

Marek WOŁOSZYK

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI

Dobór odmiany metody podharmonicznej do filtracji zakłóceń w pomiarach rezystancji uziemienia

Dr inż. Marek WOŁOSZYK

Uzyskał dyplom magistra inżyniera na Wydz. Elektrycznym Politechniki Gdańskiej w 1978r. w zakresie przetwarzania i użytkowania energii elektrycznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał na tym samym wydziale w 1988r. Obecnie pracuje jako st. wykładowca w Katedrze Metrologii i Systemów Informatycznych Wydz. Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Główny kierunek działalności naukowej związany jest ze statycznymi i udarowymi metodami pomiarów uziemień.

e-mail: m.woloszyk@ely.pg.gda.pl



Streszczenie

Istotnym problemem występującym podczas badania uziemień przeznaczonych do pracy przy częstotliwościach technicznych jest wpływ zakłóceń na wynik pomiaru. Bardzo dobre efekty w eliminacji tych zakłóceń można osiągnąć wykorzystując metodę szczególnego próbkowania (MSP) przy jednoczesnym zastosowaniu prądu pomiarowego o częstotliwości będącej podharmoniczną w odniesieniu do częstotliwości sygnałów zakłócających. W artykule przedstawiono kryteria doboru konkretnej realizacji metody oraz uzyskane efekty filtracji zakłóceń.

Słowa kluczowe: uziemienie, zakłócenia, filtracja, podharmoniczna.

Selection of a subharmonic method variant for filtering interferences in the measurement of grounding resistance

Abstract

Influence of interferences on the measurement results constitutes considerably significant problem in the course of testing grounding designed to operate at technical frequencies. Application of the method of particular sampling (PSM) with a test current of a frequency being a subharmonic in respect to the interference signals frequency is very effective in eliminating such interferences. Criteria of selection of particular variant of implementing the method and obtained results of interferences filtration have been presented in this article.

Keywords: grounding, interferences, filtration, subharmonic.

1. Pomiary rezystancji uziemienia w obecności zakłóceń

W trakcie pomiarów rezystancji statycznej uziemień metodami niskoprądowymi istotny problem stanowi wpływ zakłóceń na wynik pomiaru. Jest to szczególnie widoczne przy pomiarach na obszarach o dużym nasyceniu urządzeniami elektroenergetycznymi, a także w okolicy urządzeń trakcyjnych powodujących przepływ w gruncie prądu stałego.

W stosowanych obecnie miernikach rezystancji uziemienia najczęściej wykorzystuje się metodę techniczną wyznaczając wartość rezystancji na podstawie zmierzonych wartości generowanego prądu pomiarowego oraz wywołanego przezeń spadku napięcia na uziemieniu [1-3]. W miernikach tych wykorzystuje się prąd o wartościach nieprzekraczających 300mA. W trakcie wybranych pomiarów rezystancji uziemienia pracującego w systemie uziemień przy użyciu cęgów prądowych [2-4], użyteczny prąd pomiarowy jest wielokrotnie mniejszy i może nawet osiągać wartości pojedynczych miliamperów. Oznacza to, że wartości sygnałów zakłócających mogą być wielokrotnie większe od sygnałów pomiarowych.

W celu zmniejszenia wpływu zakłóceń na wynik pomiaru wykorzystuje się zazwyczaj prąd pomiarowy o częstotliwości nie mającej niskich harmonicznych wspólnych z harmonicznymi

sygnałów zakłócających. Dla sieci europejskich o częstotliwości 50Hz najczęściej jest to częstotliwość 128 Hz. Skuteczność metod wykorzystujących ten sposób eliminacji zakłóceń jest ograniczona, wobec czego współczesne mierniki w przypadku stwierdzenia nadmiernego poziomu zakłóceń sygnalizują ten fakt łącznie z wyświetlanym wynikiem lub blokują możliwość wykonania pomiaru.

Znacznie lepszą efektywność filtracji sygnałów zakłócających o wartościach wielokrotnie przekraczających poziom sygnału pomiarowego można uzyskać stosując metodę szczególnego próbkowania [5-8], z jednoczesnym wykorzystaniem prądu pomiarowego o częstotliwości stanowiącej podharmoniczną w odniesieniu do częstotliwości sieci [9, 10]. Ta niezwykle prosta w realizacji metoda umożliwia szybki pomiar harmonicznej podstawowej przebiegu badanego z całkowitą eliminacją wpływu składowej stałej, wszystkich harmonicznych parzystych oraz wybranych harmonicznych nieparzystych. Dodatkową jej zaletą jest niewystępowanie zjawiska aliasingu charakterystycznego dla metod bazujących na transformacji Fouriera [11].

Duża szybkość działania oraz niskie wymagania sprzętowe metody szczególnego próbkowania są konsekwencją bardzo ograniczonej liczby próbek koniecznych do wykonania pomiaru oraz z faktu, iż wykonywane operacje matematyczne obejmują prawie wyłącznie sumowanie. Liczbę wymaganych próbek można dodatkowo zmniejszyć przyjmując do eliminacji ograniczoną liczbę niższych harmonicznych nieparzystych, wprowadzając jednocześnie tłumienie harmonicznych niewyeliminowanych.

2. Eliminacja zakłóceń metodą podharmonicznej

Metoda szczególnego próbkowania (MSP) umożliwia selektywne wyznaczenie harmonicznej podstawowej z jednoczesną eliminacją składowej stałej oraz wszystkich harmonicznych parzystych przebiegu badanego. Stosując tą metodę do filtracji zakłóceń należy wymusić przepływ przez badane uziemienie prądu pomiarowego o częstotliwości 25Hz, a więc podharmonicznej w stosunku do częstotliwości sieciowej [9, 10]. Przebiegi zakłócające o częstotliwości 50Hz wraz z ich wyższymi harmonicznymi stają się w takim przypadku harmonicznymi parzystymi sygnału testowego i jako takie są niezwykle skutecznie eliminowane przez MSP.

Pomiar rezystancji uziemienia wykorzystujący omawiany sposób filtracji zakłóceń można wykonać przy użyciu metody technicznej, w której mierzy się prąd przepływający przez badane uziemienie oraz wywołany przez ten prąd spadek napięcia na uziemieniu w odniesieniu do strefy ustalonego potencjału.

W przypadku idealnym generowany prąd pomiarowy I_g oraz wywołany przezeń spadek napięcia U_g na uziemieniu badanym są przebiegami sinusoidalnymi o okresie T_g . Wartości chwilowe tych sygnałów opisują zależności:

$$i_g(x) = I_1 \cdot \sin x \quad (1)$$

$$u_g(x) = U_1 \cdot \sin(x + \alpha_1) \quad (2)$$

gdzie: α_1 - przesunięcie fazowe napięcia w stosunku do prądu generowanego, x - argument wyrażony wzorem:

$$x = \omega \cdot t = 2\pi \cdot \frac{t}{T_g} \quad (3)$$

W gruncie mogą występować prądy zakłócające, zarówno stałe jak i przemienne o częstotliwości sieciowej. Pomiedzy uziemieniem badanym, a sondą pomocniczą umieszczoną w strefie ustalonego potencjału pojawiają się wówczas dodatkowe spadki napięcia. Dla prądu generowanego o częstotliwości 25 Hz, stanowiącej pierwszą podharmoniczną częstotliwości sieciowej, zakłócające spadki napięcia można opisać zależnością:

$$u_z(x) = U_0 + \sum_{k=1} U_{2k} \cdot \sin(2kx + \alpha_{2k}) \quad , \quad (4)$$

gdzie: k - numer porządkowy harmonicznej przebiegu zakłócającego w odniesieniu do częstotliwości sieci, $(2k)$ - numer porządkowy harmonicznej przebiegu zakłócającego w odniesieniu do częstotliwości generowanego prądu pomiarowego, U_0 - składowa stała przebiegu zakłócającego, U_{2k} - amplitudy kolejnych harmonicznych przebiegu zakłócającego, α_{2k} - przesunięcie fazowe kolejnych harmonicznych przebiegu zakłócającego w odniesieniu do generowanego prądu pomiarowego.

Do wejścia napięciowego układu pomiarowego doprowadzany jest sygnał stanowiący sumę spadków napięcia od generowanego prądu pomiarowego oraz sygnałów zakłócających:

$$u_x(x) = u_g(x) + u_z(x) = U_0 + U_1 \cdot \sin(x + \alpha_1) + \sum_{k=1} U_{2k} \cdot \sin(2kx + \alpha_{2k}) \quad (5)$$

Sygnał u_x próbkowany jest w wybranych chwilach czasowych, a następnie zgodnie z zasadami MSP [5-8] z wartości pobranych próbek tworzone są odpowiednie sumy i różnice.

W najprostszej odmianie metody szczególnego próbkowania, aby wyznaczyć chwile pobierania próbek, tworzy się w pierwszej kolejności sumę pomocniczą według zależności:

$$s(x) = u_x(x + \gamma) + u_x(x - \gamma) \quad , \quad (6)$$

gdzie: γ - kąt fazowy dobierany arbitralnie w zależności od liczby eliminowanych harmonicznych nieparzystych spadku napięcia u_g , a następnie różnicę dwóch sum pomocniczych:

$$r(x) = s(x + \frac{\pi}{2}) - s(x - \frac{\pi}{2}) \quad . \quad (7)$$

Podstawiając do powyższego wzoru zależności (5) i (6) otrzymuje się:

$$r(x) = 2 \sin \frac{\pi}{2} \cdot 2 \cos \gamma \cdot U_1 \cdot \cos(x + \alpha_1) + \sum_{k=1} 2 \sin(2k \frac{\pi}{2}) \cdot 2 \cos(2k\gamma) \cdot U_{2k} \cdot \cos(2kx + \alpha_{2k}) \quad (8)$$

Ponieważ $\sin(2k \frac{\pi}{2}) = 0$ oraz $\sin \frac{\pi}{2} = 1$ zależność (8) przyjmuje ostatecznie postać:

$$r(x) = 4 \cos \gamma \cdot U_1 \cdot \cos(x + \alpha_1) \quad . \quad (9)$$

Wartość powyższego wyrażenia zależy proporcjonalnie od harmonicznej podstawowej U_1 spadku napięcia wywołanego przepływem prądu pomiarowego I_g . Jest ona także wolna od sygnałów zakłócających zarówno stałych (U_0) jak i przemienne o częstotliwości sieciowej wraz ze wszystkimi wyższymi harmonicznymi tej częstotliwości (U_{2k}).

W najprostszej wersji metody szczególnego próbkowania, w której eliminuje się jedynie 3-cią harmoniczną nieparzystą napięcia u_g , znajomość kąta γ wystarcza do wyznaczenia chwil pobierania próbek (w tym przypadku zaledwie 8-u) pozwalających na wyznaczenie dwóch składowych wektora mierzzonego sygnału.

Dla większej liczby eliminowanych harmonicznych nieparzystych sygnału u_g , liczba pobieranych próbek oczywiście wzrasta.

Na podstawie wartości pobranych próbek można wyznaczyć dwie składowe spadku napięcia na badanym uziemieniu: U_{1Re} zgodną z prądem I_1 oraz U_{1Im} ortogonalną do tego prądu. W podobny sposób wyznacza się wartość harmonicznej podstawowej prądu I_1 przepływającego przez badane uziemienie.

Końcowy wynik pomiaru rezystancji uziemienia R_X wyznaczony jest w mikrokontrolerze jako:

$$R_X = \frac{U_{1Re}}{I_1} \quad . \quad (10)$$

Jeżeli zamiast rezystancji wyznaczana jest wartość impedancji uziemienia Z_X należy uwzględnić fakt, iż częstotliwość prądu, dla którego uziemienie ma spełniać swoje zadanie jest dwukrotnie większa od częstotliwości sygnału pomiarowego. Wynik pomiaru należy więc określić zgodnie z zależnością:

$$Z_X = \frac{1}{I_1} \cdot \sqrt{U_{1Re}^2 + 4 \cdot U_{1Im}^2} \quad , \quad (11)$$

gdzie: U_{1Re} - składowa spadku napięcia zgodna w fazie z prądem I_1 , U_{1Im} - składowa spadku napięcia ortogonalna do prądu I_1 .

Wynik pomiaru impedancji lub rezystancji badanego uziemienia jest wolny od wpływu sygnałów zakłócających stałych oraz przemienne o częstotliwości sieciowej.

3. Dobór wersji MSP

Wygenerowanie sinusoidalnego prądu pomiarowego przy dość znacznej mocy nastęrcza wielu problemów. Z drugiej zaś strony najłatwiej jest wytworzyć prąd o kształcie zbliżonym do prostokątnego zawierający jednakże dużą ilość harmonicznych nieparzystych. Harmoniczne te mają wartości wielokrotnie mniejsze od zewnętrznych sygnałów zakłócających jednakże i one mogą powodować powstawanie błędów pomiarowych.

Eliminacja wpływu harmonicznych parzystych oraz składowej stałej nie nastęrcza w omawianej metodzie żadnych problemów. Istotny wpływ na wynik pomiaru może mieć natomiast zawartość harmonicznych nieparzystych w prądzie pomiarowym [10]. W zależności od kształtu wymuszanego w uziemieniu prądu, musi być odpowiednio dobrana wersja MSP, a co za tym idzie, liczba próbek wyznaczanych w ciągu okresu sygnału testowego oraz częstotliwość taktowania. Ma to istotny wpływ na stopień złożoności oraz koszt układu pomiarowego.

Aby zilustrować ten problem, w tabeli 1 zestawiono podstawowe właściwości kilku wersji MSP umożliwiających eliminację harmonicznych nieparzystych od 3 do 13-tej.

Z analizy danych zawartych w powyższej tabeli wynika, iż eliminując harmoniczną nieparzystą o danym numerze porządkowym eliminuje się jednocześnie wszystkie harmoniczne odpowiadające krotnościom tego numeru. Widać ponadto, że zwiększanie liczby eliminowanych harmonicznych wpływa również na poprawę tłumienia harmonicznych niewyeliminowanych. Z drugiej jednak strony powoduje ono zwiększenie liczby pobieranych próbek, a co gorsza gwałtowny wzrost wymaganej minimalnej częstotliwości taktowania.

Aby poprawić tłumienie harmonicznych niewyeliminowanych bez konieczności stosowania wysokich częstotliwości taktujących można zastosować zabieg tłumienia wspólnego dla kilku harmonicznych. Polega on na tym, że eliminacji poddaje się ograniczoną liczbę niższych harmonicznych nieparzystych oraz wybrane harmoniczne parzyste (wyeliminowane już na samym wstępie) o numerach pośrednich w odniesieniu do harmonicznych poddawanych celowemu tłumieniu. Np. porównując wersje metody MSP-„3-7” z tabeli 1 i MSP-„3-7/12” przedstawionej w tabeli 2, widać że eliminując nieistniejącą 12-tą harmoniczną poprawia się ok. 8-krotnie tłumienie harmonicznych 11 i 13-tej. Stosując „eli-

minację pozorną” harmonicznych parzystych można również tak dobrać te harmoniczne, aby utrzymać na niskim poziomie częstotliwość taktowania.

Jedną z podstawowych zalet metody szczególnego próbkowania jest jej niezwykła prostota i łatwość stosowania, a co za tym idzie szybkość działania i niskie wymagania sprzętowe. Nie wydaje się więc celowe stosowanie odmian MSP wymagających częstotliwości taktujących liczonych w MHz - tym segmencie inne metody będą bardziej efektywne.

Analizując dane zawarte w tabelach 1 i 2 można stwierdzić, że dla prostszych rozwiązań lub niezbyt odształconych sygnałów wersja MSP-„3-7” zapewnia już spore możliwości (eliminację wpływu do 10-tej harmonicznej), przy czym wymaga pobrania zaledwie 32 próbek przy minimalnej częstotliwości taktującej o wartości 21 kHz (dla sygnałów badanych 50 Hz). Przy wyższych wymaganiach duże możliwości zapewnia wersja MSP-„3-7/12,20”, która eliminuje wpływ do 9-tej harmonicznej i tłumi 15..30-krotnie do 27-ej harmonicznej, wymagając zaledwie 64 próbek pobranych przy częstotliwości taktującej nie mniejszej niż 84 kHz.

4. Błędy pomiarowe

Błędy pomiarowe przy wyznaczaniu parametrów uziemienia metodą podharmonicznej wynikają zarówno z niedoskonałości i uproszczeń samej metody jak również z przyczyn zewnętrznych nie związanych z przyrządem pomiarowym, lecz z obiektem badanym.

Tab. 1. Porównanie właściwości MSP dla różnej liczby eliminowanych harmonicznych

Tab. 1. Comparison of the properties of PSM for various number of eliminated harmonics

Odmiana metody	„ 3 ”	„ 3-5 ”	„ 3-7 ”	„ 3-11 ”	„ 3-13 ”	
Eliminowane harm. nieparz.	3	3;5	3;5;7	3;5;7; 11	3;5;7; 11;13	
Min. częstotl. próbk. [kHz]	0,6	3	21	231	3 003	
liczba próbek	8	16	32	64	128	
L.p.	nr harm.	Współcz. wzmocnienia dla harmonicznych				
1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1
3	2n	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0
5	5	-1	0	0	0	0
6	7	-1	0,62	0	0	0
7	9	0	0	0	0	0
8	11	1	-1	0,80	0	0
9	13	1	-0,62	0,62	-0,18	0
10	15	0	0	0	0	0
11	17	-1	-0,62	0,50	-0,38	0,18
12	19	-1	-1	0,45	-0,41	0,27
13	21	0	0	0	0	0
14	23	1	0,62	0,28	-0,28	0,26
15	25	1	0	0	0	0
16	27	0	0	0	0	0
17	29	-1	1	1	-0,55	0,51
18	31	-1	1	0,80	-0,23	0,19
19	33	0	0	0	0	0
20	35	1	0	0	0	0
21	37	1	0,62	-0,28	-0,15	0,04
22	39	0	0	0	0	0
23	41	-1	-1	1	0,92	0,22
24	43	-1	-0,62	0,62	0,62	0,29
25	45	0	0	0	0	0

Tab. 2. Porównanie właściwości MSP dla różnej liczby eliminowanych i tłumionych harmonicznych

Tab. 2. Comparison of the properties of PSM for various number of eliminated and reduced harmonics

Odmiana metody	„ 3-7 / 12 ”	„ 3-7 / 12,18 ”	„ 3-7 / 12,20 ”	„ 3-11 / 15 ”	„ 3-11 / 18 ”	
Eliminowane (tłumione) harm.	3;5;7; (11,13)	3;5;7; (11-19)	3;5;7; (11-23)	3;5;7;11 (13-19)	3;5;7;11 (13-23)	
Min. częstotl. próbk. [kHz]	84	252	84	231	1 386	
liczba próbek	32	64	64	64	64	
L.p.	nr harm.	Współcz. wzmocnienia dla harmonicznych				
1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1
3	2n	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0
5	5	0	0	0	0	0
6	7	0	0	0	0	0
7	9	0	0	0	0	0
8	11	0,11	0,06	0,07	0	0
9	13	-0,08	-0,04	-0,04	-0,04	-0,07
10	15	0	0	0	0	0
11	17	-0,30	-0,03	-0,07	0,08	-0,03
12	19	-0,36	0,03	-0,03	0,17	0,04
13	21	0	0	0	0	0
14	23	-0,28	0,12	0,06	0,21	0,12
15	25	0	0	0	0	0
16	27	0	0	0	0	0
17	29	-0,28	0,66	0,52	0,55	0,45
18	31	-0,50	0,45	0,38	0,23	0,21
19	33	0	0	0	0	0
20	35	0	0	0	0	0
21	37	-0,04	0,04	0,04	0,11	0,15
22	39	0	0	0	0	0
23	41	0,61	-0,56	-0,61	-0,38	-0,84
24	43	0,50	-0,41	-0,48	-0,13	-0,51
25	45	0	0	0	0	0

Błędy od niewyeliminowanych harmonicznych prądu pomiarowego, przy prawidłowym doborze wersji metody szczególnego próbkowania, można bez problemu utrzymać na poziomie poniżej 0,5%. Inne błędy składowe charakterystyczne dla MSP również nie przekraczają poziomu 1% już przy zastosowaniu prostych środków technicznych [10].

W celu sprawdzenia wpływu na dokładność pomiaru czynników niezależnych od konstruktora, przeprowadzono szereg symulacji komputerowych oraz wykonano wstępne badania modelu urządzenia realizującego pomiar rezystancji i impedancji uziemienia z eliminacją zakłóceń metodą podharmonicznej. W urządzeniu tym realizowana jest modyfikacja wersji MSP-„3-7/12,20”.

W ramach badań wyznaczano wartości maksymalne błędów pomiaru impedancji uziemienia w obecności zewnętrznych sygnałów zakłócających. Błędy te, zobrazowane w formie wykresów na rysunkach 1, 2 i 3, określane były według wzoru:

$$\delta Z_X = \frac{Z_{ZX} - Z_X}{Z_X} \quad (12)$$

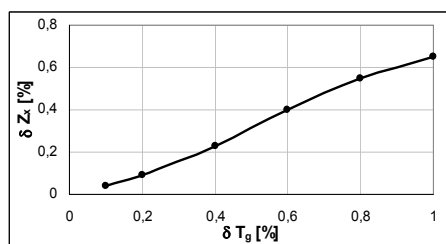
W powyższej zależności Z_X oznacza wartość impedancji uziemienia wyznaczoną zgodnie z wzorem (11) dla niezakłóconego sygnału pomiarowego. Impedancja Z_{ZX} wyznaczana jest analogicznie, jednakże w obecności zewnętrznych sygnałów zakłócających.

Na rysunku 1 przedstawiono wpływ błędu częstotliwości, rozumianego jako odchyłka od założonego stosunku podziału częstotliwości sygnałów zakłócającego do pomiarowego. W przypad-

ku idealnym wartość tego stosunku wynosi 2 i wówczas częstotliwość sygnału pomiarowego jest dokładnie podharmoniczną sygnału zakłócającego. Amplitudy sygnałów pomiarowego i zakłócającego przyjęto w tym przykładzie identyczne. Odchyłka okresu zaznaczona na osi odciętych poniższego wykresu definiowana jest jako

$$\delta T_g [\%] = 100 \cdot \frac{T_g - 2T_z}{2T_z} \quad (13)$$

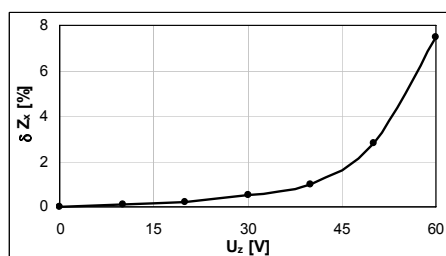
gdzie: T_g – okres generowanego prądu pomiarowego, T_z – okres składowej podstawowej sygnału zakłócającego.



Rys. 1. Błąd wyznaczenia impedancji uziemienia w funkcji odchyłki stosunku okresów przebiegu pomiarowego i zakłócającego

Fig. 1. Grounding impedance measurement error as a function of deviation of test to network period ratio

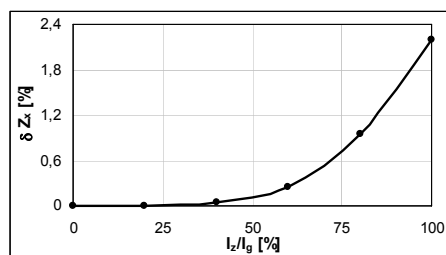
Przeprowadzono także badania modelu urządzenia w obecności sygnałów zakłócających, podawanych bezpośrednio na wejścia pomiarowe urządzenia. Na rysunku 2 pokazano wpływ napięcia o częstotliwości 50Hz i wartości do 60V.



Rys. 2. Błąd wyznaczenia impedancji uziemienia w funkcji wartości sygnału zakłócającego (50Hz)

Fig. 2. Error of impedance measurement as a function of interference (50Hz)

Na rysunku 3 przedstawiono z kolei wpływ prądów upływnościowych, które odprowadzane przez uziemienie w trakcie pomiaru, mogą sumować się z prądem pomiarowy. Błąd wyznaczenia impedancji uziemienia przedstawiony jest w tym przypadku w funkcji stosunku wartości prądu zakłócającego I_z do generowanego prądu pomiarowego I_g .



Rys. 3. Błąd wyznaczenia impedancji uziemienia w funkcji stosunku wartości prądu zakłócającego do generowanego prądu pomiarowego

Fig. 3. Impedance measurement error as a function of interference to test currents ratio

Przeprowadzone badania potwierdziły pełną przydatność rozpatrywanych metod do badania parametrów uziemień w warunkach silnych zakłóceń zewnętrznych. Dla wartości sygnałów zakłócających, z jakimi należy się liczyć w warunkach rzeczywistych, nie stwierdzono błędów przekraczających 1%. Należy przy tym zaznaczyć, iż pomiary rezystancji uziemień w środowiskach silnie zakłóconych z dokładnością rzędu 10% w praktyce uznawane są jako całkowicie zadowalające.

5. Podsumowanie

Wyznaczanie rezystancji (lub impedancji) uziemienia metodą podharmonicznej daje bardzo dobre efekty nawet w obecności zewnętrznych sygnałów zakłócających o wartościach znacznie przekraczających wartości występujące w praktyce na obszarach silnie uprzemysłowionych. Jest to tym cenniejsze, że efekty takie można uzyskać przy użyciu bardzo prostych środków technicznych.

Atrakcyjność omawianej metody wiąże się przede wszystkim z jej prostotą. Przy pomiarach uziemień z zastosowaniem sygnału testowego o częstotliwości 25 Hz w pełni zadowalające efekty można osiągnąć już przy pobieraniu 32..64 próbek w czasie jednego okresu i to przy częstotliwości taktowania rzędu 20..85 kHz. Zwiększenie wymagań, co do dokładności pomiaru lub znaczące zwiększenie częstotliwości badanego sygnału prowadzi jednakże dosyć szybko do zwiększenia wymagań i komplikacji układu pomiarowego.

Omawiana metoda w niedalekiej przyszłości powinna pozwolić na skonstruowanie nowego miernika rezystancji lub impedancji uziemienia o bardzo dobrych właściwościach metrologicznych i eksploatacyjnych.

6. Literatura

- [1] H. Markiewicz: Bezpieczeństwo w elektroenergetyce, WNT, Warszawa, 2002.
- [2] Miernik rezystancji uziemień typ MRU-100 MRU-101, SONEL S.A., Materiały firmowe.
- [3] Electrical grounding techniques, LEM Instruments Inc., www.primoinc.com, Materiały firmowe.
- [4] M. Wołoszyk: Dobór sposobu autokalibracji cęgów prądowych wykorzystywanych do pomiarów rezystancji uziemienia, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 9(bis)/2006.
- [5] J. Sawicki: The Finding of the Vector of the Fundamental Harmonic by the Method of a Particular Sampling, XI IMEKO Wrlld Congress, Houston (USA), 1988.
- [6] M. Wołoszyk: Rationalised Method of Particular Sampling for the Measurement of the Fundamental Harmonic. XII IMEKO Wrlld Congress, Beijing (China), 1991.
- [7] J. Sawicki: Modification of Particular Sampling Method, XIII IMEKO Wrlld Congress, Torino (Italy), 1994.
- [8] M. Wołoszyk, J. Sawicki: Wyznaczanie wektora wybranej harmonicznej nieparzystej przebiegu odkształconego metodą szczególnego próbkowania, Zesz. Nauk. Politechniki Rzeszowskiej, Elektrotechnika z. 22/2001.
- [9] M. Wołoszyk: Wyznaczanie impedancji uziemienia w obecności zakłóceń metodą podharmonicznej. Krajowy Kongres Metrologii KKM'2001, Warszawa, 2001.
- [10] M. Wołoszyk: Filtering of interference signals of grounding resistance measurement with subharmonic method, Metrology and Measurements Systems, nr 4/2002.
- [11] M. Galewski: Metoda szczególnego próbkowania a FFT w pomiarach elektroenergetycznych, Zesz. Nauk. Politechniki Rzeszowskiej, Elektrotechnika z. 22/2001.
- [12] M. Wołoszyk, M. Galewski: Błąd zaokrążeń w metodzie szczególnego próbkowania, Krajowy Kongres Metrologii, Politechnika Gdańska, 1998.