

Zastosowanie błędu całkowitego do oceny dokładności transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych przez indukcyjne przekładniki prądowe

Streszczenie. W artykule zaproponowano zastosowanie dwóch parametrów: procentowego błędu całkowitego transformacji wyższych harmoniczných oraz procentowego błędu całkowitego transformacji harmoniczných, do oceny dokładności transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych przez przekładniki prądowe. Wykorzystanie różnicowo wyznaczonego błędu całkowitego zapewnia, przy zachowaniu niskich kosztów układu pomiarowego, wysoką dokładność wyników, pozwalając jednocześnie na ocenę właściwości metrologiczných dla poszczególných harmoniczných oraz łącznie dla wszystkich wyższych harmoniczných zawartých w transformowanym przez badany przekładnik sygnale.

Abstract. In this paper the concept is discussed for evaluation of accuracy of conductive disturbances transformation by inductive currents transformers based on two developed parameters: the percentage composite error of higher harmonics transformation and the percentage composite error of harmonic transformation. The usage of coefficients calculated from measured differentially composite error ensures high accuracy of obtained results, at low costs of required measuring apparatus. (**Application of composite error for evaluation of accuracy of conductive disturbances transformation by inductive currents transformers**)

Słowa kluczowe: błąd całkowity, indukcyjny przekładnik prądowy, prąd odkształcony, dokładność transformacji zaburzeń przewodzonych.

Keywords: composite error, inductive current transformer, distorted current, accuracy of conductive disturbances transformation.

Wstęp

Powszechne zastosowanie przyłączonych do sieci elektroenergetycznej odbiorników nieliniowych szczególnie o impulsowym poborze prądu, generujących zniekształcenia harmoniczne, powoduje zakłócenia w pracy innych urządzeń oraz obniżenie efektywności wykorzystania energii elektrycznej (obniżenie współczynnika mocy). Z tych względów zostały wprowadzone odpowiednie ograniczenia zarówno co do poziomów emisji harmoniczných prądu oraz wymagania dotyczące parametrów napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych. Istnieje zatem konieczność pomiaru zaburzeń przewodzonych występujących w odkształconych prądach i napięciach sieci elektroenergetycznej. Do oceny dokładności indukcyjnych przekładników dla transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych możliwe jest zastosowanie współczynników wyznaczanych na podstawie pomiarów błędu całkowitego. Błąd całkowity jest to wartość skuteczna prądu w stanie ustalonym, będącego różnicą między chwilowymi wartościami prądów pierwotnego i wtórnego pomnożonego przez znamionową przekładnię przekładnika i jest wyrażony w procentach wartości skutecznej prądu pierwotnego [1].

$$(1) \quad \varepsilon_c = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (Ki_2 - i_1)^2 dt}$$

gdzie: K - znamionowa przekładnia prądowa, i_1, i_2 - wartości chwilowe prądów pierwotnego i wtórnego, I_1 - wartość skuteczna prądu pierwotnego, T - okres przebiegu prądu.

Na podstawie wykresu wskazowego przekładnika prądowego można wykazać, że wartość błędu całkowitego wyznaczonego dla transformacji sinusoidalnego prądu lub danej harmoniczných przebiegu odkształconego jest równa sumie geometrycznej wyznaczonych błędów prądowego i kąowego tego przekładnika.

$$(2) \quad \varepsilon_c = \sqrt{\Delta I^2 + (\sin \varphi \cdot 100)^2}$$

gdzie: ΔI - błąd prądowy przekładnika, φ - błąd kąowy.

Pomiar błędu całkowitego umożliwia zatem (przy wyznaczeniu jednego z błędów) obliczenie brakującego błędu prądowego lub kąowego, a w przypadku niezależnego ich pomiaru umożliwia weryfikację wyników pomiarowych.

Metodyka badań

Do oceny dokładności transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych przez badane indukcyjne przekładniki prądowe zastosowano dwa współczynniki: procentowy błąd całkowity transformacji wyższych harmoniczných oraz procentowy błąd całkowity transformacji wyższych harmoniczných równy jest sumie geometrycznej wartości skutecznych wyższych harmoniczných błędu całkowitego, wyznaczonego dla transformacji przebiegu odkształconego przez badany przekładnik prądowy, odniesionej do sumy geometrycznej wartości skutecznych tych harmoniczných w transformowanym sygnale. Obliczany jest jako różnica geometryczna, wyznaczonych dla transformacji przebiegu odkształconego wartości skutecznych błędu całkowitego i jego pierwszej harmoniczných, odniesiona do różnicy geometrycznej wartości skutecznych transformowanego prądu oraz jego pierwszej harmoniczných.

$$(3) \quad \varepsilon_{\% \Sigma h} = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 - \varepsilon_{1h}^2}}{\sqrt{I^2 - I_{1h}^2}} 100\%$$

gdzie: ε - wartość skuteczna błędu całkowitego wyznaczonego dla transformacji przebiegu odkształconego przez badany przekładnik prądowy, ε_{1h} - wartość skuteczna pierwszej harmoniczných tego błędu całkowitego, I - wartość skuteczna odkształconego prądu pierwotnego transformowanego przez badany przekładnik prądowy, I_{1h} - wartość skuteczna pierwszej harmoniczných tego prądu.

Procentowy błąd całkowity transformacji harmoniczných obliczany jest na podstawie zależności (4).

$$(4) \quad \varepsilon_{\% kh} = \frac{\varepsilon_{kh}}{I_{kh}} 100\%$$

gdzie: ε_{kh} - wartość skuteczna k-tej harmonicznej błędu całkowitego wyznaczonego dla transformacji przebiegu odkształconego, I_{kh} - wartość skuteczna k-tej harmonicznej odkształconego prądu pierwotnego.

Układ pomiarowy

Badania laboratoryjne przeprowadzono dla czterech indukcyjnych przelotowych przekładników prądowych: dwóch klasy 0,2 (określonej dla transformacji prądów sinusoidalnych o częstotliwości 50 Hz, zgodnie z normą [1]) o przekładniach 100/5, 300/5 i obciążeniu znamionowym 2,5 VA ($\cos\varphi = 0,8$) oraz dwóch klasy 0,5 o przekładniach 100/5, 300/5 i obciążeniu znamionowym 5 VA ($\cos\varphi = 0,8$). Pomiar przeprowadzono dla najgorszego przypadku tzn. w warunkach, w których wartości skuteczne harmonicznych zaburzeń przewodzonych w odkształconym prądzie pierwotnym badanego przekładnika o zadanym THD_I (współczynniku zawartości harmonicznych prądu) są równe najwyższym dopuszczalnym wartościom zgodnie z normą PN-EN 61000-3-12 (2012) [3] określającą maksymalne poziomy emisji poszczególnych harmonicznych prądu (Lp. h.) dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym od 16 A do 75 A przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia (tabela 1).

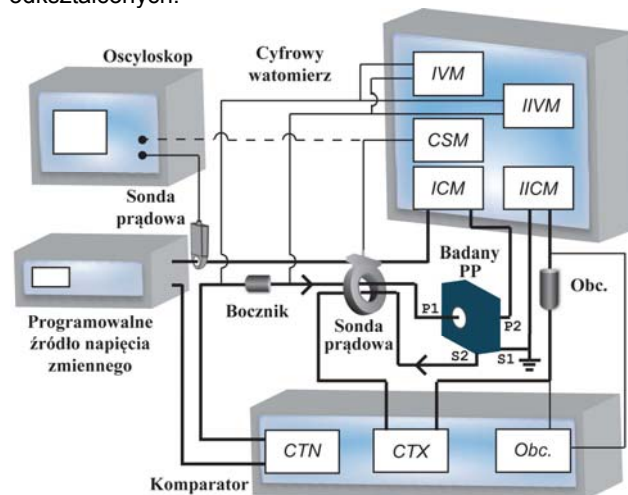
Tabela 1. Wartości dopuszczalne emisji poszczególnych harmonicznych prądu wyrażone w procentach harmonicznej podstawowej prądu zasilającego [%]

/ Lp. h.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
23	8	21.6	4	10.7	2.7	7.2	2	3.8	1.6	3.1	1.3	2
26	8	24	4	13	2.7	8	2	5	1.6	4	1.3	3
30	8	27	4	15	2.7	10	2	6	1.6	5	1.3	4
40	8	35	4	20	2.7	13	2	9	1.6	8	1.3	6
47	8	41	4	24	2.7	15	2	12	1.6	10	1.3	8

Instrukcja ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej (IRIESD) jest opracowywana przez poszczególnych operatorów sieci elektroenergetycznej i zatwierdzana przez Urząd Regulacji Energetyki. Określa szczególne warunki korzystania z sieci dystrybucyjnej przez jej użytkowników oraz warunki i sposób prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci dystrybucyjnej. Według IRIESD PGE Dystrybucja S.A. dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu powodowane przez odbiorniki o fazowym prądzie znamionowym >16 A są zgodne z tabelą 1 w zakresie do 13. harmonicznej dla warunków, gdy współczynnik THD_I jest równy 23% [4].

Badania przekładników prądowych przeprowadzono w warunkach amperozwojów znamionowych, czyli przewód z prądem pierwotnym o wartości skutecznej znamionowego prądu wtórnego był kilkakrotnie przeprowadzony przez okno rdzenia przekładnika zgodnie z przekładnią znamionową [5]. Do zasilania obwodu pierwotnego badanego przekładnika wykorzystane zostało programowalne źródło napięcia zmiennego o częstotliwości podstawowej napięcia wyjściowego 50 Hz/60 Hz i regulowanych wartościach zadanego współczynnika zawartości wyższych harmonicznych THD_U . Współczynnik ten w napięciu zasilającym jest dobierany w taki sposób, aby zapewniony był, ustalony do badań, poziom zawartości wyższych harmonicznych w prądzie pierwotnym (pomiar przez ICM cyfrowego watomierza). Badania zostały przeprowadzone dla zadanego wartości współczynników THD_I (0%, 23%, 30% i 40%) prądu pierwotnego, przy 5%, 20%, 100% i 120% wartości prądu znamionowego i obciążeniu uzwojenia wtórnego o wartościach 25% i 100% mocy znamionowej. Na rysunku 1 przedstawiono schemat (opracowany przez autora) układu pomiarowego do wyznaczania poszczególnych harmonicznych błędu całkowitego

przekładników prądowych dla transformacji prądów odkształconych.



Rys.1. Schemat opracowanego układu pomiarowego do wyznaczania poszczególnych harmonicznych błędu całkowitego przekładników prądowych dla transformacji prądów odkształconych

Na rysunku 1 zastosowano następujące oznaczenia:

- IVM – wejście napięciowe pierwszego modułu watomierza,
- IIVM – wejście napięciowe drugiego modułu watomierza,
- CSM – wejście napięciowe pierwszego modułu watomierza przeznaczone do podłączenia sondy prądowej,
- ICM – wejście prądowe pierwszego modułu watomierza,
- IICM – wejście prądowe drugiego modułu watomierza,
- CTN - wejście prądowe komparatora do podłączenia uzwojenia wtórnego przekładnika wzorcowego,
- CTX - wejście prądowe komparatora do podłączenia uzwojenia wtórnego przekładnika badanego,
- Obc. - wejście napięciowe komparatora do podłączenia napięcia uzwojenia wtórnego badanego przekładnika prądowego / rezystor obciążający uzwojenie wtórne badanego przekładnika.

Podczas badań przekładniki prądowe były obciążone przez rezystory ($\cos\varphi = 1$). Wymaganie to wynika z konieczności wyeliminowania wpływu indukcyjności obciążenia na dodatkowe napięcie wtórne dla wyższych harmonicznych prądu wtórnego i w konsekwencji wzrost indukcji w rdzeniu. Do pomiarów wartości skutecznej różnicy prądów pierwotnego i wtórnego badanych przekładników prądowych zastosowano pomiarową pasywną sondę prądową o deklarowanej przez producenta dokładności $\pm 1\%$ w zakresie transformacji prądów o wartościach skutecznych od 1 mA do 40 A. Przewody z prądem pierwotnym i wtórnym poprowadzono przez sondę w taki sposób, aby strumień w jej rdzeniu magnetycznym był proporcjonalny do różnicy wartości chwilowych prądów pierwotnego i wtórnego, czyli do błędu całkowitego badanego przekładnika prądowego [5]. Pomiar poszczególnych harmonicznych błędu całkowitego jest wykonywany przez cyfrowy watomierz, który jednocześnie kontroluje wartość skuteczną i poziomy harmonicznych w zadanym prądzie pierwotnym i wtórnym. Pomiar jednego napięcia odniesienia bocznika rezystancyjnego umieszczonego w obwodzie pierwotnym przekładnika prądowego przez oba moduły cyfrowego watomierza umożliwia wyznaczenie przesunięcia fazowego sinusoidalnych prądów pierwotnego i wtórnego lub ich poszczególnych harmonicznych prądów odkształconych. Komparator przeznaczony do badania dokładności indukcyjnych przekładników prądowych i napięciowych został wykorzystany do weryfikacji wyników pomiarowych dla składowej podstawowej odkształconego prądu. Ze

względem na wbudowany filtr pasmowo-zaporowy komparator w przypadku sygnałów odkształconych mierzy błąd prądowy i kątowy składowej o częstotliwości 50 Hz, natomiast błąd całkowity zostaje obliczony zgodnie z zależnością (2). Oscyloskop jest zastosowany dodatkowo do weryfikacji wyników pomiaru wartości wyznaczonego przez cyfrowy watomierz błędu całkowitego i jego harmonicznym oraz jednoczesnej kontroli wartości skutecznych i poziomu harmonicznym w zadanym prądzie pierwotnym [6].

Wyniki pomiarów

W pierwszym etapie badań analizowana jest zmiana wartości pierwszej harmonicznym błędu całkowitego względem warunków transformacji prądu sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz. Istotny wzrost jej wartości dla transformacji prądu odkształconego świadczyłby o niepożądanym wzroście indukcji w rdzeniu przekładnika. Pozwala to określić, optymalny dla uzyskania najwyższej dokładności transformacji harmonicznym przez badany przekładnik prądowy, zakres mocy obciążenia uzwojenia wtórnego [7]. W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów błędu całkowitego (ε) i jego pierwszej harmonicznym (ε_{1h}) oraz obliczone procentowe wartości błędu całkowitego transformacji wyższych harmonicznym ($\varepsilon_{\%2h}$) i błędu całkowitego transformacji harmonicznym 5. ($\varepsilon_{\%5h}$) oraz 13. ($\varepsilon_{\%13h}$) przez przekładnik o przekładni znamionowej 100/5 i klasie dokładności 0,2 (przebieg sinusoidalny, 50 Hz). Wartości podane w nawiasach kwadratowych dotyczą przebiegu sinusoidalnego prądu pierwotnego.

Tabela 2. Wyniki pomiarów błędu całkowitego i jego pierwszej harmonicznym oraz obliczone procentowe wartości błędu całkowitego transformacji wyższych harmonicznym i błędu całkowitego transformacji harmonicznym 5. i 13. przekładnika prądowego 100/5, kl. 0,2

Obc.	Błędy całkowite	warunki. pom. [sin] / THD40%	
		$I_2 = 1 \text{ A}$	$I_2 = 6 \text{ A}$
2,5 W	ε	[0,52] / 0,48	[0,30] / 0,42
	ε_{1h}	[0,51] / 0,46	[0,27] / 0,26
	$\varepsilon_{\%2h}$	0,33	0,62
	$\varepsilon_{\%5h}$	0,25	0,54
	$\varepsilon_{\%13h}$	0,21	0,45
1 W	ε	[0,36] / 0,31	[0,20] / 0,23
	ε_{1h}	[0,35] / 0,29	[0,19] / 0,21
	$\varepsilon_{\%2h}$	0,27	0,27
	$\varepsilon_{\%5h}$	0,24	0,23
	$\varepsilon_{\%13h}$	0,21	0,21

Wyznaczone wartości błędu całkowitego transformacji harmonicznym 5. są wyższe niż wyznaczone dla transformacji harmonicznym 13. (tab. 2). Wynika to z faktu, że nieliniowy przebieg charakterystyki magnesowania rdzenia badanego przekładnika prądowego (nawet nieznacznie) powoduje odkształcenie prądu wtórnego, które prowadzi do generacji wyższych harmonicznym niskiego rzędu. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w warunkach transformacji prądu o wartości skutecznej 6 A, gdy punkt pracy przekładnika na charakterystyce magnesowania ustawiony jest stosunkowo wysoko.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów tych samych błędów oraz wyniki obliczeń analizowanych współczynników dla przekładnika prądowego o przekładni znamionowej 300/5 i klasie dokładności 0,2.

Tabela 3. Wyniki pomiarów błędu całkowitego i jego pierwszej harmonicznym oraz obliczone procentowe wartości błędu całkowitego transformacji wyższych harmonicznym i błędu całkowitego transformacji harmonicznym 5. i 13. przekładnika prądowego 300/5, kl. 0,2

Obc.	Błędy całkowite	warunki. pom. [sin] / THD40%	
		$I_2 = 1 \text{ A}$	$I_2 = 6 \text{ A}$
2,5 W	ε	[0,18] / 0,16	[0,20] / 0,30
	ε_{1h}	[0,18] / 0,15	[0,17] / 0,17
	$\varepsilon_{\%2h}$	0,23	0,58
	$\varepsilon_{\%5h}$	0,15	0,44
	$\varepsilon_{\%13h}$	0,17	0,52
1 W	ε	[0,16] / 0,15	[0,14] / 0,13
	ε_{1h}	[0,16] / 0,13	[0,14] / 0,12
	$\varepsilon_{\%2h}$	0,23	0,23
	$\varepsilon_{\%5h}$	0,15	0,14
	$\varepsilon_{\%13h}$	0,17	0,16

W tym przekładniku punkt pracy na charakterystyce magnesowania rdzenia ustawiony jest na tyle nisko (dla małej indukcji), że pracuje on praktycznie w zakresie liniowym. Zatem, zjawisko generacji harmonicznym w wyniku odkształcenia prądu wtórnego ma zdecydowanie mniejsze znaczenie, niż gorsze właściwości metrologiczne, które występują wraz ze wzrostem częstotliwości transformowanego sygnału [8].

W tabeli 4 przedstawiono wyniki pomiarów przekładnika o przekładni znamionowej 100/5 i klasie dokładności 0,5.

Tabela 4. Wyniki pomiarów i obliczeń dla przekładnika prądowego o przekładni znamionowej 100/5 i klasie dokładności 0,5.

Obc.	Błędy całkowite	warunki. pom. [sin] / THD40%	
		$I_2 = 1 \text{ A}$	$I_2 = 6 \text{ A}$
5 W	ε	[1,2] / 1,2	[1,5] / X
	ε_{1h}	[0,71] / 0,75	[0,69] / X
	$\varepsilon_{\%2h}$	4,87	X
	$\varepsilon_{\%5h}$	5,74	X
	$\varepsilon_{\%13h}$	2,87	5,55
3 W	ε	[1,0] / 1,0	[0,8] / 1,0
	ε_{1h}	[0,44] / 0,34	[0,31] / 0,30
	$\varepsilon_{\%2h}$	4,77	4,82
	$\varepsilon_{\%5h}$	5,42	5,75
	$\varepsilon_{\%13h}$	2,22	2,57

X - występuje nasycenie rdzenia badanego przekładnika.

W przypadku przekładnika o przekładni znamionowej 100/5, klasy 0,5 (tab. 4) optymalny (ze względu na dokładność transformacji harmonicznym przez badany przekładnik) zakres mocy obciążenia uzwojenia wtórnego wynosił od 3 W do 4,5 W. Podczas transformacji prądu pierwotnego o wartości 120% prądu znamionowego (6 A) przy obciążeniu uzwojenia wtórnego mocą 5 W dochodzi do nasycenia rdzenia [9]. Ponadto, ze względu na nieliniowy przebieg charakterystyki magnesowania rdzenia także w tym (ograniczonym) zakresie obciążeń uzwojenia wtórnego przekładnik ten - w porównaniu do przekładnika prądowego klasy 0,2 o tej samej przekładni znamionowej (tab. 2) - charakteryzuje się prawie 20 krotnie większą wartością procentowego błędu całkowitego transformacji wyższych harmonicznym, ponad 20 krotnie większą wartością procentowego błędu całkowitego transformacji harmonicznym 5. oraz ponad 10 krotnie większą wartością procentowego błędu całkowitego transformacji harmonicznym 13.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki badań przekładnika prądowego o przekładni znamionowej 300/5 i klasie dokładności 0,5.

Tabela 5. Wyniki badań przekładnika prądowego o przekładni znamionowej 300/5 i klasie dokładności 0,5.

Obc.	Błędy całkowite	warunki. pom. [sin] / THD40%	
		$I_2 = 1 \text{ A}$	$I_2 = 6 \text{ A}$
5 W	ε	[1,5] / 1,5	[1,0] / 1,9
	ε_{1h}	[1,35] / 1,39	[0,78] / 0,81
	$\varepsilon_{\Sigma h}$	4,52	3,74
	ε_{5h}	5,74	4,79
	ε_{13h}	2,47	1,55
3,5 W	ε	[1,4] / 1,4	[1,0] / 1,0
	ε_{1h}	[1,0] / 1,1	[0,43] / 0,51
	$\varepsilon_{\Sigma h}$	5,00	2,40
	ε_{5h}	6,75	3,42
	ε_{13h}	3,57	1,22

Przekładnik ten w porównaniu z przekładnikiem klasy 0,2 i tej samej przekładni znamionowej charakteryzuje się (podobnie, jak przekładnik o przekładni 100/5) wielokrotnie wyższą wartością błędów transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych. Dowodem dominującej roli zjawiska generacji harmoniczných jest większa wartość procentowego błędu całkowitego transformacji harmoniczných 5. niż wartość procentowego błędu całkowitego transformacji harmoniczných 13.

Wnioski końcowe

Analiza przyczyn wzrostu wartości składowej podstawowej błędu całkowitego dla transformacji prądu odkształconego względem transformacji prądu sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz pozwala określić optymalny zakres mocy obciążenia uzwojenia wtórnego dla uzyskania najwyższej dokładności transformacji harmoniczných przez badany indukcyjny przekładnik prądowy.

Wyniki pomiarów uzyskane w optymalnych warunkach pracy do transformacji sygnałów odkształconych wykazały, że badane indukcyjne przekładniki prądowe klasy 0,2 (wyznaczonej dla transformacji prądów sinusoidalnych o częstotliwości 50 Hz, zgodnie z normą [1]) pozostają dokładniejsze niż przekładniki klasy 0,5 o tych samych przekładniach znamionowych także dla transformacji przebiegów odkształconych i harmoniczných zaburzeń

przewodzonych. Wniosek ten, choć wydaje się oczywisty, wymaga każdorazowego sprawdzenia.

W rozważanym przypadku głównym źródłem błędów transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych przez indukcyjne przekładniki prądowe klasy 0,5 był nieliniowy przebieg charakterystyki magnesowania rdzenia magnetycznego powodujący odkształcenie prądu wtórnego i generację wyższych harmoniczných niskiego rzędu. W przypadku przekładnika klasy 0,2 o przekładni znamionowej 300/5 głównym źródłem błędów transformacji harmoniczných zaburzeń przewodzonych było obniżenie właściwości metrologiczných wraz ze wzrostem częstotliwości transformowanego sygnału.

LITERATURA

- [1] PN-EN 61869-2: 2013, Przekładniki -- Część 2: Wymagania szczegółowe dotyczące przekładników prądowych, PKN.
- [2] Kaczmarek M., A practical approach to evaluation of accuracy of inductive current transformer for transformation of distorted current higher harmonics, *Electric Power Systems Research*, 119(2015), 258 - 265.
- [3] PN-EN 61000-3-12:2012, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część 3-12: Poziomy dopuszczalne -- Poziomy dopuszczalne emisji harmoniczných prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym $> 16 \text{ A}$ i $<$ lub $= 75 \text{ A}$ przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia, PKN.
- [4] Instrukcja ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej, PGE Dystrybucja S.A., październik 2013.
- [5] Kaczmarek M., Właściwości metrologiczne przekładnika prądowego wyższych częstotliwości, *Przegląd Elektrotechniczny*, 3(2014), 132 – 135.
- [6] Kaczmarek M., Nowicz R.: Sposób wyznaczania błędów napięciowego i kątownego indukcyjnych przekładników napięciowych dla przebiegów odkształconych, patent na wynalazek udzielony przez Urząd Patentowy RP w dniu 15.10.2013 r.
- [7] Kaczmarek M., Estimation of the Inductive Current Transformer Derating Conditions for Distorted Currents, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical Sciences*, 2(2014), 363 - 366.
- [8] Kaczmarek M., Wide frequency operation of the inductive current transformer with Ni80Fe20 toroidal core, *Electric Power Components and Systems*, 10(2014), 1087–1094.
- [9] Kaczmarek M., The source of the inductive current transformers metrological properties deterioration for transformation of distorted currents, *Electric Power Systems Research*, 107(2014), 45 - 50.

Autor: dr inż. Michał Kaczmarek, Politechnika Łódzka, WEELiA, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Przekładników i Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Stefanowskiego 18 / 22, 90 - 924 Łódź, michal.kaczmarek@p.lodz.pl