

## Badania odporności urządzeń pomiarowych stosowanych w obwodach wieloprądowych na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej

**Streszczenie.** Producenci aparatury pomiarowej najczęściej deklarują odporność urządzenia zgodnie z normą PN-EN 61000-4-8 w zakresie do 30 A/m. Dlatego, w przypadku narażenia urządzeń pomiarowych na oddziaływanie pola magnetycznego o częstotliwości sieci elektroenergetycznej, którego wartość przekracza niekiedy 1000 A/m może występować obniżenie dokładności pomiarów, a w niektórych przypadkach brak możliwości ich wykonania. W artykule przedstawiono opracowaną metodykę badań i otrzymane wyniki pomiarów odporności cyfrowego watomierza.

**Abstract.** Manufacturers of measuring apparatus most often declare the device immunity in accordance with the standard PN-EN 61000-4-8 up to 30 A / m. Therefore, the exposure of measuring devices to the influence of a power frequency magnetic field, that value sometimes exceeds 1000 A/m, may cause a decrease of accuracy of measurements or even in some cases, inability to perform them. The article presents developed test methodology and obtained measurement results of immunity of a digital power meter. (**Testing of power frequency magnetic field immunity of measurement equipment used in high-current systems**).

**Słowa kluczowe:** odporność EMC urządzeń pomiarowych, pole magnetyczne, transformator wieloprądowy, cyfrowy watomierz.

**Keywords:** EMC immunity of measuring equipment, magnetic field, high-current transformer, digital power meter.

### Wstęp

Stosowane podczas pomiarów w układach wieloprądowych urządzenia pomiarowe są narażone na oddziaływanie pola magnetycznego wytwarzanego przez transformator probierczy i tor prądowy o wartości przekraczającej niekiedy 1000 A/m. Może to powodować obniżenie dokładności pomiarów, a w niektórych przypadkach uniemożliwić ich wykonanie. Szczególnie narażone są urządzenia stosowane w układach pomiarowych przeznaczonych m.in do sprawdzenia dokładności przekładników prądowych i do badań wytrzymałości cieplnej oraz elektrycznej aparatów. Zgodnie z normą [1] urządzenia przeznaczone do pracy w środowisku przemysłowym podlegają wymaganiom dotyczącym odporności na oddziaływanie pola magnetycznego o częstotliwości 50 Hz (60) Hz i natężeniu 30 A/m. Norma [2] zawiera szczegółowe wymagania dotyczące metod badań i pomiarów odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej. Urządzenia pomiarowe poddane badaniom klasyfikowane są pod względem stopnia utraty funkcjonalności lub pogorszenia dokładności:

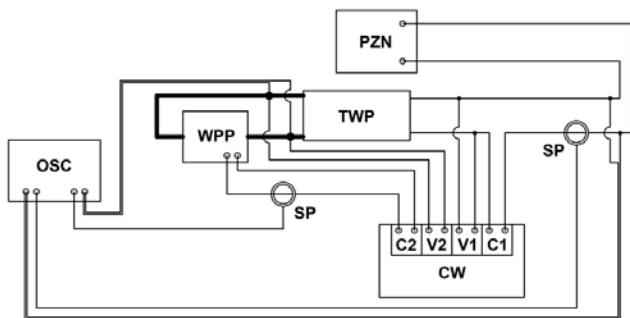
- prawidłowe działanie w granicach określonych w specyfikacji badanego urządzenia,
- czasowa utrata funkcjonalności lub pogorszenie dokładności, które ustają po zaniknięciu zaburzeń, bez ingerencji użytkownika,
- czasowa utrata funkcjonalności lub pogorszenie dokładności, która wymaga ingerencji użytkownika,
- stała utrata funkcjonalności lub pogorszenie dokładności.

W normie nie zostały zdefiniowane graniczne wartości dotyczące obniżenia dokładności w warunkach oddziaływania pola magnetycznego, których przekroczenie określone jest jako brak odporności badanego urządzenia.

### Obwód wieloprądowy

Przekładniki prądowe i napięciowe stanowią część systemu elektroenergetycznego i są podstawowym elementem łączącym sieć elektroenergetyczną, do której przyłączone zostaje uzwojenie pierwotne z aparaturą pomiarową lub zabezpieczeniową przyłączoną do ich strony wtórnej. Podstawowym elementem układu pomiarowego do sprawdzania dokładności indukcyjnych przekładników

prądowych jest wieloprądowy transformator probierczy. Urządzenia te z reguły budowane są z wielosekcyjnymi uzwojeniami, których początki i końce są dostępne umożliwiając zmianę ich wzajemnej konfiguracji połączeń na: szeregowo, szeregowo-równoległe, równoległe. Znamionowa moc transformatora wieloprądowego uzyskiwana jest tylko przy równoległym połączeniu sekcji uzwojenia zasilającego. Szeregowo ich połączenie powoduje ograniczenie pobieranego prądu i napięcia wyjściowego transformatora. Równoległe połączenie sekcji uzwojenia wtórnego zapewnia przy najmniejszej wartości napięcia wtórnego maksymalny prąd wyjściowy transformatora wieloprądowego dla wybranej konfiguracji uzwojenia zasilającego. Badany zespół wieloprądowy o pozornej mocy znamionowej 33 kVA umożliwił generację prądów o wartościach skutecznych do 5400 A, należy jednak zaznaczyć, że wartość ta osiągnięta jest jedynie przy impedancji obwodu dołączonego do strony wtórnej transformatora o wartości nie przekraczającej 1 mΩ. Zwiększająca się liczba odbiorników nieliniowych i wzrost znaczenia generacji z odnawialnych źródeł energii powoduje obniżenie jakości energii elektrycznej. W konsekwencji pojawiają się nowe wymagania dotyczące transformacji odkształconych prądów i napięć. Sprawdzenie dokładności przekładników napięciowych/prądowych zgodnie z normami [3-4] realizowane jest przy zasilaniu odpowiednio napięciem lub prądem sinusoidalnym o częstotliwości 50 Hz (60 Hz). Dlatego w celu określenia błędów przekładni i błędów kątowych transformacji wyższych harmonicznych napięcia lub prądu konieczne jest opracowanie nowej metodyki badań i układów pomiarowych. W tym przypadku wieloprądowy transformator probierczy musi umożliwiać generację prądów odkształconych o zadanej wartości skutecznej harmonicznych podstawowej i wyższej harmonicznej z zakresu co najmniej do 2000 Hz [5]. Opracowanie układu pomiarowego do sprawdzania dokładności indukcyjnych przekładników prądowych podczas transformacji prądów odkształconych wymaga zatem określenia jego częstotliwościowego zakresu pracy dla zadanych wartości skutecznych prądów wtórnych i obciążeń wynikających z wymaganych długości toru prądowego. Na rysunku 1 przedstawiono schemat układu pomiarowego [6].



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania dopuszczalnej długości toru prądowego dla wymaganego częstotliwościowego zakresu pracy transformatora wieloprądowego

Na rysunku 1 zastosowano następujące oznaczenia: PZN – programowalne źródło napięcia, TWP – badany transformator wieloprądowy, WPP – wzorcowy przekładnik prądowy, OSC - oscyloskop SP – sondy prądowe, CW – cyfrowy watomierz, C1, V1 – wejścia prądowe i napięciowe pierwszego modułu cyfrowego watomierza, C2, V2 - wejścia prądowe i napięciowe drugiego modułu cyfrowego watomierza.

Układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 1 składa się ze źródła napięcia zmiennego umożliwiające jego zasilanie napięciem odkształconym o częstotliwości podstawowej harmonicznej 50 Hz i pojedynczej wyższej harmonicznej. Wartości skuteczne harmonicznych dobierane są tak, aby zapewnić wymaganą do badań wartość skuteczną odkształconego prądu wtórnego i wartość skuteczną wyższej harmonicznych np. równą 5% wartości skutecznej harmonicznej podstawowej. Cyfrowy watomierz umożliwiał pomiar wartości skutecznych i przesunięć fazowych poszczególnych harmonicznych napięć i prądów po stronie pierwotnej i wtórnej transformatora wieloprądowego. Z uwagi na znaczne wartości generowanych prądów wtórnych, w tym torze pomiarowym zastosowany został wzorcowy przekładnik prądowy. Układ pomiarowy (Rys.1) pozwolił między innymi na wyznaczenie maksymalnych długości toru prądowego możliwego do przyłączenia do uzwojenia wtórnego dla danego częstotliwościowego zakresu pracy badanego transformatora wieloprądowego [6]. Ustalona wartość granicznej częstotliwości harmonicznej prądu wtórnego równej 5% wartości skutecznej harmonicznej podstawowej wynosiła 2500 Hz dla maksymalnych dopuszczalnych w danej konfiguracji sekcji uzwojenia wtórnego wartości skutecznej prądu wtórnego  $I_{2max}$  (Tab.1). Wartości przedstawione w nawiasach określają maksymalną długość dołączonego toru prądowego dla sinusoidalnego prądu wtórnego o częstotliwości 50 Hz i wartości skutecznej  $I_{2max}$ .

Tabela 1. Wartości maksymalnych długości toru prądowego dla danego częstotliwościowego zakresu pracy badanego transformatora wieloprądowego i maksymalnych dopuszczalnych wartości skutecznej prądu wtórnego [6]

Konfiguracja połączeń sekcji uzwojenia wtórnego	$I_{2max}$ [A]	$L_{max}$ [m]
Szeregowe	1350	6,8 (23,0)
Szeregowo -równoległe	2700	1,5 (6,8)
Równoległe	5400	0,2 (1,0)

Pomiary, których wyniki zostały przedstawione w tabeli 1 wykonano w warunkach, gdy zadana wartość skuteczna odkształconego napięcia zasilającego badany transformator wieloprądowy nie przekracza 230 V.

Producent zastosowanego cyfrowego watomierza deklaruje odporność urządzenia na oddziaływanie pola magnetycznego o częstotliwości sieciowej w zakresie do 3 A/m [7-8]. Najnowsze urządzenia tego typu cechują się odpornością w zakresie do 30 A/m [7][9]. Z uwagi na ogromne wartości natężenia pola magnetycznego podczas prowadzonych prób pomiarowych pochodzącego od toru prądowego konieczne jest określenie jego wpływa na dokładności zastosowanego cyfrowego watomierza. Nie wystarczający poziom odporności tego urządzenia może wpłynąć na wyznaczony częstotliwościowy zakres pracy badanego transformatora wieloprądowego.

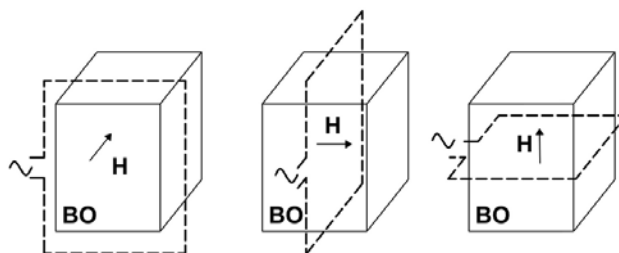
### Metodyka badań i układ pomiarowy

Zgodnie z normą [2] badania odporności urządzenia na oddziaływanie pola magnetycznego wykonuje się umieszczając wskazane urządzenie w punkcie centralnym jednozwojowej cewki zasilanej ze źródła zadaną wartością skuteczną sinusoidalnego prądu. Wtedy wartość natężenia pola magnetycznego określana jest według tabeli 2. Wymagany jest pomiar wartości skutecznej prądu cewki z dokładnością nie gorszą niż  $\pm 2\%$ .

Tabela 2. Wartości natężenia pola magnetycznego wewnątrz jednozwojowych cewek o znormalizowanych wymiarach w zależności od zadanej wartości skutecznej prądu [2]

Poziom	Wartość prądu [A] dla cewki o wym. 1 m x 1 m	Wartość prądu [A] dla cewki o wym. 1 m x 2,6 m	Natężenie pola magnetycznego [A/m]
1	1,15	1,51	1
2	3,45	4,54	3
3	11,5	15,15	10
4	34,48	45,45	30
5	114,95	151,5	100

Maksymalna dopuszczalna zawartość harmonicznych w prądzie cewki wynosi 8%. Norma nie definiuje metod badań i pomiarów odporności urządzeń na pole magnetyczne wytworzone przez prądy o częstotliwości wyższej niż 50 (60) Hz lub prądy odkształcone. Maksymalne wymiary badanego obiektu dla małej cewki wynoszą 0,6 m x 0,6 m x 0,5 m (wysokość), a dla dużej cewki 0,6 m x 0,6 m x 1 m. W przypadku zastosowania cewki o innych wymiarach konieczne jest określenie natężenia pola magnetycznego z dokładnością nie gorszą niż  $\pm 1$  dB. Badania przeprowadza się dla położenia cewki w trzech płaszczyznach X,Y i Z (Rys.2).

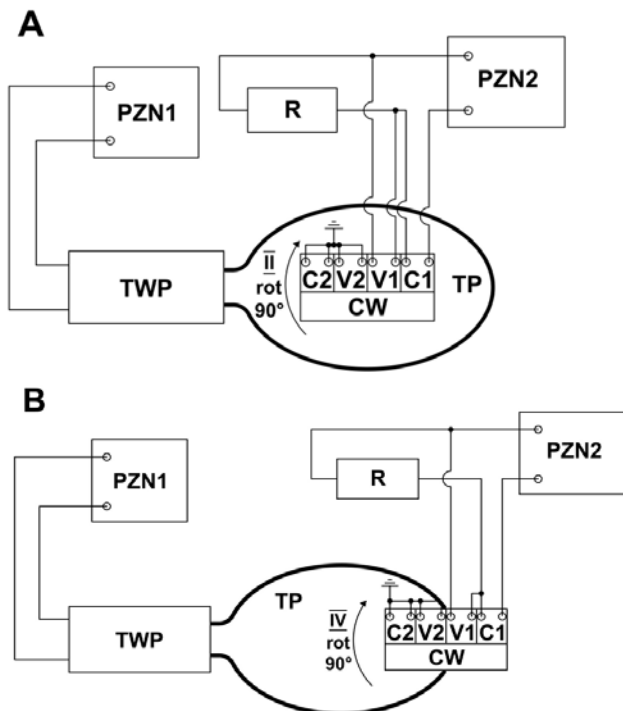


Rys. 2. Położenia cewki w trzech płaszczyznach X,Y i Z podczas badania odporności urządzeń na pole magnetyczne o częstotliwości sieciowej zgodnie z normą [2]

Zmiana położenia cewki podczas badania odporności urządzeń zgodnie z normą [2] powoduje, że wektory natężenia pola magnetycznego oddziałującego na badany obiekt w kolejnych próbach są wzajemnie ortogonalne. Zatem, obiekt zostaje narażony na maksymalne wartości pola magnetycznego ze wszystkich trzech potencjalnych

kierunków jego oddziaływania. Urządzenie poddane próbom powinno być zasilone sygnałami o wartościach znamionowych określonych w specyfikacji.

Z uwagi na konieczną do uzyskania podczas badań wartość natężenia pola magnetycznego zastosowanie cewki o znormalizowanych wymiarach i zasilanej prądem o określonej w tabeli 2 wartości skutecznej nie było możliwe. Schemat układu pomiarowego, w którym prowadzone były pomiary odporności cyfrowego watomierza na oddziaływanie pola magnetycznego o natężeniu do 400 A/m przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego, w którym prowadzone były pomiary odporności cyfrowego watomierza na oddziaływanie pola magnetycznego o natężeniu do 400 A/m.

Na rysunkach 3A i 3B zastosowano oznaczenia tożsame z rysunkiem 1, pozostałe oznaczenia:

*PZN1* – programowalne źródło napięcia zasilające transformator wieloprądowy, *PZN2* – programowalne źródło napięcia zasilające obwód pomiarowy cyfrowego watomierza, *R* – rezystor obciążający, *TP* - tor prądowy.

Układ pomiarowy na rysunkach 3A i 3B składał się z dwóch niezależnych obwodów (rys.3). Pierwszy obwód dołączony do badanego modułu cyfrowego watomierza stanowiący źródło znamionowego prądu \ napięcia dla danego zakresu pomiarowego kanału prądowego \ napięciowego. Rezystor mocy przedstawiony na rysunkach 3 stanowi obciążenie dla źródła zasilania *PZN2* i pozwala uzyskiwać wymagane do badań wartości prądów dla danych zakresów pomiarowych cyfrowego watomierza. Wartości mierzonych prądów i napięć przez moduł cyfrowego watomierza są zadawane przed załączeniem obwodu wieloprądowego generującego pole magnetyczne. Zgodnie z normą [10] nie badane kanały pomiarowe cyfrowego watomierza zostały uziemione. Drugi obwód na rysunkach 3A i 3B z transformatorem wieloprądowym służy go generacji pola magnetycznego pochodzącego od toru wieloprądowego. Podczas badań zastosowano w obu obwodach prądy sinusoidalne o częstotliwości 50 Hz i natężeniu 2 kA oraz o częstotliwości do 1 kHz i natężeniu 500 A. Ponadto, przeprowadzono próby pomiarowe dla

prądów odkształconych o wartości skutecznej 1 kA i częstotliwości podstawowej harmonicznej 50 Hz oraz pojedynczej wyższej harmonicznej o wartości 5% podstawowej harmonicznej i częstotliwości od 100 Hz do 2500 Hz. Próby pomiarowe zostały przeprowadzone dla 4 przypadków. Tor prądowy ułożony został w kształcie pętli o wymiarach 1,2 m x 0,6 m. W każdym z przypadków sprawdzone zostały wszystkie dostępne zakresy pomiarowe kanału prądowego i napięciowego. W I przypadku tor prądowy i badane urządzenie były usytuowane zgodnie z rysunkiem 3A. W II przypadku badane urządzenie zostało względem sytuacji I obrócone o 90°. Zabieg ten został zastosowany ze względu na nierównomierne rozmiary boków urządzenia i pętli prądowej. Ma na celu zapewnienie maksymalnego oddziaływania pola magnetycznego w kierunku osi Z na wszystkie elementy wewnętrzne badanego urządzenia. W III przypadku tor prądowy i badane urządzenie były usytuowane zgodnie z rysunkiem 3B. W IV przypadku badane urządzenie zostało obrócone o 90° względem usytuowania jak w przypadku III. W ten sposób wykonano sprawdzenie odporności urządzenia na oddziaływanie pola magnetycznego z kierunków X i Y (Rys.2). Do pomiaru generowanej wartości natężenia pola magnetycznego przez tor wieloprądowy wykorzystany został miernik Tracer MR100S.

### Wyniki badań

Pierwszy etap badań obejmował analizę oddziaływania pola magnetycznego na cyfrowy watomierz w warunkach, w których prowadzone były pomiary dopuszczalnej długości toru prądowego dla wymaganego częstotliwościowego zakresu pracy transformatora wieloprądowego (rys.1) - tor prądowy znajdował się w odległości około 2 m od urządzenia pomiarowego. Maksymalna wartość zarejestrowanego pola magnetycznego podczas prób pomiarowych transformatora w odległości około 0,5 m od toru prądowego wynosiła 400 A/m, natomiast wartość maksymalnego natężenia pola magnetycznego w pobliżu cyfrowego watomierza wynosiła 4 A/m. Nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na wskazania i poprawność działania kanału napięciowego cyfrowego watomierza. Oznacza to, że podczas prób pomiarowych dotyczących wyznaczania dopuszczalnej długości toru prądowego dla wymaganego częstotliwościowego zakresu pracy transformatora wieloprądowego nie nastąpiło obniżenie dokładności pomiarów ze względu na wpływ pola magnetycznego.

Kolejne próby pomiarowe dotyczyły badania odporności cyfrowego watomierza na oddziaływanie pola magnetycznego w przypadku, gdy tor prądowy znajduje się w niewielkiej odległości od tego urządzenia. Podczas wszystkich przeprowadzonych prób pomiarowych nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na wskazywaną wartość prądu przez kanał prądowy cyfrowego watomierza. Ponadto, podczas badań, gdy tor prądowy umieszczony został pod badanym urządzeniem, bez względu na wartość skuteczną i rodzaj zadanego prądu oraz kąt obrotu obiektu także nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na wskazania i poprawność działania kanału napięciowego cyfrowego watomierza. Jedynie podczas próby pomiarowej kiedy badane urządzenie zostało umieszczone wewnątrz pętli z toru prądowego zgodnie z rysunkiem 3A (przypadek I) zarejestrowano wpływ pola magnetycznego na badane urządzenia, jednak tylko dla sinusoidalnego prądu o częstotliwości 50 Hz i natężeniu 2 kA. Maksymalna wartość zarejestrowanego pola w pobliżu obiektu wynosiła 400 A/m. W tym przypadku bez względu na zakres pomiarowy wartość skuteczna mierzonego napięcia przez cyfrowy watomierz wzrosła

o około 0,05 V w stosunku do wartości początkowych przy braku wpływu pola magnetycznego. Zmniejszenie natężenia prądu w torze prądowym powodowało proporcjonalne obniżenie wartości dodatkowego napięcia rejestrowanego przez cyfrowy watomierz. Dla natężenia prądu o wartości skutecznej 1 kA dodatkowy wzrost wskazań kanału napięciowego watomierza nie występował. W przypadku prób pomiarowych prądem sinusoidalnym o częstotliwości powyżej 50 Hz oraz prądem odkształconym w tej samej konfiguracji układu pomiarowego (przypadek I) wpływ pola magnetycznego na wskazania kanału napięciowego nie wystąpił ponieważ wartość skuteczna prądu w torze wieloprądowym nie przekraczała 1 kA.

Dodatkowo, wykonane serie pomiarowe dla prądów sinusoidalnych o częstotliwościach od 50 Hz do 1 kHz wykazały, że w badanym zakresie wartość natężenia pola magnetycznego nie zależy od częstotliwości prądu płynącego w torze prądowym. Ponadto, na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wartość natężenia pola magnetycznego wywołanego przepływem prądu odkształconego z pojedynczą harmoniczną jest sumą geometryczną wartości natężenia pola magnetycznego spowodowanego przepływem prądu o częstotliwości 50 Hz i wartości natężenia pola magnetycznego wywołanego przepływem prądu o wyższej częstotliwości:

$$(1) \quad H_k = \sqrt{H_{50\text{Hz}}^2 + (k \cdot H_{kh})^2}$$

gdzie:  $H_k$  – wartość natężenia pola magnetycznego wynikająca z przepływu prądu odkształconego,  $H_{50\text{Hz}}$  – wartość natężenia pola magnetycznego wynikająca z przepływu prądu sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz,  $H_{kh}$  – wartość natężenia pola magnetycznego wynikająca z przepływu prądu sinusoidalnego o wyższej częstotliwości,  $k$  – procentowa wartość udziału wyższej harmonicznej w prądzie odkształconym.

## Wnioski

Maksymalna wartość zarejestrowanego pola magnetycznego podczas prób pomiarowych w warunkach, w których prowadzone były pomiary dopuszczalnej długości toru prądowego dla wymaganego częstotliwościowego zakresu pracy transformatora wieloprądowego wynosiła 400 A/m, natomiast wartość maksymalnego natężenia pola magnetycznego w pobliżu cyfrowego watomierza wynosiła 4 A/m. Nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na wskazania i poprawność działania cyfrowego watomierza.

W przypadku, gdy maksymalna wartość zarejestrowanego pola w pobliżu obiektu wynosiła 400 A/m, bez względu na zakres pomiarowy, wartość skuteczna mierzonego napięcia przez cyfrowy watomierz wzrosła o około 0,05 V w stosunku do wartości początkowych przy braku wpływu pola magnetycznego. Mimo, że producent zastosowanego cyfrowego watomierza deklaruje odporność urządzenia na oddziaływanie pola magnetycznego

o częstotliwości sieciowej zgodnie z normą PN-EN 61326-1 w zakresie do 3 A/m, w przypadku prób pomiarowych prądem sinusoidalnym o częstotliwości od 50 Hz do 1 kHz i prądem odkształconym, gdy wartość generowanego natężenia pola magnetycznego w pobliżu urządzenia nie przekraczała 200 A/m, wpływ pola magnetycznego na wskazania kanału napięciowego nie wystąpił. Podczas wszystkich przeprowadzonych prób pomiarowych nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na wskazywaną wartość prądu przez kanał prądowy cyfrowego watomierza. Ponadto, gdy tor prądowy umieszczony został pod badanym urządzeniem, bez względu na wartość skuteczną i rodzaj zadanego prądu oraz kąt obrotu obiektu także nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na wskazania i poprawność działania kanału napięciowego cyfrowego watomierza.

**Autorzy:** dr hab. inż. Michał Kaczmarek, Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Instytut Elektroenergetyki, ul. Stefanowskiego 18/22, 90 - 924 Łódź, [michal.kaczmarek@p.lodz.pl](mailto:michal.kaczmarek@p.lodz.pl); mgr inż. Ernest Stano, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, ul. Stefanowskiego 18/22, 90 - 924 Łódź, [ernest.stano@p.lodz.pl](mailto:ernest.stano@p.lodz.pl).

## LITERATURA

- [1] PN-EN 61000-6-2: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 6-2: Normy ogólne - Odporność w środowiskach przemysłowych, PKN, 2008.
- [2] PN-EN 61000-4-8: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-8: Metody badań i pomiarów - Badanie odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej, PKN, 2010.
- [3] PN-EN 61869-3: Przekładniki -- Część 2: Wymagania szczegółowe dotyczące przekładników napięciowych indukcyjnych, PKN, 2011.
- [4] PN-EN 61869-2: Przekładniki -- Część 3: Wymagania szczegółowe dotyczące przekładników prądowych, PKN, 2013.
- [5] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych, PKN, 2010.
- [6] Stano E., Wymagane właściwości transformatora wieloprądowego do zasilania układu pomiarowego przeznaczonego do sprawdzania dokładności indukcyjnych przekładników prądowych podczas transformacji przebiegów odkształconych, Paca magisterska, PL, 2018.
- [7] PN-EN 61326-1: Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach - Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) - Część 1: Wymagania ogólne, PKN, 2013.
- [8] Yokogawa WT1600 Digital Power Meter, User's Manual, 4th Edition: April 2004.
- [9] Yokogawa WT1801E, WT1802E, WT1803E, WT1804E, WT1805E, WT1806E Precision Power Analyzer. Getting Started Guide, 3rd Edition: October 2017.
- [10] PN-EN 61326-2-1: Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach - Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) - Część 2-1: Wymagania szczegółowe - Konfiguracje badane, warunki pracy i kryteria jakości odnoszące się do czułego wyposażenia badawczego i pomiarowego do zastosowań w środowiskach niechronionych pod względem EMC, PKN, 2013.