

Merenje amplitudne i fazne greške strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom

Uroš Kovačević
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
ukovacevic@etf.rs

Vladeta Milenković
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Niš, Srbija
vladeta.milenkovic@netico-group.com

Aleksandar Nikolić, Dragan Kovačević, Rastko Kostić
Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Univerzitet u Beogradu
Beograd, Srbija
anikolic@ieent.org, dkovac@ieent.org, rastko.kostic@ieent.org

Sadržaj— Cilj ovog rada je da ukaže na značaj amplitudne i fazne greške strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom pri merenju snage i obracunu električne energije. U radu je opisana realizovana merna metoda za ispitivanje amplitudne i fazne greške strujnih transformatora sa naponskim izlazom na sekundarnom namotaju. Analiza rezultata merenja pokazala je da je ponovljivost merenja veoma dobra i da rezultati merenja ne zavise značajno od broja otvaranja magnetnog jezgra. Date su definicije grešaka strujnih transformatora i grafički su prikazane amplitudne i fazne greške u zavisnosti od primarne struje i analiziran je uticaj položaja provodnika u otvoru transformatora. Upoređivanjem dva strujna transformatora sa rasklopljivim jezgrom deklarisanе klase tačnosti 1, pokazano je da se rezultati pri merenju snage mogu razlikovati i za više od reda veličine.

Ključne riječi— amplitudna greška; fazna greška; strujni transformator; rasklopljivo jezgro;

I. UVOD

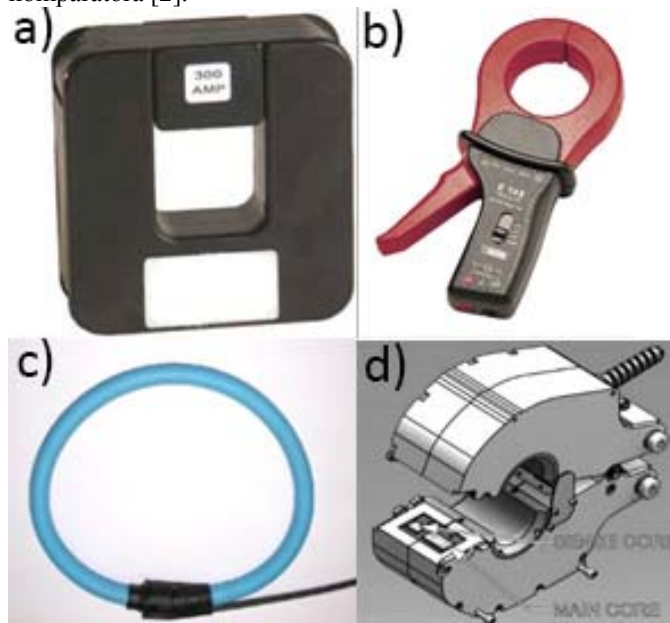
U uslovima liberalizacije tržišta električne energije, tendencije poboljšanja kvaliteta električne energije i povećanja energetske efikasnosti u Srbiji i regionu javlja se potreba za ozbiljnijim pristupom mnogim disciplinama u elektroenergetici od kojih je, svakako, merenje jedna od značajnijih. Strujni transformatori prema konstrukciji mogu se podeliti na transformatore sa klasičnim (fiksni) i sa rasklopljivim magnetnim jezgrom. Klasični strujni induktivni transformatori su pouzdani pogonski elementi sa stabilnim metrološkim karakteristikama, ali je pouzdanost, stabilnost i ponovljivost metroloških karakteristika strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom (STRJ) nedovoljno istražena. U ovom radu su date definicije grešaka strujnih transformatora kao i granice grešaka za standardne deklarisanе klase tačnosti. Opisana je realizovana merna metoda koja se bazira na dvokanalnoj analizi signala, pogodna za ispitivanje amplitudne i fazne greške strujnih transformatora sa naponskim izlazom (300A/0,333V). Grafički su prikazane amplitudna i fazna greška u opsegu primarne struje od 5% do 120% nominalne struje. Analiza mernih rezultata dokazala je da je ponovljivost

merenja (standardna devijacija) STRJ veoma dobra i da rezultati merenja ne zavise značajno od broja otvaranja magnetnog jezgra. Cilj ovog rada je da kroz analizu eksperimentalnih rezultata istraživanja ukaže na značaj amplitudne i fazne greške STRJ pri merenju snage i obracunu električne energije. Komparativnom analizom dva strujna transformatora sa rasklopljivim jezgrom koji su na tržištu deklarisani kao merni transformatori klase 1, pokazano je da se rezultati u merenju snage mogu razlikovati i za više od reda veličine. Na tačnost merenja utiču brojne fizičke veličine, električno i magnetno polje, vihorne struje, viši harmonici, temperatura, a u radu je prikazan uticaj položaja provodnika u otvoru transformatora, na vrednosti amplitudne i fazne greške.

II. KONSTRUKCIJE STRUJNIH TRANSFORMATORA SA RASKLOPLJIVIM JEZGROM

Struja i napon mogu se transformisati, na nivo pogodan za priključenje merne i zaštitne opreme, upotrebom raznih vrsta mernih transformatora. Strujni transformatori mogu se podeliti na induktivne merne transformatore, zavojnicu Rogowskog i druga nekonvencionalna rešenja [1]. Na tržištu postoji veliki broj različitih proizvođača, modela, tipova i realizacija strujnih transformatora u zavisnosti od namene, naponskog nivoa i vrednosti primarne struje. Od izuzetne je važnosti, pored pouzdanosti rada, tačnost transformacije primarne struje na sekundarnu stranu. Takođe teži se i da strujni merni transformatori budu što manjih dimenzija, težine i cene. Strujni transformatori sa rasklopljivim jezgrom mogu se montirati na provodnik kroz koji je potrebno meriti struju u pogonu pod naponom, što predstavlja veliku prednost u odnosu na merne transformatore sa fiksnim magnetnim jezgrom. Postoji nekoliko tipova strujnih mernih transformatora sa rasklopljivim jezgrom od kojih su najzastupljeniji: "split core", "clamp on", "kalem Rogowski", kao i specijalno dizajnirani strujni transformatori [2]. Sl.1 prikazuje različite tipove strujnih mernih transformatora. "Split core" strujni transformatori sastoje se od fiksnog dela u kome se nalaze namotaji kao i deo magnetnog jezgra i

pokretnog dela koji sadrži preostali deo magnetnog jezgra, pogodni su za korišćenje na terenu. "Clamp on" strujni transformatori imaju oblik klješta koji omogućava izuzetno lako i brzo korišćenje na terenu pod naponom. Kalem "Rogowski" pogodan je za merenja velikih vrednosti struja zbog ne-magnetnog jezgra koje ne može ući u zasićenje, međutim upotreba integracionog kola, za dobijanje talasnog oblika merene struje, unosi grešku u merenje. Na tržištu su prisutni i specijalno dizajnirani strujni transformatori koji se razlikuju u zavisnosti od primene i konstrukcije, a nadmoćne metrološke karakteristike imaju rešenja na bazi strujnog komparatora [2].



Slika 1. Različiti tipovi strujnih mernih transformatora sa rasklopljivim jezgrom: (a) Split core, (b) Clamp on, (c) kalem Rogowski, (d) specijalno dizajnirani strujni transformator

III. DEFINICIJE GREŠAKA I OPIS MERNE METODE

Amplitudna greška g_a predstavlja grešku koju strujni transformator unosi u merenje struje, i ona je posledica toga što naznačeni odnos transformacije k_{ns} i stvarni odnos transformacije nisu potpuno jednaki, izražava se u procentima, a opisana je jednačinom (1). Fazna ili ugaona greška predstavlja faznu razliku između vektora primarne I' i sekundarne struje I'' (kod idealnog transformatora jednaka nuli) i izražava se u ugaonim minutima opisana je jednačinom

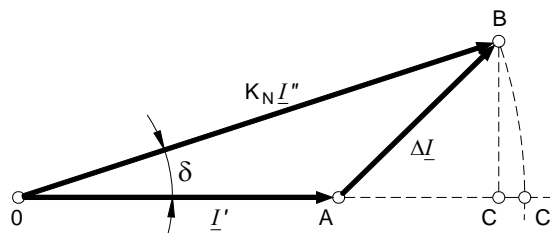
TABELA I. Granice amplitudne i fazne greške za strujne merne transformatore

Klasa tačnosti	Amplitudna greška u % u zavisnosti od procenta naznačene struje						Fazna greška u minutima u zavisnosti od procenta naznačene struje					
	1%	5%	20%	50%	100%	120%	1%	5%	20%	50%	100%	120%
0,1		0,4	0,2		0,1	0,1		15	8		5	5
0,2		0,75	0,35		0,2	0,2		30	15		10	10
0,2s	0,75	0,35	0,2		0,2	0,2	30	15	10		10	10
0,5		1,5	0,75		0,5	0,5		90	45		30	30
0,5s	1,5	0,75	0,5		0,5	0,5	90	45	30		30	30
1		3,0	1,5		1,0	1,0		180	90		60	60
3				3		3						
5				5		5						

(2). Sl.2 prikazuje vektorski dijagram struja strujnog mernog transformatora, gde δ predstavlja faznu grešku. Amplitudna i fazna greška zavise od faktora snage, vrednosti opterećenja na sekundaru kao i od vrednosti primarne struje strujnog transformatora [3].

$$g_a = \frac{k_{ns} I' - I''}{I'} * 100 [\%] \quad (1)$$

$$\delta = \angle \left(\vec{I}', \vec{I}'' \right) [^\circ] \quad (2)$$

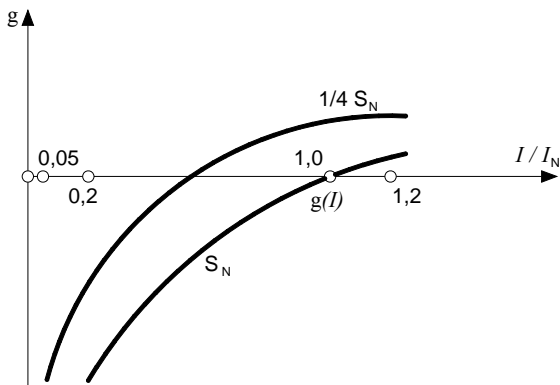


Slika 2. Vektorski dijagram struja strujnog mernog transformatora.

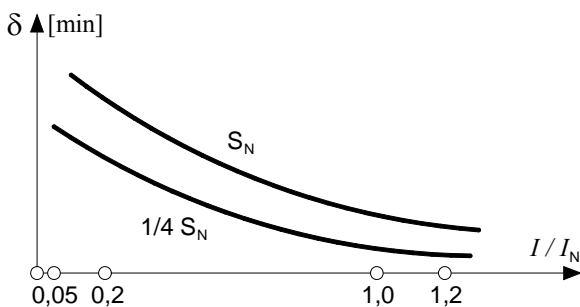
Granice amplitudne i fazne greške za strujne merne transformatore definisane su internacionalnim standardima [4]-[7], i prikazane su u Tabeli I. Za transformatore klase tačnosti 0,1-0,2-0,5-1 amplitudna i fazna greška pri naznačenoj frekvenciji ne smeju preći vrednosti iz Tabele I. za sve vrednosti tereta između 25 % i 100 % naznačenog tereta. Za transformatore klase tačnosti 3 i 5 strujna greška pri naznačenoj frekvenciji ne sme preći granične vrednosti iz Tabele I. za sve vrednosti tereta između 50 % i 100 % naznačenog tereta. Opterećenje koje se koristi pri ispitivanju je induktivan, faktora snage 0,8, izuzev ako je naznačena snaga transformatora ispod 5 VA, u kom slučaju faktor snage opterećenja je jednak jedinici. Opterećenje izraženo u VA pri ispitivanju ne sme biti manji od 1 VA. Za klase 0,2 S i 0,5 S za strujne transformatore za specijalne namene (posebno kada se primenjuju sa specijalnim brojlilima električne energije koja mere korektno pri struji između 50 mA i 6 A, a to je između 1 % i 120 % naznačene struje od 5 A) pri naznačenoj frekvenciji, ne smeju preći vrednosti date u Tabeli I kada sekundarni teret ima bilo koju vrednost od 25 % do 100 % naznačenog tereta. Ove klase se uglavnom koriste za odnose 25A/5A, 50A/5A, 100A/5A i njihove decimalne umnoške i samo za sekundarnu struju od 5 A.

Interesantno je pogledati kakva je zavisnost grešaka strujnog transformatora od primarne struje i opterećenja. Na Sl.3. prikazana je zavisnost amplitudne greške od odnosa ispitne struje I i nazivne struje I_N , za opterećenja S_N i $1/4 S_N$, a na slici 4. zavisnost fazne greške strujnog transformatora od odnosa I/I_N za ista opterećenja.

Propisi koji se odnose na ispitivanje tačnosti strujnih mernih transformatora uvažavaju prirodnu karakteristiku ovih grešaka. Propisane granice grešaka amplitudne i fazne greške za datu klasu tačnosti su veće kod malih struja nego kod nazivnih vrednosti. Strujni transformatori se inače ispituju u označenim tačkama (5 %, 20 %, 100% i 120 %) nazivne primarne struje, a pri nazivnom sekundarnom opterećenju S_N i pri $1/4$ nazivnog sekundarnog opterećenja.



Slika 3. Zavisnost amplitudne greške g od struje i opterećenja S_N .



Slika 4. Zavisnost fazne greške δ od struje i opterećenja S_N .

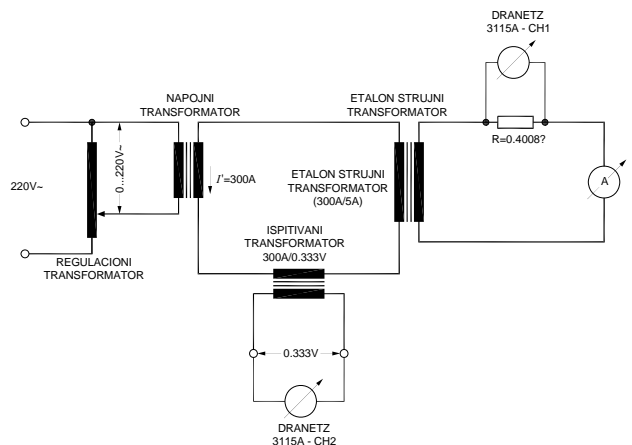
U slučaju poluindirektnog merenja snage i energije, greška merenja g_p , osim greške vatmetra g_w odnosno brojila mora uključiti i ukupnu grešku strujnog transformatora g_{ST} kao što je opisano jednačinom (3). Ukupna greška strujnog transformatora g_{ST} dobija se sabiranjem vrednosti amplitudne g_a i fazne g_f greške u procentima i izražena je jednačinom (4), dok jednačina (5) predstavlja izraz za izračunavanje fazne greške u procentima g_f kada je poznata fazna greška u ugaonim stepenima δ . Dakle treba istaći da merenje snage i energije u elektroenergetskom sistemu direktno zavisi od greške mernih transformatora (3-5).

$$g_p = g_w + g_{st} \quad (3)$$

$$g_{ST} = g_a + g_f \quad (4)$$

$$g_f = \sin \delta * 100 [\%] \quad (5)$$

Na Sl.5 predstavljena je merna šema kojom je vršeno merenje ponovljivosti i grešaka dva strujna transformatora različitih proizvođača sa prenosnim odnosom 300A/0,333V (STRJ1; STRJ2). Kod ovog tipa strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom sekundarni namotaj zatvoren je fiksnim otpornikom tako da se na izlazu sekundara umesto uobičajenih 5A dobija naponski signal 0,333V pri nazivnoj primarnoj struji. Ovakva konstrukcija strujnog transformatora ima prednost jer se u toku korišćenja ne može desiti da sekundar ostane otvoren i svojim visokim indukovanim naponom predstavlja potencijalnu opasnost po opremu i ljude. Za precizno merenje ponovljivosti strujnih transformatora korišćen je dvokanalni uređaj "Dranetz 3115A" sa osnovnom tačnošću u oblasti industrijske učestanosti, za amplitudu $\pm 0,05\%$ a za fazu ± 2 ugaona minuta, visoke rezolucije $\pm 0,001\%$ i $\pm 0,00001^\circ$. Pri merenju je korišćen etalon transformator 300/5A, amplitudne greške $\pm 0,02\%$ i fazne greške ± 2 ugaona minuta, šant otpornik R otpornosti $0,4008\Omega$ amplitudne greške $\pm 0,02\%$ i fazne greške ± 2 ugaona minuta, napojni transformator naponskog opsega 0-220V, kao i ampermetar. Merenje je sprovedeno u Elektrotehničkom Institutu Nikola Tesla u Beogradu u metrološkoj laboratoriji za merenje i etaloniranje u toku novembra i decembra meseca 2014. godine. Električno merno kolo prikazano na Sl.5 se napaja iz mreže 220 V, 50 Hz preko kasadne veze regulacionog i izolacionog napojnog transformatora. Ispitivani merni strujni transformatori postavljeni su oko provodnika kroz koji teče primarna struja I' kao što je prikazano na Sl.5, a njihovi sekundarni krajevi priključeni su na kanal 2 mernog uređaja "Dranetz 3115A". Pomoću ampermetra vršena je kontrola vrednosti primarne struje etalon transformatora čije su vrednosti varirane za 5%, 20%, 100% i 120 % nazivne primarne struje. Naponski signal koji je mera primarne struje meren je šant otpornikom R i povezan na kanal 1 uređaja "Dranetz 3115A".



Slika 5. Šema merenja ponovljivosti i grešaka strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom

IV. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazana su eksperimentalna ispitivanja amplitudne i fazne greške strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom i to: ponovljivost merenja, zavisnost od primarne struje i uticaj položaja provodnika u otvoru strujnog transformatora.

A. Ponovljivost merenja

Postojanje vazdušnog zazora, ma koliko on mali bio, na spoju magnetnog jezgra rasklopljivog strujnog transformatora nameće pitanje ponovljivosti merenja, pogotovu kod višestrukih otvaranja i zatvaranja magnetnog jezgra. Ponovljivost merenja procenjena je statističkom obradom većeg broja (n) ponovljenih pojedinačnih merenja (x_k), računajući srednju vrednost (x_{sr}) i standardnu devijaciju $S_{(x)}$ prema jednačinama 6 i 7.

$$x_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (6)$$

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - x_{sr})^2} \quad (7)$$

Za svaku ispitnu tačku (5%, 20%, 100%, 120% od nazivne struje) vršena su po $n=10$ uzastopnih merenja, određivanje srednje vrednosti i standardne devijacije prema jednačinama (6) i (7), respektivno. Za procenu merne nesigurnosti usvojena je maksimalna vrednost standardne devijacije za dati eksperiment, što u konkretnom slučaju iznosi:

-za amplitudnu grešku: $S_{(ga)max}=0.02\%$

-za faznu grešku: $S_{(\delta)max}=0.01^\circ$

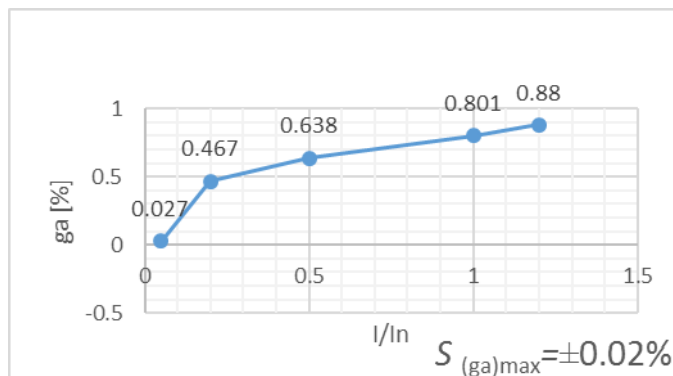
Sličan eksperiment je vršen za procenu merne nesigurnosti u slučajevima otvaranja i ponovnog zatvaranja magnetnog jezgra. Na svakoj mernoj tački strujni transformatori su otvarani i zatvarani po 10 puta, a maksimalne vrednosti standardne devijacije su bile:

-za amplitudnu grešku: $S_{(ga)max}=0.03\%$

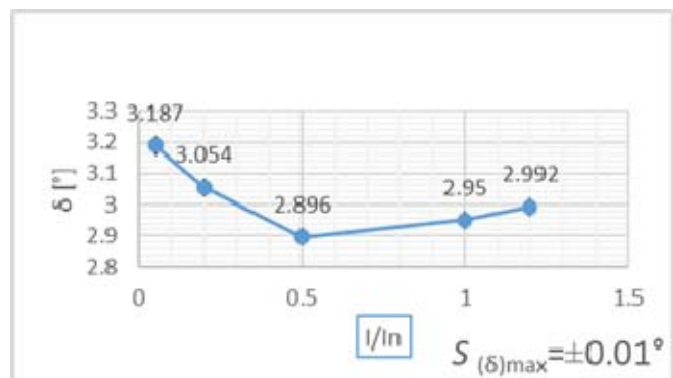
-za faznu grešku: $S_{(\delta)max}=0.02^\circ$

B. Određivanje amplitudne i fazne greške

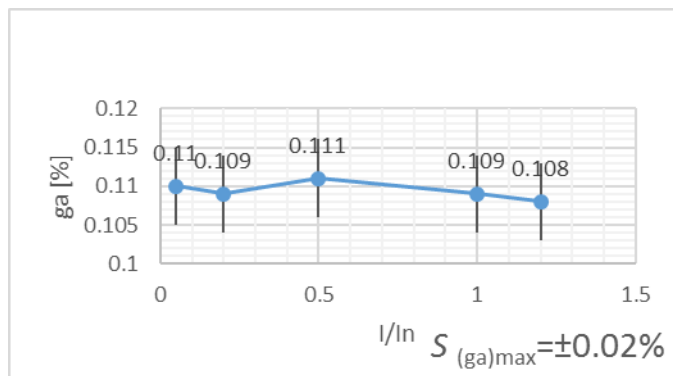
Ispitivana je amplitudna i fazna greška strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom i to konkretno kod dva različita tipa (STRJ1 i STRJ2) komercijalno dostupnih na tržištu sa prenosnim odnosom 300A/0,333V koji su deklarirani klasom 1. Korišćena je šema merenja sa Slike 5, pri čemu je signal za primarnu struju skidan sa šanta a sekundarni napon je meren direktno dvokanalnim analizatorom signala "Dranetz 3115A". Greške su određivane u skladu sa jednačinama 1 i 2. Vršeno je po deset uzastopnih merenja za svaku karakterističnu vrednost nazivne struje (5%, 20%, 100%, 120%). Slika 6 predstavlja zavisnost amplitudne greške od nazivne struje prvog strujnog transformatora. Amplitudna greška se kretala u granicama od 0,027% do 0,88%. Zavisnost fazne greške STRJ1 od primarne struje prikazana je Sl.7. Fazna greška se kretala u granicama od 2,896° do 3,187°. Zavisnost amplitudne i fazne greške STRJ2 od vrednosti primarne struje prikazane su na Sl.8 i 9 respektivno.



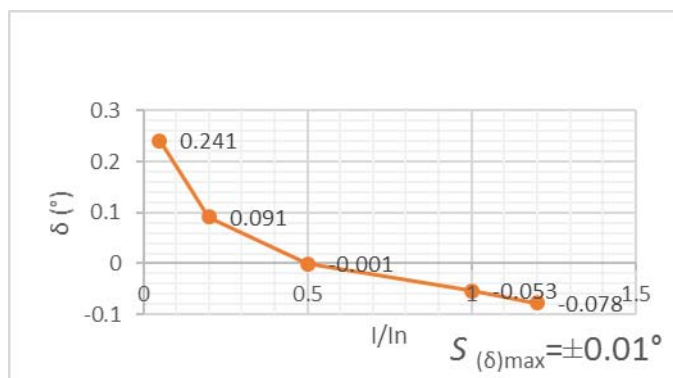
Slika 6. Zavisnost amplitudne greške od vrednosti primarne struje STRJ1



Slika 7. Zavisnost fazne greške od vrednosti primarne struje STRJ1



Slika 8. Zavisnost amplitudne greške od vrednosti primarne struje STRJ2



Slika 9. Zavisnost fazne greške od vrednosti primarne struje STR2

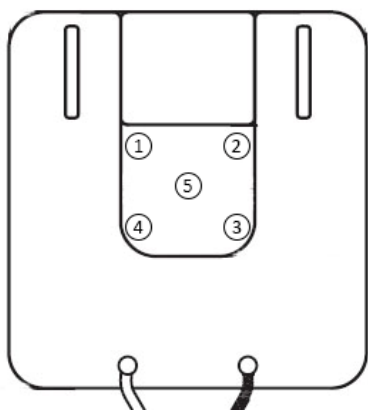
Amplitudna greška se kretala u granicama od 0,108% do 0,111. Fazna greška STRJ2 kretala se u granicama od $-0,078^\circ$ ($0,136\%$) do $0,241^\circ$ ($0,42\%$).

Pretpostavimo da se snaga meri vatmetrom zanemarljive greške i da se koriste merna klješta čije su amplitudne i ugaone greške prikazane slikama 6 i 7, pri primarnoj struji od 300A. Za slučaj da se merenje vrši klještima lošije klase tačnosti STRJ1 i da je amplitudna greška $g_a=0.8\%$ a ugaona greška $\delta=2,95^\circ$. Primenom jednačina 3-5 dobija se greška merenja snage $g_p=0.8\% + 5.15\% = 5.95\%$. U slučaju da se za isto merenje koriste strujna klješta sa boljim metrološkim karakteristikama STRJ2 (Sl.8 i 9) kod kojih je $g_a=0.1\%$ a ugaona greška $\delta=-0,053^\circ$ greška u merenju snage bi bila $g_p=0.1\% + 0,092\% = 0,192\%$. Razlika u merenju snage je više od 30 puta. Ovaj jednostavan primer pokazuje koliko je značajno poznavati amplitudnu i faznu grešku mernih transformatora u slučajevima kada se oni koriste za merenje snage i obračun električne energije.

C. Uticaj položaja provodnika na amplitudnu i faznu grešku

Na tačnost merenja strujnog transformatora mogu uticati različiti faktori: konstruktivni i tehnološki parametri, sekundarno opterećenje, električno i magnetno polje, vihorne struje, temperatura, položaj provodnika u otvoru transformatora. Uticaj ambijentalnih uslova (temperatura, pritisak, vlažnost) na greške strujnih transformatora je zanemarljiv. U ovom poglavlju je analiziran uticaj položaja provodnika na tačnost merenja, a na Sl.10 prikazan je otvor transformatora i pet različitih položaja u kojima je sprovedeno ovo ispitivanje. Tabela II prikazuje srednje vrednosti apsolutne i fazne greške kao i vrednosti standardnih devijacija kod svih 5 položaja provodnika za deset uzastopnih merenja pri 100% nazivne struje.

Ako uporedimo slučajeve kada se provodnik nalazi u položaju 2 i 4, vidi se da je u položaju 2 vrednost amplitudne greške 0,436%, dok je u položaju 4 vrednost amplitudne greške 0,879%. Vrednosti fazne greške u pomenutim slučajevima 2 i 4 su respektivno $2,934^\circ$ i $2,916^\circ$. Možemo zaključiti da položaj provodnika unutar otvora strujnog transformatora značajno utiče na vrednost amplitudne greške, dok je ovaj uticaj veoma mali na vrednost fazne greške strujnog transformatora.



Slika 10. Položaj provodnika u otvoru strujnog transformatora

TABELA II. APSOLUTNA I FAZNA GREŠKA I STANDARDNE DEVIJACIJE PRI RAZLIČITIM POLOŽAJIMA PROVODNIKA

Položaj	g_a [%]	$S_{(g_a)}$ [%]	δ_{sr} [°]	$S_{(\delta)}$ [°]
1	0.593	0.0038	0.917	0.0028
2	0.536	0.0053	0.934	0.0024
3	0.982	0.0066	1.007	0.0033
4	0.979	0.0070	0.916	0.0011
5	0.941	0.0062	0.875	0.0021

V. ZAKLJUČAK

Strujni merni transformatori sa rasklopljivim jezgrom mogu se montirati na provodnik kroz koji je potrebno meriti struju u pogonu pod naponom, što predstavlja veliku prednost u odnosu na merne transformatore sa fiksnim magnetnim jezgrom. Klasični strujni induktivni transformatori su pouzdani pogonski elementi sa stabilnim metrološkim karakteristikama, ali je pouzdanost, stabilnost i ponovljivost metroloških karakteristika strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom nedovoljno istražena. Poznavanje amplitudne i fazne greške merenja mernih transformatora veoma je značajno za tačno i pouzdano merenje osnovnih električnih veličina u elektroenergetskom sistemu: napona, struje, snage, energije. Pri merenju snage i obračunu električne energije pored amplitudne, veoma je značajno poznavanje vrednosti fazne greške mernih transformatora. U radu su definisane greške merenja i prikazana merna šema pogodna za ispitivanje amplitudne i fazne greške strujnih transformatora sa rasklopljivim jezgrom, klase tačnosti 1, sa naponskim signalom na sekundaru (300A/0,333V) Slika 5. Na osnovu rezultata eksperimenata mogu se izvesti sledeći zaključci:

- ponovljivost merenja je zadovoljavajuća i iznosi $S_{ga}=\pm 0.02\%$ za amplitudnu i $S_{\delta}=\pm 0.01^\circ$ za faznu grešku. Ponovljivost merenja za deset uzastopnih otvaranja i zatvaranja magnetnog jezgra, pri identičnim ostalim uslovima je takođe zadovoljavajuća i iznosi $S_{ga}=\pm 0,03\%$ i $S_{\delta}=\pm 0,02^\circ$.

- amplitudne greške oba strujna transformatora su unutar deklarisanе klase 1, ali se fazne greške dramatično razlikuju (više od 10 puta). Za slučaj poluindirektnog merenja snage, pri nazivnoj struji (300A), uzimajući podatke sa Sl. 6-9, prema jednačinama 1-5, greška merenja snage je, za prvi transformator, $g_p=5.95\%$, a kod drugog transformatora je $g_p=0,192\%$.

- Analiza uticaja položaja provodnika prikazana je na Sl.10, a može se zaključiti da položaj provodnika nije irelevantan, ali da je uticaj položaja provodnika u granicama deklarisanе klase tačnosti. Položaj provodnika značajnije utiče na vrednost amplitudne greške, dok veoma malo utiče na vrednost fazne greške.

ZAHVALNICA

Rad je delimično finansiran od strane srpskog Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja preko projekta OI 17007.

LITERATURA

- [1] J. West, P. Miljanic, An improved two-stage current transformer, IEEE Transaction on instrumentation and measurement, Vol. 40, No. 3, Jun 1991.
- [2] W. J. M. Moore, P. N. Miljanic. "The Current Comparator ", IEEE electrical measurement series, Peter Peregrinus Ltd, 1988, pp 44-48. R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [3] D. Naumović-Vuković, S. Škundrić, D. Kovačević, S. Milosavljević, Calibration of high accuracy class standard current transformers, 19th IMEKO World Congress, 2009.
- [4] IEEE Std C57.13-1993, "IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers", IEEE, Inc., 1994
- [5] IEC Standard 60044-1 "Instrument transformers – Part 1: Current transformers" (2003/02)
- [6] IEC Standard 60044-8 "Instrument transformers – Part 8: Electronic current transformers" (2002/07)
- [7] IEC Standard 60044-8 "Instrument transformers – Part 10: Low power stand alone current sensors" (2002/07)

Amplitude and phase error measurement of openable-core type current transformers

Uroš Kovačević, Vladeta Milenković, Aleksandar Nikolić, Dragan Kovačević, Rastko Kostić

The aim of this paper is to point the importance of amplitude and phase error of current transformers with openable core used for power measurement and electricity billing. The paper describes the implemented measuring method for measuring of amplitude and phase error of current transformer with voltage output at the secondary side. Analysis of measuring results showed that repeatability of measurement is very good. Number of opening operations of the magnetic core does not have much influence on the measurement results. The paper gives definitions of amplitude and phase errors of current transformer, and they are graphically presented depending on the primary current. Impact of the position of the conductor in the opening of the transformer was analyzed. Comparing measurement results of two current transformers, with accuracy class 1, used for power measurement, it was shown that measuring results may vary significantly.