

**Marek WOŁOSZYK**

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI

## Wpływ zewnętrznych czynników zakłócających na dokładność pomiarów rezystancji statycznej i udarowej uziemień

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 starszy wykładowca w Katedrze Metrologii i Systemów Informacyjnych Wydz. Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Główny kierunek działalności naukowej związany jest ze statycznymi i udarowymi metodami pomiarów uziemień.



e-mail: mawo@ely.pg.gda.pl

### Streszczenie

Podstawowym parametrem charakteryzującym skuteczność działania uziemienia jest jego rezystancja. Dla uziemień odgromowych powinna ona być wyznaczana przy wymuszeniu udarowym zaś dla uziemień ochronnych i roboczych przy częstotliwościach bliskich częstotliwości sieci. W referacie omówiono wpływ czynników zakłócających takich jak prądy błądzące czy rezystancja sond pomocniczych na dokładność wyznaczania rezystancji uziemień metodą udarową oraz metodą techniczną z sygnałem pomiarowym o częstotliwości podharmonicznej w odniesieniu do częstotliwości sieci.

**Słowa kluczowe:** uziemienie, zakłócenia, metoda podharmoniczna, metoda udarowa.

### Impact of external interfering factors on the accuracy of static and impulse resistance measurement of grounding

#### Abstract

Resistance is the basic parameter which characterizes an efficiency of any grounding. Various external interfering factors are a significant problem in the course of measuring such resistance. Application of the method of particular sampling with a test current of a frequency being a subharmonic in respect to the interference signals frequency is very effective for measuring grounding operating with network frequency. Lightning grounding operates with ultra short lightning times that cause occurrence of inductance voltage drops. For this reason for lightning grounding the resistance should be determined with an impulse measurement signal. The paper describes impact of interfering factors such as stray currents or resistance of measurement probes on the accuracy of the measurement of grounding resistance.

**Keywords:** grounding, interferences, subharmonic, impulse metod.

### 1. Wstęp

Uziemienia są istotnymi elementami bezpiecznego przesyłu, rozdziału i użytkowania energii elektrycznej, a także stanowią podstawę systemu ochrony odgromowej każdego obiektu.

Prawidłowo działające uziemienie ma zapewnić utrzymanie niskiej wartości spadku napięcia na jego rezystancji w trakcie odprowadzania prądów do ziemi, co sprowadza się do warunku utrzymania małej wartości tej rezystancji. Aby zapewnić bezpieczeństwo obsługi i sprzętu należy więc kontrolować okresowo wartość rezystancji uziemienia wykorzystując do tego celu metody i narzędzia zapewniające uzyskanie wiarygodnych wyników [1-4].

### 2. Rezystancja statyczna i udarowa uziemień

Uziemienia mogą odprowadzać prądy stałe, przemienne lub udarowe (pochodzące od wyładowań atmosferycznych). Ponieważ

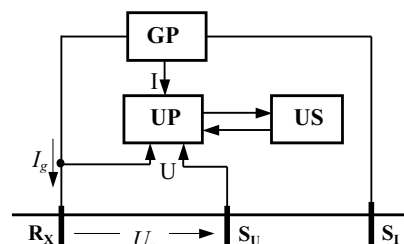
czaszy zjawisk występujących przy przepływie prądów o częstotliwości sieci (oraz jej niższych harmonicznych) mierzone są w milisekundach zaś dla prądów udarowych w mikrosekundach należy stosować zróżnicowane metody pomiarowe do oceny jakości uziemień przeznaczonych do pracy w tak różnych warunkach [5]. Właściwości uziemień podczas przepływu prądów przemiennej i stałych są nazywane właściwościami statycznymi, zaś podczas przepływu prądów udarowych - udarowymi.

Rezystancja statyczna charakteryzuje właściwości uziemień, które mają działać przy częstotliwości sieci (uziemia ochronne i robocze) oraz przy przepływie prądów stałych (w trakcji).

Rezystancję statyczną  $R_{st}$  uziemienia mierzy się zazwyczaj metodą techniczną [3, 5, 6] wyznaczając wartość badaną na podstawie zmierzonych wartości skutecznych generowanego prądu pomiarowego  $I_g$  oraz wywołanego przezeń spadku napięcia  $U_x$  na uziemieniu w odniesieniu do strefy ustalonego potencjału:

$$R_{st} = \frac{U_x}{I_g}. \quad (1)$$

Schemat blokowy układu realizującego pomiar tą metodą przedstawiono na rysunku 1. W układzie tym generator prądu GP wymusza przepływ prądu między uziemieniem badanym  $R_x$  i sondą prądową  $S_1$ . Do układu pomiarowego UP doprowadzana jest wartość prądu generowanego, a także za pośrednictwem sondy napięciowej  $S_U$  umieszczonej w strefie ustalonego potencjału, wartość spadku napięcia na rezystancji badanej  $R_x$ . Działanie całego urządzenia kontroluje układ sterujący US.



Rys. 1. Schemat blokowy układu do pomiaru rezystancji statycznej uziemienia metodą techniczną

Fig. 1. Block diagram of a circuit for measuring grounding static resistance with use of a technical method

Omawianą metodę można również zastosować do wybiórczych pomiarów rezystancji uziemienia pracującego w systemie uziemień bez odłączania tego uziemienia od systemu. W takim przypadku prąd generowany odpływa do gruntu poprzez wiele uziomów połączonych w systemie. Do miernika doprowadzana jest, poprzez dodatkowe cęgi prądowe, wartość jedynie tej części prądu, która przepływa poprzez uziemienie badane [6, 7].

W miernikach rezystancji uziemienia realizujących metodą techniczną stosuje się zazwyczaj prądy pomiarowe o wartościach nie przekraczających 300mA. W trakcie wybiórczych pomiarów rezystancji uziemienia pracującego w systemie, użyteczny prąd pomiarowy przepływający przez badane uziemienie jest wielokrotnie mniejszy i może osiągać wartości nawet pojedynczych miliamperów. Oznacza to, że wartości sygnałów zakłócających mogą być wielokrotnie większe od sygnałów pomiarowych [7].

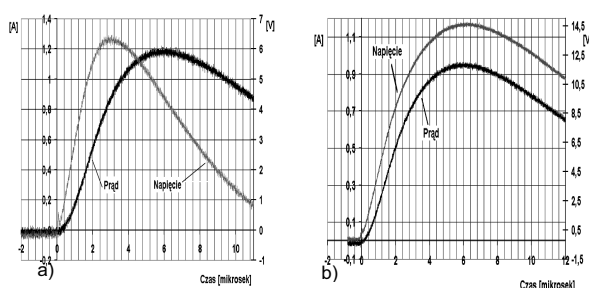
Uziemienia odgromowe mają za zadaniem odprowadzanie do gruntu prądów piorunowych o bardzo dużych wartościach  $di/dt$ . Niezwykle krótki czas trwania zjawisk udarowych sprawia, iż w ochronie odgromowej istotną rolę odgrywają indukcyjne spadki

napięcia na uziemieniach [3]. Wobec istotnych trudności z praktycznym wyznaczeniem składowej indukcyjnej uziemienia odgromowego jako miarę jego skuteczności przyjęto parametr nazywany rezystancją udarową  $R_{ud}$  opisany zależnością:

$$R_{ud} = \frac{U_{x\max}}{I_{g\max}}, \quad (2)$$

gdzie  $U_{x\max}$  oraz  $I_{g\max}$  oznaczają wartości maksymalne prądu i spadku napięcia na uziemieniu badanym. Te wartości maksymalne nie muszą występować jednocześnie [5, 8].

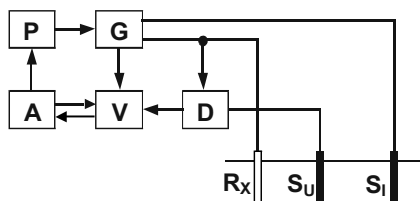
Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy oscylogram przebiegów prądu i napięcia na uziemieniu średnio rozległym - o znaczącej składowej indukcyjnej (a), a także na uziemieniu skupionym - o znikomej składowej indukcyjnej (b).



Rys. 2. Oscylogram prądu i spadku napięcia na uziomiu: a) otokowym (kratowym), b) skupionym (szpilkowym) - generowane miernikiem udarowym o napięciu ok. 1 kV

Fig. 2. Oscillograms of impulse current and voltage drop across earthing on the: a) earth grid, b) earth rod - recorded using meter charged to 1 kV

Rezystancję udarową wyznacza się w układzie pokazanym na rysunku 3. Układ ten także realizuje swoistą odmianę metody technicznej.



Rys. 3. Schemat blokowy układu do pomiaru rezystancji uziemienia metodą udarową

Fig. 3. Block diagram of a circuit for measuring grounding resistance with use of an impulse method

W układzie tym po zainicjowaniu pomiaru, blok automatyki A uruchamia przetwornicę P, która ładuje kondensator do napięcia ok. 1 kV. Po osiągnięciu odpowiedniego napięcia uruchamia się generator G wysyłając na wyjście układu udar prądowy o wartości maksymalnej ok. 1 A. Poprzez dzielnik napięcia D do układu doprowadzany jest spadek napięcia na uziemieniu badanym, którego wartość maksymalna zostaje zapamiętana w woltmierzniu stosunkowym V. Ostatecznie wartość rezystancji udarowej wyznaczana jest zgodnie z zależnością (2).

Metoda techniczna w klasycznej realizacji nie jest zbyt odporna na zakłócenia zewnętrzne. Również wartość rezystancji sond pomiarowych może dość znacznie wpływać na dokładność pomiaru. Wynika z tego faktu konieczność stosowania filtracji sygnałów pomiarowych, a w ostateczności blokowania pomiaru lub sygnalizacji możliwości występowania błędów o nadmiernych wartościach.

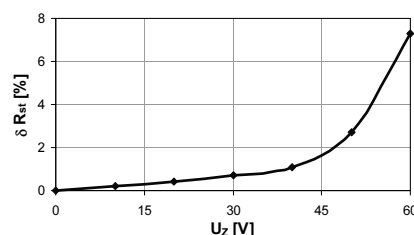
### 3. Wpływ zakłóceń zewnętrznych

W celu zmniejszenia wpływu zakłóceń na wynik pomiaru we współcześnie stosowanych miernikach rezystancji statycznej uziemienia generuje się zwykle prąd pomiarowy o częstotliwości nie mającej niskich harmonicznych wspólnych z harmonicznymi sygnałów zakłócających. W sieciach europejskich jest to najczęściej częstotliwość 128Hz. Metody wykorzystujące opisany sposób eliminacji zakłóceń są efektywne dla pomiarów w obecności przebiegów zakłócających o niezbyt wysokim poziomie. W przypadku bardzo silnych zakłóceń (typowych np. w okolicy stacji transformatorowych) wyniki pomiarów mogą być obciążone zbyt dużymi błędami.

W trakcie badań dotyczących pomiarów uziemień, prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, opracowano metodę filtracji sygnałów zakłócających o wartościach wielokrotnie przekraczających poziom sygnału pomiarowego, wykorzystującą prąd pomiarowy o częstotliwości stanowiącej podharmoniczną częstotliwości sieciowej [9, 10]. Do wyznaczania wartości prądu i spadku napięcia na badanym uziemieniu stosuje się tzw. metodę szczególnego próbkowania [11]. Ta niezwykle prosta w realizacji metoda pozwala na szybki pomiar harmonicznej podstawowej przebiegu badanego z całkowitą eliminacją wpływu składowej stałej, wszystkich parzystych harmonicznych oraz wybranych harmonicznych nieparzystych.

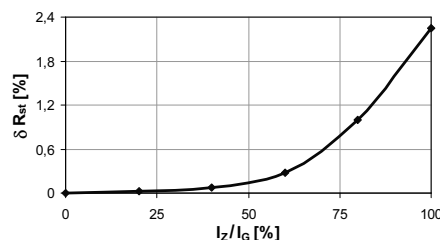
Wykonany model miernika realizującego pomiar metodą podharmonicznej poddano badaniom modelowym wprowadzając dodatkowe napięcia zakłócające pomiędzy zacisk uziemienia badanego  $R_X$ , a zacisk sondy napięciowej  $S_U$  oraz wymuszając przepływ przez rezystancję badaną prądów zakłócających. Sytuacje takie odpowiadają skutkom prądów błądzących przepływających w gruncie oraz prądów upływnościowych przepływających przez uziemienie badane w trakcie pomiaru.

Błąd pomiaru rezystancji statycznej  $\delta R_{st}$  w funkcji wartości przemiennego napięcia zakłócającego  $U_Z$  pokazano na rysunku 4 zaś wartość tego błędu w funkcji stosunku ( $I_Z/I_G$ ) wartości przemiennego prądu zakłócającego  $I_Z$  do wartości generowanego prądu pomiarowego  $I_G$  przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Błąd wyznaczania rezystancji statycznej uziemienia w funkcji wartości sygnału zakłócającego (50Hz)

Fig. 4. Error of the measurement of grounding static resistance as a function of interference (50Hz)



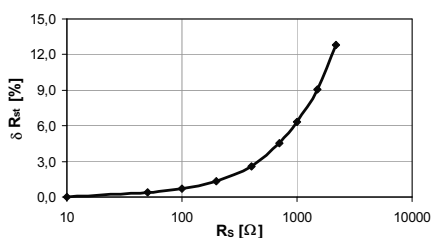
Rys. 5. Błąd wyznaczania rezystancji statycznej uziemienia w funkcji stosunku wartości prądu zakłócającego (AC) do generowanego prądu pomiarowego

Fig. 5. Error of grounding static resistance measurement as a function of interfering AC current to test currents ratio

W powszechnie stosowanych obecnie miernikach stwierdzenie obecności zakłóceń o wartości 20-30V powoduje blokadę możliwości wykonania pomiaru lub sygnalizację błędów nadmiernych (30%). Jak widać z rys. 4 badany model pozwalał na pomiar w obecności zakłóceń o wartości 60V z błędem poniżej 10%. Wpływ prądu zakłócającego również można w tym przypadku uznać za znikomy.

Przedstawione błędy zostały uzyskane jako średnia z serii 30 pomiarów dla każdej wartości sygnału zakłócającego. Nie przedstawiono błędów przy zakłóceniach stałoprądowych gdyż ich wartości były znacznie mniejsze niż dla zakłóceń przemiennych.

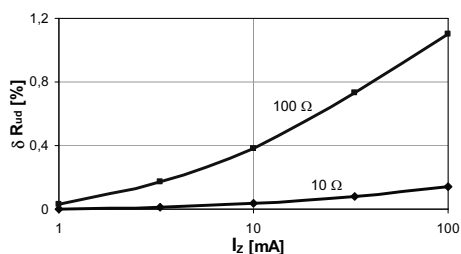
Błąd pomiaru rezystancji statycznej uziemienia w funkcji wartości rezystancji sond pomiarowych, wyznaczony na drodze symulacji komputerowej, przedstawiono na rysunku 6. Przyjęto, w tym przypadku, że obie sondy, prądowa i napięciowa, mają podobną budowę oraz umieszczone są w podobnym gruncie, a więc ich rezystancja jest bardzo zbliżona.



Rys. 6. Wpływ wartości rezystancji sond pomiarowych na wyniki pomiaru rezystancji statycznej uziemienia metodą podharmonicznej  
Fig. 6. Influence of value of the resistance of measurement probes on the results of measuring grounding static resistance with use of a subharmonic method

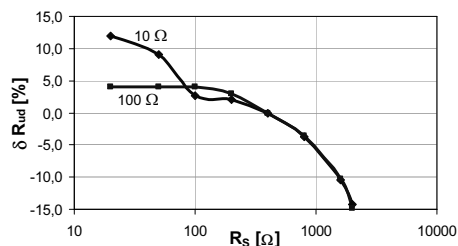
Wyniki tej symulacji również można uznać za zadowalające, gdyż dla typowej sondy o długości ok. 0,5 m tylko w wyjątkowych przypadkach rezystancja uziemienia osiąga poziom 800-1000  $\Omega$ .

Podobne badania jak dla modelu miernika rezystancji statycznej przeprowadzono dla nowej wersji miernika udarowego. Stwierdzony wpływ napięć zakłócających stałych i przemiennych oraz prądu przemiennego pozostawał poniżej progu rozdzielczości miernika wobec czego zrezygnowano z prezentowania tych wpływów. Błąd wyznaczania rezystancji udarowej  $\delta R_{ud}$  (dla  $R_{ud}=10$  i  $100 \Omega$ ) spowodowany zakłócającym prądem stałym przedstawiono na rysunku 7. Również w tym przypadku błędy osiągał niewiele większe wartości niż dla prądu przemiennego.

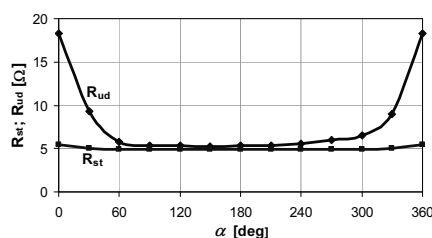


Rys. 7. Błąd wyznaczania rezystancji udarowej uziemienia w funkcji wartości zakłócającego prądu stałego  
Fig. 7. Error of grounding impulse resistance measurement as a function of interfering DC current

Dla miernika udarowego stwierdzono natomiast wyraźny wpływ rezystancji sond pomiarowych na dokładność pomiaru zobrazowany na rysunku 8. Bez trudu można jednak utrzymać wartości rezystancji sond w granicach 100...1000  $\Omega$  zapewniając poprawne warunki pomiaru. Analogicznie jak w poprzedniej wersji miernika udarowego występuje również silna zależność uzyskiwanych wyników od położenia sond i przewodów pomiarowych, co pokazano na rysunku 9. Kąt między przewodami sondy prądowej i napięciowej należy utrzymać powyżej 60 deg.



Rys. 8. Wpływ wartości rezystancji sond pomiarowych na wyniki pomiaru rezystancji udarowej uziemienia  
Fig. 8. Influence of value of the resistance of measurement probes on the results of measuring grounding impulse resistance



Rys. 9. Wpływ rozstawienia sond pomiarowych na wyniki pomiaru rezystancji statycznej i udarowej uziemienia  
Fig. 9. Influence of location of the measurement probes on the results of measuring grounding static and impulse resistance

## 4. Wnioski

Prezentowane metody pomiaru statycznej i udarowej rezystancji uziemienia wykazują bardzo małą wrażliwość na sygnały zakłócające stałe i przemiennie. Dla zapewnienia poprawnych warunków pomiaru należy jednak zapewnić rezystancje sond pomiarowych w określonych granicach, a dla metody udarowej dodatkowo możliwość rozłożenia przewodów pomiarowych z kątem ponad 60 deg zapewniającym unikanie sprzężeń.

## 5. Literatura

- [1] PN – IEC 061024-1. Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne.
- [2] S. Szpor, J. Samuła: Ochrona Odgromowa. WNT, Warszawa, 1983.
- [3] H. Markiewicz: Bezpieczeństwo w elektroenergetyce. WNT, Warszawa, 2002.
- [4] M. Wołoszyk, M. Galewski, S. Wojtas: O pewnych błędach w pomiarach uziemień. Elektrosystemy, nr 12(35), 2002.
- [5] M. Wołoszyk: Pomiary rezystancji statycznej i udarowej uziemień odgromowych. Rozdział w publikacji: Z. Gryżewski: „Prace pomiarowo-kontrolne przy urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1kV”, COSiW SEP, Warszawa, 2006.
- [6] Electrical grounding techniques, LEM Instruments Inc., materiały firmowe, www.primoine.com.
- [7] M. Wołoszyk: Dobór sposobu autokalibracji cęgów prądowych wykorzystywanych do pomiarów rezystancji uziemienia. Pomiary Automatyka Kontrola, nr 9(bis)/2006.
- [8] S. Wojtas, M. Galewski, M. Wołoszyk: Influence of test procedure on surge impedance of lightning earthings. Proceedings of 14-th EMD, Vilnius, 2004.
- [9] M. Wołoszyk: Filtering of interference signals of grounding resistance measurement with subharmonic method. Metrology and Measurements Systems, nr 4/2002.
- [10] M. Wołoszyk: Dobór odmiany metody podharmonicznej do filtracji zakłóceń w pomiarach rezystancji uziemienia. Pomiary Automatyka Kontrola, Vol.53, nr 4/2007.
- [11] J. Sawicki: Modification of particular sampling method. Proceedings of the XIII IMEKO World Congress, Vol. 3, Torino (Italy), 1994.