999,999 \cdot 8784 \text{ h}}{1475,79} = 595206,46 \text{ h} = 813,12 \text{ месеци} = 67,76 \text{ година.} \quad (4)$$

За осам година процентуално се достигне на осмоцифрском екрану:

$$\zeta_O^S = \frac{11806,323 \text{ kWh}}{99999,999 \text{ kWh}} \cdot 100 \% = 11,81 \% \quad (5)$$

целог опсега бројчаника бројила, односно 1,48 % годишње.

За деветоцифрски екран често коришћеног бројила на слици 1а), вредност 999999,999 kWh би се достигла за $T_D^S = 677,6$ година. За осам година процентуално се достигне на деветоцифрском екрану: $\zeta_D^S = 1,181 \%$, што је 0,148 % годишње.

Биће размотрена два примера „примарног“ подешења бројила.

- 1) Први пример је мерење енергије на примарној страни трофазног енергетског трансформатора (нпр. TP6 250 MVA, 220/110/10 kV у ТС 220/110/35 kV Београд 5) или далеководу 220 kV при чему је преносни однос напонских мерних трансформатора $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} \text{ kV}$, а преносни однос струјних мерних трансформатора 2·600A/1/1/1A.

$$E_{1,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 0,97 \cdot 8784 \text{ Wh} = 3896086,73 \text{ MWh.} \quad (6)$$

За 1 месец активна електрична енергија је: $E_{1,1m}^P = 324673,894 \text{ MWh}$.

Према томе, за приказ активне електричне енергије на екрану бројила потребно је 7 целих цифара. Бројчаник ће да достигне вредност 9999999,9 MWh за:

$$T_{O1}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{1,1g}^P [\text{MWh}]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 \text{ h}}{3896086,7} = 22545,7 \text{ h} = 30,8 \text{ месеци} = 2,57 \text{ година.} \quad (7)$$

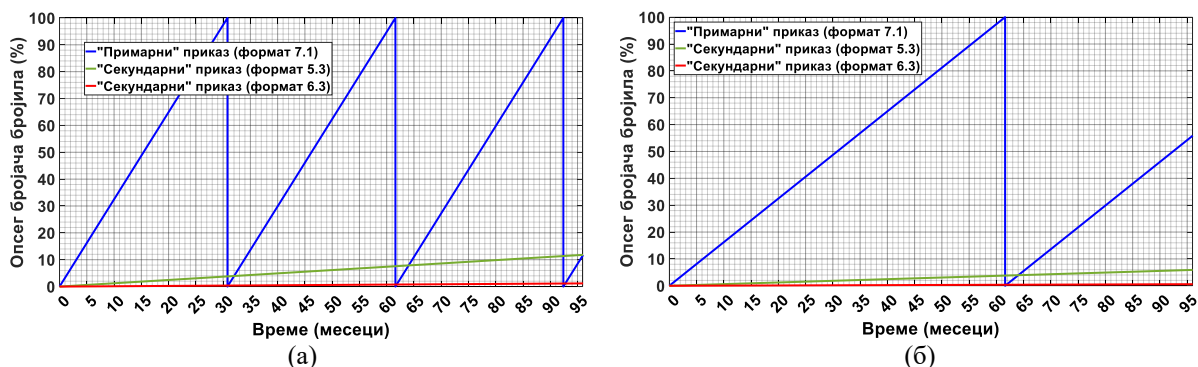
Такође, за приказ активне електричне енергије на деветоцифрском екрану бројила потребно је 7 целих цифара. Бројчаник ће да достигне вредност 9999999,99 MWh за: $T_{D1}^P = 30,8$ месеци = 2,57 година.

На слици 1б) приказани су струјни мерни трансформатори за највиши напон 245 kV, а на слици 1в) индуктивни напонски мерни трансформатори за највиши напон 123 kV.



Слика 1 – а) Често коришћено бројило електричне енергије у индустрији и трансформаторским станицама и разводним постројењима, класе 0,2 S или 0,5 S за активну електричну енергију са деветоцифрским екраном, које се прави за константу 10000 imp./kWh за бројила за индиректни прикључак преко мерних трансформатора [4] [3]. б) Струјни мерни трансформатори за највиши напон 245 kV [5] [4]. в) Индуктивни напонски мерни трансформатори за највиши напон 123 kV [5] [4].

За први пример, на слици 2 приказани су токови активне енергије приказане на екрану бројила из (а) регистра укупне енергије и (б) тарифног регистра са дупло споријим током енергије. Претпостављају се стално назначене вредности струје и напона за случајеве „примарног“ подешења (на први начин) и „секундарног“ подешења бројила за два формата регистра екрана бројила. Са слике 2 се види да ће највише три пута и једанпут за осам година да се појави прелазак бројчаника бројила на рад од нуле код „примарног“ подешења бројила на први начин код регистра укупне енергије и тарифног регистра, респективно. Код „секундарног“ подешења за осам година се искористи свега 11,81 % и 5,9 % опсега бројчаника у формату 5.3 и 1,181% и 5,903 % у формату 6.3 код регистра укупне енергије и тарифних регистра екрана бројила, респективно.



Слика 2 – За први пример токови приказане енергије на осмоцифарском екрану бројила за случајеве 1) „примарног“ подешања бројила у формату 7.1 (плава крива), 2) „секундарног“ подешања бројила у формату 5.3 (зелена крива) и 3) „секундарног“ подешања бројила у формату 6.3 (црвена крива) за (а) регистар укупне енергије и (б) тарифни регистар са дупло споријим током усредњене енергије.

- 2) Други пример је мерење енергије на секундарној страни трофазног енергетског трансформатора (нпр. TP6 250 MVA, 220/110/10 kV у ТС 220/110/35 kV Београд 5) или далеководу 110 kV (нпр. ДВ 110 kV бр. 151/5 ПРП Алибунар – ТС Алибунар) или на секундарној страни трофазног енергетског трансформатора (нпр. TP2 300 MVA, 400/115±8*1,25%/10,5 kV у ТС 400/110kV Сомбор) при чему је преносни однос напонских мерних трансформатора $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} kV$, а преносни однос струјних мерних трансформатора 2·750A/1/1/1A.

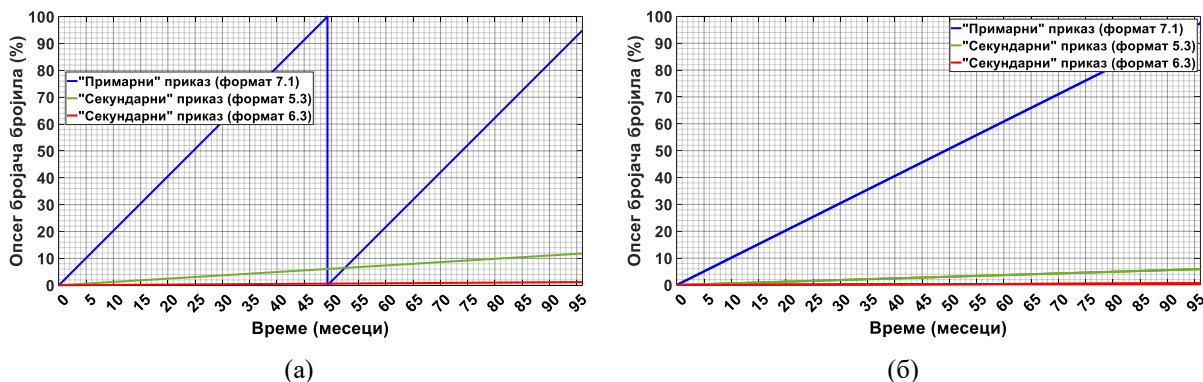
$$E_{2,1g}^P = \sqrt{3} \cdot 110000 \cdot 2 \cdot 750 \cdot 0,97 \cdot 8784 Wh = 2435054,2 MWh. \quad (8)$$

За 1 месец активна електрична енергија је: $E_{2,1m}^P = 202921,18 MWh$. Према томе, за приказ активне електричне енергије на екрану бројила потребно је 7 целих цифара. Бројчаник ће да достигне вредност 9999999,9 MWh за:

$$T_{02}^P = \frac{9999999,9 \cdot T}{E_{2,1g}^P [MWh]} = \frac{9999999,9 \cdot 8784 h}{2435054,2} = 36073,119 h = 49,28 \text{ месеци} = 4,11 \text{ година}. \quad (9)$$

Такође, за приказ активне електричне енергије на деветоцифарском екрану бројила потребно је 7 целих цифара. Бројчаник ће да достигне вредност 9999999,99 MWh за: $T_{D2}^P = 49,28 \text{ мес.} = 4,11 \text{ год.}$

За други пример на слици 3. приказани су токови енергије приказане на екрану бројила из (а) регистра укупне енергије и (б) тарифног регистра са дупло споријим током енергије. Претпостављају се стално назначене вредности струје и напона за случајеве „примарног“ подешања на други начин и „секундарног“ подешања бројила за два формата регистра екрана бројила.



Слика 3 – За други пример токови приказане енергије на осмоцифарском екрану бројила за случајеве 1) „примарног“ подешања бројила у формату 7.1 (плава крива), 2) „секундарног“ подешања бројила у формату 5.3 (зелена крива) и 3) „секундарног“ подешања бројила у формату 6.3 (црвена крива) за (а) регистар укупне енергије и (б) тарифни регистар са дупло споријим током усредњене енергије.

Са слике 3. се види да ће једанпут и ниједном за осам година да се појави прелазак бројчаника бројила на рад од нуле код „примарног“ подешања бројила на други начин код регистра укупне енергије и тарифног регистра, респективно. Код „секундарног“ подешања закључци су исти као за слику 2.

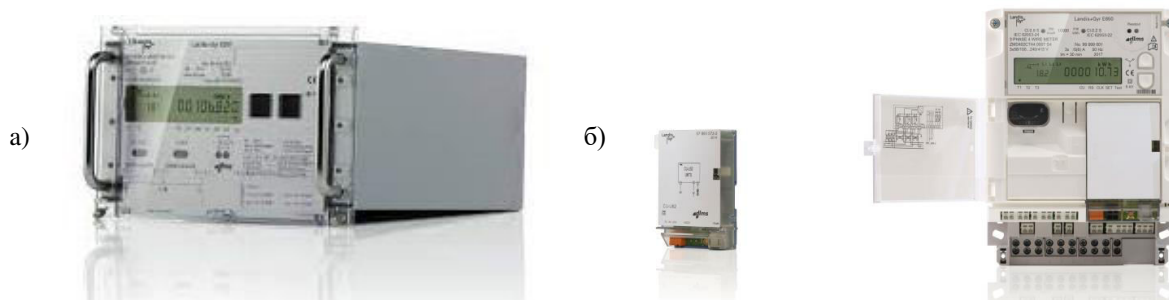
Ради упрошћења, на дијаграмима на сликама 2 и 3 претпостављено је да кроз два тарифна регистра у просеку дневно протекне по 50 % укупне дневне активне електричне енергије, која је приказана усредњено за та два тарифна регистра са тарифама (7–23 h и 23–7 h).

На дијаграмима на сликама 2 и 3, ако је оптерећење на месту мерења 50 % од назначеног оптерећења, токови енергије на оба дијаграма биће дупло спорији, а искоришћеност регистра екрана бројила при „секундарном“ подешењу дупло мања.

На слици 4а), на електричном бројилу високе прецизности мерења активне електричне енергије класе тачности 0,2 S или 0,5 S на екрану постоји 8 цифара [6]. Тренутна стања различитих регистара се чувају у дијаграму оптерећења (енгл. load profile) у правилним интервалима. Сваки унос у дијаграм оптерећења састоји се од саме измерене вредности (регистара енергије од 8 бајтова, дијагностичких вредности од 4 бајта), времена и датума снимања регистра од 8 бајтова и шифре стања од 4 бајта.

64-битни процесор има 8 бајтова широке регистре. Максимални број ускладиштен у 64-битном регистру или променљивој је $2^{64} - 1 = 18446744073709551615$ (20-цифрени број). Ове регистре треба разликовати од 8-цифреног регистра енергије екрана бројила на који се односи наслов овог рада.

Могуће унутрашње константе за електрично бројило на слици 4б) [8] су из скупа [500; 1000; 2000; 5000; 10000; 20000; 40000; 50000; 100000; 200000] imp./kWh (импулса по киловат-часу). Могуће унутрашње резолуције бројила су, респективно, из скупа [0,002; 0,001; 0,0005; 0,0002; 0,0001; 0,00005; 0,000025; 0,00002; 0,00001; 0,000005]. Трофазно бројило за индиректни прикључак на слици 1. прави се увек за константу 10000 imp./kWh, а за директни прикључак увек за константу 1000 imp./kWh. У пракси се у Републици Србији, када су примарни напони у мрежи већи или једнаки 35 kV, углавном користе трофазна бројила за индиректни прикључак за константе 10000 imp./kWh и више. Постоји још један занемарљив број старих бројила у употреби са константом 5000 imp./kWh из 2002. године.



Слика 4 – а) Бројило електричне енергије високе прецизности мерења, класе тачности 0,2 S или 0,5 S за активну електричну енергију са осмоцифрарским екраном [6]. Обично се користи за мерење електричне енергије у прекограничној размени. б) Често коришћено бројило електричне енергије којим се постижу важне радне особине у областима индустријске и комерцијалне примене. Производи се за класе тачности 0,2 S и 0,5 S за активну електричну енергију и са осмоцифрарским екраном [8]. На левој страни слике 4б) приказан је извлачиви модем.

У електроенергетским постројењима за назначени напон 110 kV и већи, због величине постројења и великих дужина електричних каблова, како би се смањили губици електричне енергије на њима сразмерни квадрату електричне струје, за мерење електричне енергије у мрежи користе се обично бројила високе класе тачности за индиректни прикључак и назначену струју 1 А и назначени међуфазни напон 100 V.

У електроенергетским постројењима за назначени напон 35 kV за мерење електричне енергије у мрежи користе се бројила високе класе тачности за индиректни прикључак и назначену струју 5 А [7], па је разматрана грешка услед читавања (и подешења регистра екрана) бројила 5 пута мања.

3. ПРОРАЧУНИ УДЕЛА ГРЕШКЕ УСЛЕД ОГРАНИЧЕНЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ ЕКРАНСКОГ РЕГИСТРА АКТИВНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ БРОЈИЛА

Најмања бројчани корак који може да буде приказан на дигиталном екрану назива се резолуција. Ово је резултат садржан у одговарајуће подешеном регистру активне електричне енергије. Бројила на сликама 4а) и 4б) имају на екрану 8 сигурних цифара.

У унутрашњем колу дигиталног инструмента мора да се заокружи измерена вредност тако да одговара броју цифара за приказ. Овим поступком заокруживања уводи се неизвесност јер када се прочита измерена вредност са екрана бројила, никада не би могло да се зна која би следећа цифра била без заокруживања. Зато се несигурност услед ограничене резолуције бројила представља као половина вредности последњег приказаног децималног места на екрану бројила [8]. Према томе, вредност сачиниоца $s = \frac{1}{2}$.

Апсолутна грешка Δe било ког мерног инструмената, па тако и електричног бројила, рачуна се према обрасцу:

$$\Delta e = b \cdot e + s \cdot e_{min} = b \cdot e + \Delta e_r \quad (10)$$

где су:

b – дата класа тачности мерног инструмента,

e – тачна вредност,

e_{min} – вредност последње цифре (резолюција),

s – сачинилац,

Δe_r – грешка услед ограничене резолуције екрана бројила.

Други део грешке мерења у једначини (10) представља систематску (инструменталну) грешку мерења, а први део случајну грешку.

Релативна грешка мерења је: $\delta = \frac{\Delta e}{e} = b + \frac{s \cdot e_{min}}{e}$.

Резултат e' једног директног мерења са апсолутном грешком Δe се изражава као: $e' = e \pm \Delta e$.

Основно је да се израчуна активна електрична енергија на примарној страни мерних трансформатора. При томе се разликују грешке услед ограничене резолуције електричног бројила при различитим начинима подешавања преносних односа мерних трансформатора у бројилу. Показаће се да се при секундарном подешавању бројила повећава грешка услед резолуције регистра екрана бројила јер се измерена заокружена секундарна вредност са бројила накнадно множи са преносним односима мерних трансформатора. При примарном подешавању се у меморијским регистрима бројила врши множење са преносним односима мерних трансформатора па се вредност заокружује сходно подешеном формату регистра екрана. Тада је битна унутрашња резолуција бројила и његова константа.

За разлику од [2], у овом раду ће се узети у обзир утицај различитих унутрашњих константи електричног бројила на тачност измерене енергије електричних губитака на високонапонском далеководу или каблу и енергетском трансформатору. Поређења ће бити вршена за „примарно“ подешена електрична бројила у односу на уобичајено „секундарно“ подешена електрична бројила.

Претпоставиће се уобичајено „секундарно“ подешено електрично бројило са резолуцијом на три децимална места ($e_{min}^s = 0,001 \text{ kWh}$). Ради једноставности, разматраће се примери далековода за назначене напоне 110 kV, 220 kV и 400 kV. Слична разматрања могу да се изведу и за енергетске каблове и енергетске трансформаторе, с тим што су код енергетског трансформатора различити назначени напони и струје на примарној и секундарној страни, па се тако разликују и преносни односи мерних трансформатора на тим двама странама.

Увек су бројила за елементе ЕЕС-а на напонима 110 kV, 220 kV и 400 kV трофазна, четворожична за посредни прикључак, класе 0,2 S, назначене струје 1 А, највеће струје 2 А, називног фазног напона 57,7 V. Због величине постројења на тим високим напонима, мањом назначеном струјом бројила од 1 А смањују се губици на спојним кабловима између мерних трансформатора и бројила који су сразмерни струји на квадрат. Тако се добијају мањи падови напона на њима.

За елементе ЕЕС-а на 35 kV назначена струја је 5 А а највећа струја 10 А. За те елементе се грешка услед ограничене резолуције бројила смањује 5 пута због 5 пута мањег преносног односа струјног трансформатора за назначену струју 5 А у односу на случај када је та струја 1 А. Тако ће релативна грешка услед ограничене резолуције бројила при мерењу губитака на енергетском трансформатору 110/35 kV или 220/35 kV на секундарној страни, а сведено на примарну страну, увек бити мања него на примарној страни тог трансформатора.

Ако је унутрашња константа електричног бројила већа или једнака 2000 imp./kWh, мерна грешка услед ограничене резолуције овако подешеног електричног бројила је $(0,5 \cdot 0,001) \text{ kWh} = 0,0005 \text{ kWh}$.

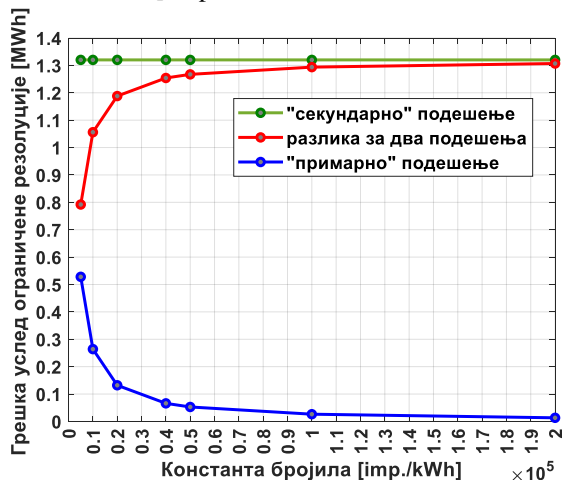
1) У првом примеру из 2. поглавља производ преносних односа напонског и струјног мерног трансформатора је:

$$n_1 = n_{U1} \cdot n_{I1} = \frac{220}{0,1} \cdot 2 \cdot 600 = 2640000 = 2,64 \cdot 10^6 \quad (11)$$

При „секундарно“ подешеном електричном бројилу, грешка услед ограничене резолуције регистра активне енергије сведена на примарну страну тада је:

$$\Delta e_{rs1} = s \cdot e_{min} \cdot n_1 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 2,64 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 1320 \text{ kWh} = 1,32 \text{ MWh} \quad (12)$$

На слици 5, обележена је црвеном линијом разлика грешака услед ограничене резолуције регистра активне енергије екрана бројила за два подешења бројила: секундарно подешење (приказано зеленом линијом) и примарно подешење (приказано плавом линијом) за константе бројила од [5000 – 200000] imp./kWh .



Слика 5 – Црвеном линијом обележена је разлика грешака услед ограничене резолуције регистра активне енергије екрана бројила за секундарно подешење (приказано зеленом линијом) и примарно подешење (приказано плавом линијом) за константе бројила од [5000 – 200000] imp./kWh .

За опсег константи бројила $C_b = [5000 - 200000] \text{ imp./kWh}$ грешка при примарном подешењу је сразмерно мања са чиниоцем $2000/C_b$. То значи, да ће за дати опсег константи C_b , грешка при примарном подешењу бити [40– 1] % грешке при секундарном подешењу, респективно. За следећи пример 2) график са слике 5 био би са кривама истог облика и међусобног положаја, па се неће наводити (вредности по у-оси би се само разликовале, где би зелена линија била на вредности 0,825 MWh према једначини (14)).

2) У другом примеру производ преносних односа напонског и струјног мерног трансформатора је:

$$n_2 = n_{U2} \cdot n_{I2} = \frac{110}{0,1} \cdot 2 \cdot 750 = 1650000 = 1,65 \cdot 10^6 \quad (13)$$

При „секундарно“ подешеном електричном бројилу на уобичајено три децимална места, грешка услед ограничене резолуције регистра активне електричне енергије сведена на примарну страну тада је:

$$\Delta e_{rs2} = s \cdot e_{min} \cdot n_2 = 0,5 \cdot 0,001 \cdot 1,65 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 825 \text{ kWh} = 0,825 \text{ MWh} \quad (14)$$

Ако је унутрашња константа електричног бројила већа од 2000 imp./kWh , мерна грешка услед ограничене резолуције „примарно“ подешеног електричног бројила биће мања. У пракси се углавном користе бројила са константом 10000 imp./kWh и већом. За константу бројила 10000 imp./kWh грешка услед ограничене резолуције „примарно“ подешеног електричног бројила биће пет пута мања у устаљеном стању него грешка услед ограничене резолуције „секундарно“ подешеног електричног бројила. За константу бројила 200000 imp./kWh грешка услед ограничене резолуције бројила биће 100 пута мања у устаљеном стању, итд.

4. ПРОРАЧУНИ УДЕЛА ГРЕШКЕ У ГУБИЦИМА ЕНЕРГИЈЕ У МРЕЖИ УСЛЕД ОГРАНИЧЕНЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ И НАЧИНА ПОДЕШЕЊА ПРИКАЗА РЕГИСТРА ЕКРАНА БРОЈИЛА

Ради једноставности, прорачуни из наслова овог поглавља биће извршени за регистар укупне енергије бројила. У стварности у највећем броју постоје у бројилима регистри активне електричне енергије за две тарифе, док се регистар укупне енергије не подешава да се приказује на свим бројилима. Обично се у прорачунима узимају те појединачне енергије по тарифама и множе се са ценом по kWh да би се израчунали трошкови набавке енергије за покривање губитака у ЕЕС-у.

Вредности енергије на бројилима на два краја далековода или енергетског трансформатора су неке случајно забележене вредности енергије која је протекла током времена. Зато мора да се израчунава протекла енергија на сваком од мерних места посебно.

4.1 Прорачуни грешака губитака енергије на далеководу

Прво ће се да се разматра рачунање грешке губитака енергије на далеководу уз претпоставку да су бројила „секундарно“ подешена.

На мерном месту 1, када се протекла електрична енергија за месец e_{m1}^{SD} дана сведена на примарну страну мерних трансформатора рачуна као разлика два мерења (за тренутно $e_{m1}''S$ и претходно $e_{m1}'S$ очитано „секундарно“ стање) и помножи са производом преносних односа n , добија се:

$$e_{m1}^{SD} = n \cdot (e_{m1}''S - e_{m1}'S) \quad (15)$$

Укупна грешка Δe_{m1}^{SD} на мерном месту 1 сведена на примарну страну при томе ће да буде једнака:

$$\Delta e_{m1}^{SD} = n \cdot [b \cdot (e_{m1}''S - e_{m1}'S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S] \quad (16)$$

Одговарајућа укупна грешка Δe_{m2}^{SD} на мерном месту 2 сведена на примарну страну према томе ће слично, узимајући у обзир припадајуће мерене величине са тог мерног места, да буде једнака:

$$\Delta e_{m2}^{SD} = n \cdot [b \cdot (e_{m2}''S - e_{m2}'S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S] \quad (17)$$

Укупна грешка при прорачуну енергије губитака на далеководу сведена са секундарне стране на примарну страну, ако је смер електричне енергије од почетка (мерног места 1) ка крају (мерном месту 2) далековода, је:

$$\Delta e_m^{SD} = \Delta e_{m1}^{SD} - \Delta e_{m2}^{SD} = n \cdot \{b \cdot [(e_{m1}''S - e_{m1}'S) + (e_{m2}''S - e_{m2}'S)] + 4 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S\} \quad (18)$$

Код прорачуна грешке губитака енергије на далеководима сада ће да се сматра да су бројила „примарно“ подешена. Једначине су сличне, само треба свуда да се стави 1 уместо n , а уместо резолуције екрана бројила при секундарном подешењу $e_{min}^S = 0,001 kWh$ треба да се стави $e_{min}^P = \frac{2000}{C_b} \cdot e_{min}^S$, под претпоставком да су исте константе бројила C_b на крајевима далековода. Према томе, важи да је:

$$\Delta e_m^{PD} = \Delta e_{m1}^{PD} - \Delta e_{m2}^{PD} = b \cdot [(e_{m1}''P - e_{m1}'P) + (e_{m2}''P - e_{m2}'P)] + n \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{C_b} \cdot e_{min}^S \quad (19)$$

где су:

$e_{m1}''P$ и $e_{m1}'P$ – очитане активне електричне енергије на примарној страни мерних трансформатора у MWh на мерном месту 1 далековода,

$e_{m2}''P$ и $e_{m2}'P$ – очитане активне електричне енергије на примарној страни мерних трансформатора у MWh на мерном месту 2 далековода.

4.2 Прорачуни грешака губитака активне електричне енергије на енергетском трансформатору

Сада ће се да се разматра рачунање грешке губитака енергије на енергетском трансформатору уз претпоставку да су бројила „секундарно“ подешена.

На мерном месту 1 на примарној страни енергетског трансформатора, када се протекла електрична енергија за месец дана e_{m1}^{ST} сведена на примарну страну мерних трансформатора рачуна као разлика два мерења (за тренутно $e_{m1}''S$ и претходно $e_{m1}'S$ очитано „секундарно“ стање) и помножи са производом преносних односа n_I , добија се:

$$e_{m1}^{ST} = n_I \cdot (e_{m1}''S - e_{m1}'S) \quad (20)$$

Укупна грешка на мерном месту 1 сведена на примарну страну мерних трансформатора при томе ће да буде једнака:

$$\Delta e_{m1}^{ST} = n_I \cdot [b \cdot (e_{m1}''S - e_{m1}'S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S] \quad (21)$$

На мерном месту 2 на секундарној страни енергетског трансформатора, када се протекла електрична енергија за месец дана e_{m2}^{ST} сведена на примарну страну мерних трансформатора и примарну страну енергетског трансформатора рачуна као разлика два мерења (за тренутно $e_{m2}''S$ и претходно $e_{m2}'S$ очитано „секундарно“ стање) и помножи са производом преносних односа мерних трансформатора n_{II} и преносним односом енергетског трансформатора n_T , добија се:

$$e_{m2}^{ST} = n_{II} \cdot n_T \cdot (e_{m2}''S - e_{m2}'S) \quad (22)$$

Укупна грешка на мерном месту 2 сведена на примарну страну при томе ће да буде једнака:

$$\Delta e_{m2}^{ST} = n_{II} \cdot n_T \cdot [b \cdot (e_{m2}''S - e_{m2}'S) + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S] \quad (23)$$

Укупна грешка при прорачуну енергије губитака на енергетском трансформатору сведена са секундарне стране на примарну страну, ако је смер електричне енергије од примара (мерног места 1) ка секундару (мерном месту 2) енергетског трансформатора, је:

$$\Delta e_m^{ST} = \Delta e_{m1}^{ST} - \Delta e_{m2}^{ST} = b \cdot [n_I \cdot (e_{m1}''S - e_{m1}'S) + n_{II} \cdot n_T \cdot (e_{m2}''S - e_{m2}'S)] + 2 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S \cdot (n_I + n_{II} \cdot n_T) \quad (24)$$

Ако се претпостави да је $n_I \cong n_{II} \cdot n_T$, једначина (24) може да се напише у облику:

$$\Delta e_m^{ST} = \Delta e_{m1}^{ST} - \Delta e_{m2}^{ST} = n_I \cdot \{b \cdot [(e_{m1}''S - e_{m1}'S) + (e_{m2}''S - e_{m2}'S)] + 4 \cdot 0,5 \cdot e_{min}^S\} \quad (25)$$

Сада ће, код прорачуна грешке губитака на енергетском трансформатору, да се сматра да су бројила „примарно“ подешена. Једначине су сличне, само треба свуда да се стави 1 уместо n_I и n_{II} , а уместо резолуције екрана бројила при секундарном подешењу $e_{min}^S = 0,001 kWh$ треба да се стави $e_{min}^P = \frac{2000}{C_b} \cdot e_{min}^S$, под претпоставком да су исте константе бројила C_b на крајевима енергетског трансформатора. Према томе, важи да је:

$$\Delta e_m^{PT} = \Delta e_{m1}^{PT} - \Delta e_{m2}^{PT} = b \cdot [(e_{m1}''^P - e_{m1}'^P) + n_T \cdot (e_{m2}''^P - e_{m2}'^P)] + n_I \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot \frac{2000}{C_b} \cdot e_{min}^S \quad (26)$$

где су:

$e_{m1}''^P$ и $e_{m1}'^P$ – очитане активне електричне енергије на примарној страни мерних трансформатора у MWh на мерном месту 1 енергетског трансформатора у тренутном и претходном стању,

$e_{m2}''^P$ и $e_{m2}'^P$ – очитане активне електричне енергије на примарној страни мерних трансформатора у MWh на мерном месту 2 енергетског трансформатора у тренутном и претходном стању.

Ради упрошћења једначине су писане под претпоставком да су исте унутрашње константе бројила. Ови прорачуни важе и за поједине тарифне регистре енергије само су израчунате месечне активне електричне енергије мање.

Први део грешака у губицима енергије у једначинама (18), (19), (25) и (26) је унутрашња особина самог бројила. Може да се смањи применом бројила високог квалитета и велике прецизности.

Други део грешка у губицима енергија у једначинама (18), (19), (25) и (26) може да се смањи другим начином подешања преносних односа мерних трансформатора у самим бројилима. Уместо што се у пракси користе бројила углавном са „секундарним“ подешањем и резолуцијом на три децимална места, применом „примарног“ подешања бројила други део грешке може да се значајно смањи. То смањење је сразмерно са $\frac{2000}{C_b}$, где је C_b унутрашња константа бројила.

4.3 Процена највеће могуће грешке у губицима активне електричне енергије сведене на примарну страну услед ограничене резолуције и „секундарног“ подешања приказа регистра екрана бројила (тзв. грешка губитака при читавању)

За први пример из поглавља 2. и 3., при секундарном подешењу, али сведено на примарну страну, ако се упореди једначина (12) за грешку услед ограничене резолуције регистра активне електричне енергије и једначина (1) укупне електричне енергије која је протекла за месец дана, њиховим дељењем добија се:

$$\frac{\Delta e_{rs1}}{E_{1,1m}^P} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min} \cdot n_1}{\sqrt{3} \cdot U_{l1}^P \cdot I_{f1}^P \cdot \cos\varphi \cdot T} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min}}{\sqrt{3} \cdot U_{l1}^S \cdot I_{f1}^S \cdot \cos\varphi \cdot T} = \frac{12 \cdot s \cdot e_{min}}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot \cos\varphi \cdot T} = 4,0656 \cdot 10^{-6} \quad (27)$$

Види се да израз (27) важи за сва 4 разматрана примера тако да завршни резултати могу да се уопште за случајеве када су трофазна бројила за индиректно прикључење за назначени секундарни међуфазни напон 100 V и секундарну назначену струју 1 A. Узима се у обзир класа тачности 0,2 S.

За називне примарне вредности струја и напона, при једном читавању бројила за 1 месец на једном мерном месту, грешка при секундарном подешењу услед ограничене резолуције регистра активне електричне енергије сведена на примарну страну износи $\pm 4,07 \cdot 10^{-4} \%$ измерене вредности.

Ако се тражи протекла енергија на мерном месту за месец дана онда се грешка удвостручава (видети други члан збира у једначинама (16), (17), (21) и (23)), па тако износи $\pm 8,13 \cdot 10^{-4} \%$.

Ако се разматра разлика активних енергија на далеководу назначеног напона 400 kV, 220 kV или 110 kV или енергетском трансформатору преносног односа 400/220 kV, 400/110 kV или 220/110 kV, тада се додатно удвостручава грешка при секундарном подешењу услед ограничене резолуције регистра активне електричне енергије сведене на примарну страну и износи: $\pm 1,63 \cdot 10^{-3} \%$ у односу на укупну активну енергију протеклу кроз разматрани елемент ЕЕС-а (видети други члан збира у једначинама (18), (19), (25) и (26)).

Узимајући у обзир главне делове уобичајене мреже за пренос и расподелу електричне енергије, просечне вредности губитака електричне енергије у различитим корацима (елементима ЕЕС-а) су:

(1 – 2) % – за енергетски трансформатор подизач напона од генератора до далековода;

(2 – 4) % – за далековод;

(1 – 2) % – за енергетски трансформатор спуштач напона са далековода на дистрибутивну мрежу;

(4 – 6) % – за трансформаторе и каблове дистрибутивне мреже.

У односу на просечна мерења енергије, проучавана грешка мерења губитака енергије биће:

1. за далековод (25 – 50) пута већа, односно $\pm(0,041 - 0,081)$ % просечних активних губитака енергије;
2. за енергетски трансформатор (50 – 100) пута већа, односно $\pm(0,081 - 0,163)$ % просечних активних губитака енергије.

Ако се претпостави просечно оптерећење од 50 % назначене вредности током века трајања далековода и енергетског трансформатора [9], грешка при секундарном подешању услед ограничене резолуције регистра активне електричне енергије сведена на примарну страну биће двоструко већа тј.:

1. за далековод је $\pm(0,081 - 0,163)$ % просечне активне енергије губитака на датом далеководу.
2. за енергетски трансформатор је $\pm(0,163 - 0,325)$ % просечне енергије губитака на трансформатору.

Последње су наведене грешке за регистар укупне активне електричне енергије. Пошто су при обрачуна цене губитака енергије битне вредности активне енергије из регистра за вишу и нижу тарифу, разматрана грешка ће да буде двоструко већа и под условом да у просеку тарифни регистри деле оптерећење по пола:

1. за далековод је грешка $\pm(0,163 - 0,325)$ % просечне активне енергије губитака на далеководу.
2. за енергетски трансформатор је грешка $\pm(0,325 - 0,65)$ % просечне енергије губитака кроз трафо.

5. ЗАКЉУЧАК

При „секундарном“ подешању трофазног електричног бројила за индиректно прикључење, вредност активне електричне енергије очитана са екрана бројила са уобичајеном резолуцијом на три децимална места (0,001 kWh) биће са мерном грешком од $\pm 0,0005$ kWh услед ограничене резолуције регистра активне енергије. Ова грешка ће при свођењу на примарну страну мерних трансформатора да буде вишеструко већа после „ручног“ множења са преносним односима струјног и напонског мерног трансформатора, него када се ово множење врши у самом бројилу чији су меморијски регистри величине 8 бајтова.

Уместо што се у пракси користе бројила углавном са „секундарним“ подешањем и резолуцијом на три децимална места, применом „примарног“ подешања бројила грешка услед ограничене резолуције може да се значајно смањи. То смањење је сразмерно са чиниоцем $\frac{2000}{C_b}$ где је C_b унутрашња константа бројила из опсега [5000 – 200000] imp./kWh.

Према томе, ради тачнијег мерења активне електричне енергије губитака на елементима ЕЕС-а, најбоље могуће подешање регистра екрана бројила за активну електричну енергију је „примарно“ подешање. Резолуција екрана бројила при „примарном“ подешању се бира зависно од могуће протекле регистроване годишње активне енергије, вредности константе бројила и под условом да се у електричном бројилу чувају снимљена стања свих подешених регистра за активну енергију најмање за дванаест месеци уназад (што зависи од производа вредности преносних односа струјних и напонских мерних трансформатора на месту мерења).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Годишњи технички извештај 2020, Акционарско друштво „Електроурежа Србије“. Доступно на: http://ems.rs/media/uploads/GTI_EMS_AD_2020_Za_objavljivanje.pdf (проверено 13.5.2022.)
- [2] Дуканац, Ђ. Анализа времена провере регистра активне електричне енергије и грешке очитавања електричних бројила при различитим начинима подешања преносних односа мерних трансформатора у њима, 12. саветовање о електродистрибутивним мрежама са регионалним учешћем (CIRED Србија 2021), Врњачка Бања, Србија, 30.8.–3.9.2021. ISBN: 978-86-83171-24-8.
- [3] Правила о раду преносног система, Електроурежа Србије АД, мај 2020.
- [4] *User Guide SL7000 IEC7*, France, 2010. Доступно на: https://www.otec.com.ua/show_catalogue_pdf/245372/1 (проверено 9.5.2022.).
- [5] High voltage instrument transformers | Artech. Доступно на: <https://www.el-instaenergo.cz/files/download/produkty/artche-pristrojove-transformatory/artche-high-voltage-instrument-transformers/artche-brochure-high-voltage-instrument-transformers-en.pdf/>
- [6] *ZMQ200, ZFQ200, ZCQ200 – User Manual*, Landis+Gyr AG. Доступно на: https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/7102000215_en-l-ZxQ-User-Manual.pdf
- [7] Правила о раду дистрибутивног система, „ЕПС Дистрибуција“ д.о.о. Београд, 2017. Доступно на:

https://www.aers.rs/FILES/AktiAERS/AERSDajeSaglasnost/2017-07-19_Pravila%20o%20radu%20ED-ODS%20EPS%20distr.pdf (проверено 13.5.2022.)

[8] Measurement: Uncertainty and Error in Lab Measurements. Доступно на:

https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/sp/library/uncertainty/introduction_measurement_advan.v3.pdf
(проверено 9.5.2022.).

[9] *ZMD400AT/CT, ZFD400AT/CT – E650 Series 4 – User Manual*, Landis+Gyr AG. Доступно на:

<https://landisgyr.com.cn/uploadfiles/d000062026.pdf>

[10] ABB, Environmental Product Declaration - Power Transformer TrafoStar 500 MVA (ONAN/ONAF)

Registration nr. S-P-00019. ABB Transformer AB Ludvika, Sweden, 2003. Доступно на:

<https://library.e.abb.com/public/566748ad75116903c1256d630042f1af/ProductdeclarationStarTrafo500.pdf>