

Seminarium
Postępy w Technice Wysokich Napięć
100. Rocznica Urodzin Profesora Stanisława Szpora
16 maj 2008

ROZWÓJ METOD POMIARU REZYSTANCJI UDAROWEJ UZIEMIENŃ NA PODSTAWIE PRAC PROWADZONYCH W POLITECHNICIE GDAŃSKIEJ

Stanisław WOJTAS¹, Miron GALEWSKI², Marek WOŁOSZYK³

1. Politechnika Gdańska, Katedra Wysokich Napięć i Aparatów Elektrycznych
tel: (58) 3471611 fax: (58) 3472136 e-mail: s.wojtas@ely.pg.gda.pl
2. ATMOR Sc., Gdańsk
tel: (58) 6717407 fax: (58) 6795656 e-mail: atmor@atmor.pl
3. Politechnika Gdańska, Katedra Metrologii i Systemów Informacyjnych
tel: (58) 3472113 fax: (58) 3471802 e-mail: mawo@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: Przedstawiono historię prac związanych z pomiarami rezystancji uziemień prowadzonych w Politechnice Gdańskiej od połowy ubiegłego wieku. Omówiono metodę pomiaru, stosowane mierniki, konfigurację obwodu i definicję rezystancji uziemienia mierzonej przy prądach impulsowych o czasie czoła zbliżonym do udaru piorunowego. Porównano wyniki pomiarów uziemień metodami statyczną i udarową. Wprowadzony współczynnik udaru jako stosunek obu wielkości jest wskaźnikiem zachowania się uziemienia podczas wyładowania atmosferycznego. Metoda udarowa pozwala mierzyć uziemienia odgromowe, zarówno linii elektroenergetycznych jak również obiektów kubaturowych, bez rozłączania przewodów odprowadzających.

Słowa kluczowe: pomiary uziemień, rezystancja udarowa uziomu

1. WPROWADZENIE

Prawidłowo działające uziemienie zapewnia utrzymanie niskiej wartości spadku napięcia na jego rezystancji (impedancji) w trakcie odprowadzania prądów do ziemi, co sprowadza się do warunku małej rezystancji tego uziemienia. Uziemienia mogą odprowadzać prądy stałe, przemiennie lub udarowe wywołane wyładowaniami atmosferycznymi. Ponieważ czasy zjawisk występujących przy przepływie prądów o częstotliwościach sieciowych mierzone są w milisekundach, natomiast przy prądach udarowych - w mikrosekundach, należy więc stosować zróżnicowane metody pomiarowe do oceny jakości uziemień przeznaczonych do pracy w tak różnych warunkach. Właściwości uziemień podczas przepływu prądów przemiennych i stałych są nazywane właściwościami statycznymi, zaś podczas przepływu prądów impulsowych - udarowymi.

Pomimo iż uziemienia wyraźnie dzielą się na dwie kategorie, pracujące przy częstotliwościach sieciowych oraz odgromowe, pomiary ich rezystancji w praktyce wykonuje się najczęściej przy prądach niskiej częstotliwości, a więc metodach określanych jako statyczne. Rezystancja uziomu zmierzona w takich

warunkach może być miarą przydatności uziomu tylko w zakresie częstotliwości sieciowych, a nie w dziedzinie szybkich udarów prądowych, charakterystycznych dla wyładowań atmosferycznych. Pomiary zdolności ochronnej uziemienia powinny być wykonywane przy przebiegach o parametrach czasowych podobnych do tych, jakie występują podczas rzeczywistego wyładowania.

Prawidłowo wykonywane pomiary parametrów uziemień, a także właściwa interpretacja uzyskanych wyników, są niezwykle istotnymi elementami zapewnienia bezpieczeństwa obsługi oraz poprawnej pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych we wszelkich obiektach wyposażonych w uziemienia ochronne i robocze, bądź też narażonych na działanie wyładowań atmosferycznych.

Problemy te zostały zauważone ok. 50 lat temu przez prof. Szpora i zespół jego współpracowników, którzy podjęli wtedy prace zmierzające do upowszechnienia metody udarowej oceny uziemień. Rejestracja lub tylko pomiary przebiegów czasowych rzędu mikrosekund przez podręczne urządzenia była w ówczesnym stanie techniki zadaniem niezwykle trudnym. Opracowany w Politechnice Gdańskiej pod kierunkiem prof. Szpora miernik umożliwił po raz pierwszy praktyczną realizację pomiarów udarowych uziemień. Idea ta jest z powodzeniem kontynuowana i rozwijana na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki PG.

Celem pracy jest przedstawienie historii prowadzonych w Politechnice Gdańskiej badań dotyczących praktyki pomiarowej zmierzającej do oceny właściwości udarowych uziemień odgromowych oraz stanu obecnego takich badań i ich perspektyw.

2. HISTORIA BADAŃ REZYSTANCJI UDAROWEJ

W połowie dwudziestego wieku Galeazzi, Marenesi i Paloucci z uniwersytetu w Padwie zaproponowali pomiary rezystancji uziemień słupów linii przesyłowych bez odłączania przewodów odgromowych z zastosowaniem przenośnego generatora udarów oraz oscyloskopu

katodowego [1]. Jednak właściwości, a zwłaszcza rozmiary ówczesnych oscyloskopów w znacznym stopniu ograniczały zastosowanie praktyczne takiej metody. Kilka lat później, ok. 1955 roku, zespół prof. Szpora zaproponował zastąpienie niewygodnego oscyloskopu elektronicznym woltmierzem wartości szczytowej, który byłby wykorzystany kolejno do pomiaru dwóch napięć: jednego na rezystancji uziemienia słupa, a drugiego na rezystorze wzorcowym znajdującym się w mierniku i włączonym szeregowo z uziomem badanym. Grupa pracowników PG w składzie S. Szpor, R. Kosztaluk, J. Ossowicki i J. Suchocki otrzymała w 1969 roku patent na zaproponowane rozwiązanie [2]. Patent ten był zatytułowany "Miernik oporności uziemień", a wniesione zastrzeżenie patentowe ma następującą treść: "znamienny tym, że zawiera woltmierz szczytowy, który jest załączany kolejno na uziemienie badane i na opornik porównawczy".

Generator udarów miernika emitował ok. 200 razy na sekundę udary prądowe o amplitudzie 1 A przy napięciu

1000 V i czasach czoła 1 lub 3 μ s. Tak duża częstość powtarzania udarów wynikała z wymagań woltmierza wartości szczytowej, którego wskazania byłyby obciążone znacznym błędem przy mniejszej liczbie udarów. Pomiar uziemienia był realizowany dwuetapowo, poprzez pomiar napięcia na rezystorze wzorcowym i uziomie mierzonym. Takie zadanie trudno było zrealizować w czasie poniżej 15 s, co wymagało wyemitowania ponad 3000 udarów. Procedura pomiarowa obok wielokrotnego ładowania kondensatora generatora wymagała też podtrzymywania żarzenia tyratronu, który służył do załączania generatora [3]. W związku z tym jako źródło zasilające stosowano akumulator ołowiowy. Rysunek 1 przedstawia fotografię zachowanego egzemplarza miernika udarowego wyprodukowanego w roku 1969 w Zakładzie Wysokich Napięć PG. Miernik waży 4,7 kg i ma następujące wymiary: 370x280x130 mm.



Rys. 1. Widok miernika; 1 – mikroamperomierz woltmierza elektronicznego, 2, 3, 4 – pokrętki regulacyjne woltmierza, wyłącznik przetwornicy, 6 – przełącznik czoła udaru, 7 – przełącznik woltmierza, 8 – rezystory wzorcowe, 9 – zaciski do połączenia z uziomem i sondami pomiarowymi, 10 – bezpiecznik, 11 – przewód do połączenia z akumulatorem zasilającym, 12 – załączanie żarzenia tyratronu

Pod koniec lat osiemdziesiątych grupa pracowników Politechniki Gdańskiej podjęła inicjatywę opracowania nowej generacji mierników udarowych wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu zwłaszcza ówczesnych zakładów energetycznych. Stan techniki cyfrowej pozwalał już na realizację pomiarów w czasie rzeczywistym poprzez cyfrowe dzielenie napięcia i prądu. Zrealizowane w tej technice kolejne wersje mierników nie wymagały przełączalnego woltmierza wartości szczytowej, jak to było przedstawione w opisie miernika z rysunku 1.

Na rysunku 2 przedstawiono ostatnią wersję udarowego miernika uziemień. Pomiar odbywa się całkowicie automatycznie po wciśnięciu przycisku „Start”. W pierwszym etapie jest wykonywane sprawdzenie ciągłości

obwodu pomiarowego. Jeżeli rezystancja zewnętrznego obwodu pomiarowego sondy prądowej lub napięciowej jest większa niż 1000 Ω , pojawia się komunikat oznaczający brak ciągłości obwodu i miernik jest blokowany. Wprowadzona procedura zmierza do zapewnienia możliwie wysokiej amplitudy prądu pomiarowego, aby zapewnić deklarowaną dokładność pomiaru. W drugim etapie jest realizowany właściwy pomiar określany na podstawie emisji 8 udarów, po których jest zatrzymywany generator. Miernik ma 2 zakresy pomiarowe: 0 - 19,9 Ω oraz 20 - 199 Ω , które są wybierane automatycznie w zależności od wartości mierzonego uziemienia. Przycisk "Menu" służy do wyboru jednego z trybów pracy miernika: pomiar, test baterii oraz obsługa pamięci z możliwością zapisywania,

odczytu i kasowania. Zasilanie miernika odbywa się z akumulatorów Cd-Ni 4,8 V o pojemności 1 Ah, które wystarczają do wykonania ponad 1000 pomiarów. Miernik waży 0,4 kg przy wymiarach: 195x100x40 mm.



Rys. 2. Widok udarowego miernika uziemień [4]

3. PROCEDURA POMIARÓW UDAROWYCH

3.1 Definicje

Norma PN-IEC 61024-1 w p.1.2.15 definiuje **zastępczą rezystancję uziemienia** jako: „*stosunek wartości szczytowych napięcia do prądu uziemienia, które na ogół nie występują jednocześnie. Umownie służy on za wskaźnik skuteczności uziemienia*”. Określenie powyższe jest zgodne z definicją rezystancji (impedancji) udarowej wyznaczanej przy wymuszeniu prądowymi udarami pomiarowymi [5].

Kryterium przydatności uziemienia w obiektach podlegających ochronie obostrzonej i specjalnej stanowi wg PN-89/E-05003/03 (p.1.3.7) **rezystancja udarowa** określana jako: „*rezystancja między uziomem a ziemią odniesienia mierzona przy prądzie udarowym o kształcie odwzorowującym prąd pioruna*”. Norma ta określa również sprzęt potrzebny do wyznaczenia tej rezystancji jako mostek (miernik) udarowy czyli: „*urządzenie pomiarowe umożliwiające pomiar rezystancji tylko tej części uziemienia, która bierze udział w odprowadzaniu prądu pioruna*”. Pomiar rezystancji udarowej wykonuje się bez rozłączania zacisków probierczych ponieważ celem tego pomiaru jest określenie rezystancji wypadkowej uziemienia, czyli tej, która bierze udział w odprowadzaniu z danego punktu prądu piorunowego do gruntu [6].

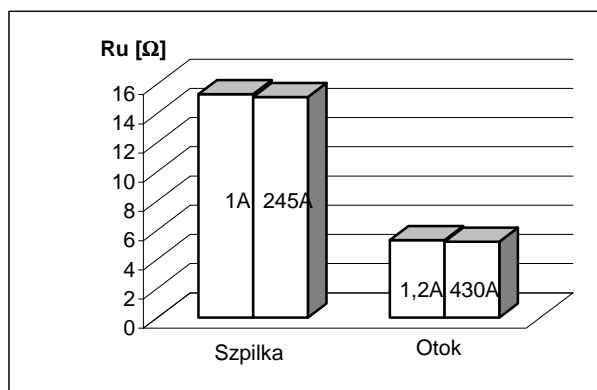
3.2 Amplituda prądu pomiarowego

Przy dużych gęstościach prądu w ziemi rezystancja uziemienia jest zwykle znacznie mniejsza niż mierzona przy małych prądach. Wyraźne zmniejszenie rezystancji uziemienia zauważa się jednak dopiero przy natężeniach pola elektrycznego w ziemi rzędu kilku kV/cm [7]. Takie warunki trudno osiągnąć podczas pomiarów uziemień, a więc wyniki testów zwykle nie uwzględniają zjawisk

wielkopiędowych w uziemieniach. Zbyt mała wartość amplitudy prądu podczas badań może prowadzić do znacznych błędów wywołanych np. zakłóceniami lub prądami błądzącymi.

Dla sprawdzenia wpływu amplitudy udarów pomiarowych na rezystancję uziemienia przeprowadzono badania 2 typów uziomów: pionowego (szpilkowego) o głębokości 12 m i otokowego o wymiarach 20 x 30 m przy użyciu udarów o amplitudach ok. 1 A oraz kilkaset amperów. Pomiary przeprowadzono metodą techniczną przy użyciu 2 sond: prądowej i napięciowej. Prąd na poziomie 1 A uzyskiwano z miernika udarowego uziemień pracującego przy napięciu 1 kV. Przebiegi prądów i spadków napięć na obu badanych uziomach rejestrowano za pomocą oscyloskopu cyfrowego, a rezystancję wyznaczano jako iloraz wartości napięcia i prądu.

W obwodzie złożonym z generatora zasilanego napięciem 20 kV i rozbudowanej sondy prądowej otrzymywano udar prądowy o amplitudzie 245 A dla uziomu szpilkowego oraz 430 A dla otokowego. Wyniki pomiarów uziomów przy różnych wartościach prądu przedstawione na rysunku 3 wskazują, że amplituda prądu w analizowanym zakresie nie ma praktycznie wpływu na otrzymane wyniki rezystancji udarowej. Badania przy wymuszeniach prądowych na poziomie 1 A są więc wystarczające dla oceny uziemień dla celów ochrony odgromowej.



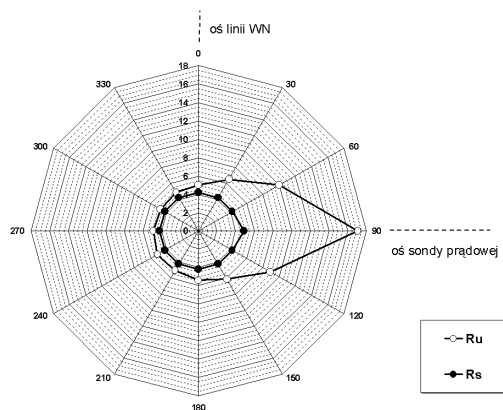
Rys. 3. Rezystancja udarowa uziomów: szpilkowego i otokowego mierzona przy podanych amplitudach prądów: 1; 1,2; 245 oraz 430 A

3.3 Rozmieszczenie sond pomiarowych

Badania wpływu wzajemnego rozmieszczenia sond pomiarowych na wynik pomiaru rezystancji udarowej uziemienia przeprowadzono w ten sposób, że sondę prądową umieszczono prostopadle do linii, a następnie sondę napięciową przesuwano co 30° dookoła badanego słupa mierząc rezystancję udarową i statyczną. Rysunek 4 przedstawia przykładowe wyniki takich badań dla słupa linii 110 kV bez przewodów odgromowych.

W przypadku usytuowania obu sond w jednej linii metoda udarowa zdecydowanie zawyża wyniki. Przyczyną tego jest znaczny współczynnik indukcyjności wzajemnej obu przewodów prowadzący do indukowania się napięcia w obwodzie pomiarowym pod wpływem udarów w obwodzie sondy prądowej. Kąt między przewodami obu

sond nie powinien być mniejszy niż 90° . Najbardziej korzystna jest lokalizacja sond pomiarowych po przeciwnych stronach słupa na prostej prostopadłej do osi linii.



Rys. 4. Wpływ położenia sondy napięciowej na na wyniki pomiarów rezystancji uziemia metodami: statyczną (R_s) - IMU oraz udarową (R_u) - WG

3.4 Współczynnik udaru

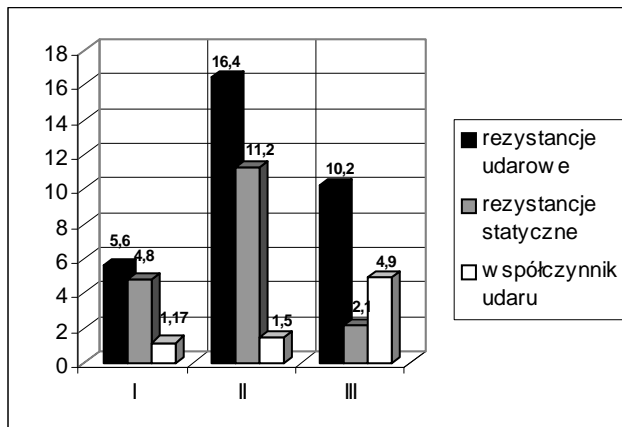
Stosunek wartości rezystancji uziomu mierzonej metodą udarową do rezystancji przy napięciu wolnozmiennym jest zwykle oznaczany jako współczynnik udarowy uziomu k_u i zależy od indukcyjności badanego obwodu oraz od zjawiska wieloprądowego wzdłuż przejścia z uziomu do gruntu. Uziomy pod względem wielkości współczynnika k_u można podzielić na trzy grupy. Współczynnika o najmniejszej wartości należy oczekiwać w uziomach skupionych, o niewielkiej rozległości.

Przykładem takim są uziemienia słupów linii 110 kV Gdańsk – Elbląg posadowionych w gruncie o dobrej przewodności, gdzie często już naturalny fundament słupa spełnia warunki stawiane uziemieniom. Średnia wartość rezystywności udarowej uziemień ośmiu słupów wynosi $5,6 \Omega$, a rezystancji mierzonej miernikiem statycznym – $4,8 \Omega$, co daje niewielki, o wartości $1,17$ współczynnik udarowy k_u . Wyniki pomiarów są przedstawione jako histogramy grupy I na rysunku 5.

Do drugiej grupy należą typowe uziemienia otokowe o rozmiarach kilkunastu metrów posadowione w gruncie o średniej rezystywności. Pomiary przeprowadzono na kilku obiektach uzyskując średnią wartość rezystancji udarowej $16,4 \Omega$, a rezystancji statycznej – $11,2 \Omega$, co daje współczynnik udarowy równy $1,5$. Jest to wartość k_u spotykana w typowych, niezbyt rozległych uziomach otokowych.

Trzecią grupę stanowią bardzo rozległe uziemienia. Natrafiono na takie podczas pomiarów uziemień słupów odłącznikowych linii 15 kV. Średnia wartość rezystancji udarowej 5-ciu słupów wyniosła $10,2 \Omega$, a ich rezystancja mierzona mostkiem statycznym osiągnęła średnią wartość zaledwie $2,1 \Omega$. Daje to współczynnik udarowy równy $4,9$. Badana linia jest zbudowana na piaszczystym gruncie charakteryzującym się wysoką rezystywnością i dla uzyskania odpowiedniej rezystancji uziemień wykonawca prawdopodobnie poprowadził tzw. przeciwwagę, czyli

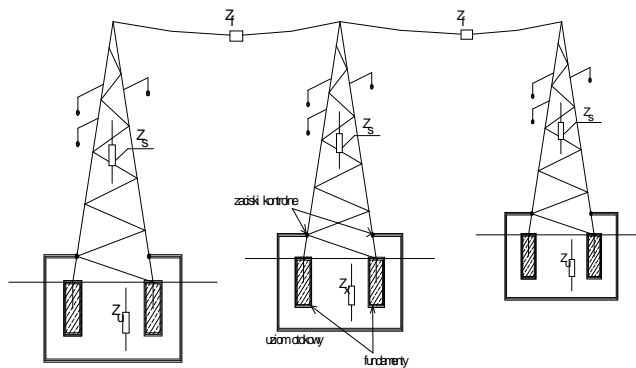
umieszczony w ziemi zwód poziomy łączący kolejne słupy. Uzyskano w ten sposób zadowalające właściwości statyczne uziemień słupów linii, ale ochrona w warunkach udarowych może okazać się nieskuteczna. Podobnych wartości współczynnika udarowego uziemień należy oczekiwać w rozległych obiektach kubaturowych, zwłaszcza gdy uziom jest połączony z siecią wodociągową.



Rys. 5. Wyniki pomiarów rezystancji udarowej i statycznej [Ω] oraz współczynnika udaru różnych konstrukcji uziomów, I – uziomy skupione, II – typowe uziomy otokowe niewielkich rozmiarów, III – uziomy bardzo rozległe

4. POMIARY UZIEMIEŃ LINII

Metoda udarowa pozwala mierzyć uziemienie słupa za pomocą odpowiedniego mostka bez odpinania uziomu od konstrukcji słupa, ponieważ długość przęsła w liniach w większości przypadków przekracza 150 m , a impedancja falowa Z_f w układzie przewod – ziemia wynosi około 500Ω . Podczas pomiarów uziemienie badane o impedancji Z_x jest bocznikowane impedancjami falowymi Z_f przewodów ogromnych biegnących do obu sąsiednich słupów oraz impedancjami falowymi Z_s słupów jak to przedstawiono na rysunku 6. Wartości impedancji uziemień poszczególnych słupów oznaczono jako Z_u oraz Z_x .

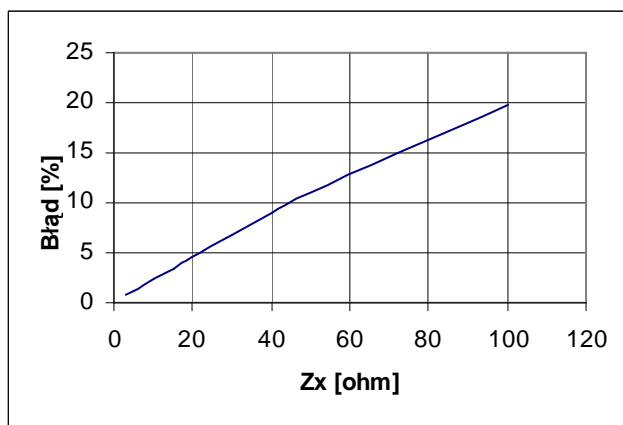


Rys. 6. Układ uziemienia słupa wraz z dwoma słupami sąsiednimi, zaznaczono wartości impedancji falowych poszczególnych elementów systemu

W tak przyjętym układzie wartość impedancji podczas pomiaru na zaciskach uziomu mierzonego Z_x może być obliczona według następującego wzoru:

$$Z_m = \frac{\left[Z_s + \frac{(Z_f + Z_s + Z_u)^2}{2 \cdot (Z_f + Z_s + Z_u)} \right] \cdot Z_x}{Z_x + Z_s + \frac{(Z_f + Z_s + Z_u)^2}{2 \cdot (Z_f + Z_s + Z_u)}} \quad (1)$$

Rysunek 7 przedstawia wpływ bocznikowania sąsiednimi słupami podczas pomiaru uziemienia Z_x w funkcji wartości tego uziemienia. Błąd względny wartości zmierzonej Z_m wskutek bocznikowania wyznaczano w oparciu o wzór (1) jako $(Z_x - Z_m)/Z_x$. Obliczenia zostały wykonane przy następujących założonych wartościach poszczególnych impedancji: $Z_f = 500 \Omega$, $Z_s = 100 \Omega$ [10] and $Z_u = 10 \Omega$. Z przedstawionego wykresu można zauważyć, że dla najczęściej stosowanej wartości Z_x nie przekraczającej 20Ω , błąd względny popełniany przy pomiarze udarowym z połączonymi uziemieniami sąsiednich słupów utrzymuje się na poziomie 5 %.

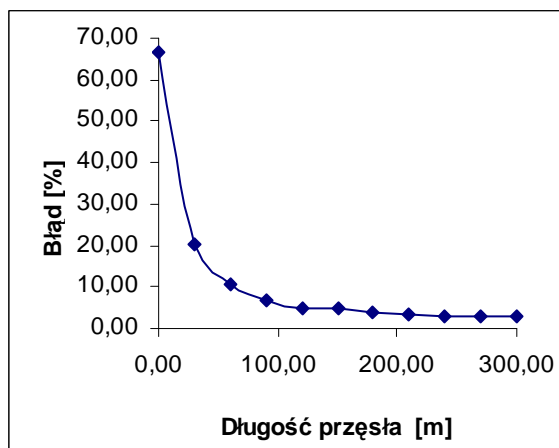


Rys. 7. Błąd względny pomiaru w funkcji wartości mierzonej Z_x na podstawie wyrażenia (1)

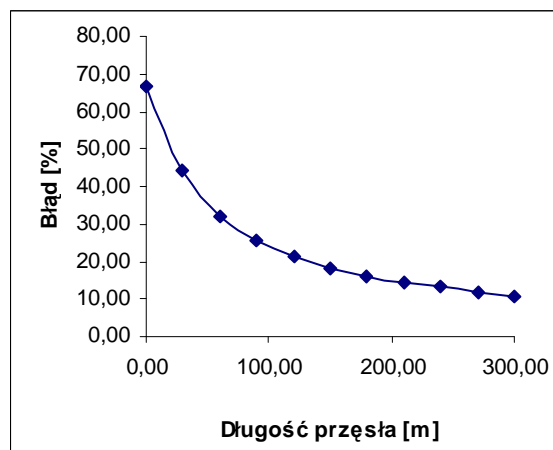
Konfiguracja uziemień pokazana na rysunku 6 oraz generator udarów pomiarowych zostały zamodelowane w programie MATLAB z wykorzystaniem pakietu SIMULUNK. Wyniki obliczeń symulacyjnych wpływu długości przęsła na błąd pomiarowy względny przedstawiono na rysunkach 8 i 9. Rysunek 8 dotyczy udarów o czasie czoła $1 \mu s$, a rysunek 9 - czasu czoła $4 \mu s$. Pokazane wyniki symulacji wskazują, że przy długości przęsła 300 m, błąd względny wskutek efektu bocznikującego sąsiednich słupów spada do ok. 3 % w przypadku czoła $1 \mu s$ oraz do ok. 10 % dla czoła $4 \mu s$ [8,9]. Uwzględniając dość znaczny błąd metody pomiaru uziemień, taką dokładność należy uznać za wystarczającą.

Dokładniejsze badania tego problemu zostały przeprowadzone na rzeczywistej linii po odizolowaniu przewodów odgromowych od konstrukcji na wierzchołku słupa. Wyniki takich pomiarów przedstawia histogram na rysunku 10, gdzie Z_p oznacza rezystancję udarową w stanie

gotowym do pracy linii (uziemiające i przewody odgromowe przyłączone do konstrukcji słupa), Z_o – rezystancja uziemienia po odłączeniu przewodów uziemiających od słupa, Z_i – rezystancja uziemienia z przewodami uziemiającymi połączonymi ze słupem, lecz z odizolowanymi przewodami odgromowymi, Z_{fu} – impedancja fundamentów słupa przy odizolowanych przewodach odgromowych i odłączonych przewodach uziemiających. Współczynnik odizolowania przewodów odgromowych k_i obliczony jako stosunek impedancji Z_i do Z_p , a obrazujący rzeczywisty wpływ na pomiar sąsiednich słupów wynosi 1,06 i jest zgodny z przewidywaniami według wzoru (1).



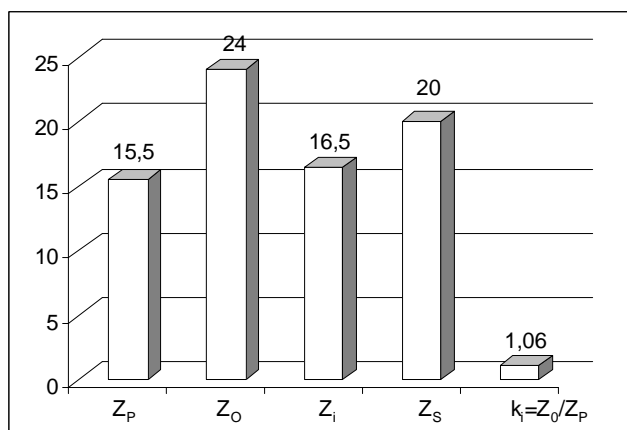
Rys. 8. Wpływ długości przęsła na błąd względny pomiaru wynikający z bocznikowania mierzonego uziemienia przez słupy sąsiednie przy czasach czoła udarów $1 \mu s$



Rys. 9. Wpływ długości przęsła na błąd względny pomiaru wynikający z bocznikowania mierzonego uziemienia przez słupy sąsiednie przy czasach czoła udarów $4 \mu s$

Przedstawiona procedura pomiaru uziemień słupów linii elektroenergetycznych z przewodami odgromowymi bez odłączania przewodów uziemiających od konstrukcji słupa umożliwia tego typu prace kontrolno pomiarowe bez wyłączania linii. Ponadto pomiary udarowe bez rozłączania zacisków kontrolnych uwzględniają wpływ fundamentu słupa, który również bierze udział w odprowadzaniu rzeczywistych prądów piorunowych, a którego rezystancja

jest często porównywalna z rezystancją dodatkowego uziomu sztucznego i nie powinien być pomijany w ocenie skuteczności uziemienia.



Rys. 10. Wartości impedancji udarowej uziemienia słupa zmierzone przy: a) przewodach odgromowych połączonych z konstrukcją słupa, Z_p - przewodach odprowadzających połączonych ze słupem, Z_o - przewodach odprowadzających odłączonych od słupa; b) przewodach odgromowych odizolowanych od konstrukcji słupa, Z_i - słup wraz z uziomem, Z_{fu} - słup z fundamentami bez uziomu

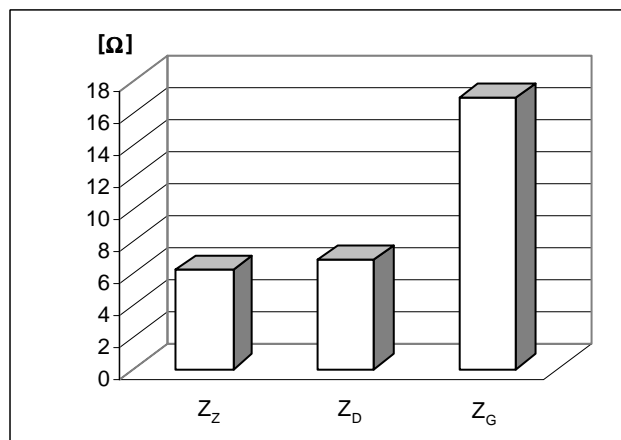
5. POMIARY UZIEMIENIŃ OBIEKTÓW KUBATUROWYCH

Metoda udarowa pomiaru rezystancji uziemień jest zalecana w obiektach podlegających ochronie obostrzonej [6]. W takich przypadkach ze względów bezpieczeństwa zwody przewody odprowadzające są często wyposażone w połączenia spawane, które uniemożliwiają ich rozłączanie podczas pomiarów. Przydatność udarowego miernika uziemień WG-307 do oceny takich systemów ochrony przetestowano na przykładzie 1-klatkowego budynku mieszkalnego o 8 kondygnacjach. Instalacja odgromowa budynku zawiera 6 przewodów odprowadzających, z których każdy na wysokości ok. 1 m nad ziemią jest zaopatrzony w zacisk kontrolny umożliwiający rozłączanie przewodu. Wykonano następujące pomiary rezystancji udarowej uziemienia, których wyniki przedstawiono na rysunku 10:

- Z_z – zwarty zacisk kontrolny,
- Z_D – miernik dołączony do przewodu poniżej rozwartego zacisku kontrolnego,
- Z_G – miernik dołączony do przewodu powyżej rozwartego zacisku kontrolnego.

Z rysunku 10 wynika, że przy zwartym zacisku kontrolnym (Z_z) otrzymuje się wartości obniżone o ok. 10 % w stosunku do zacisku rozwartego (Z_D). Przy obiektach niższych różnice te mogą być nieco większe ze względu na mniejszą indukcyjność przewodów bocznikujących mierzone połączenie z uziomem. Wyniki umieszczone na histogramach oznaczonych jako Z_G odpowiadają sytuacji, w której mierzony przewód uziemiający jest przerywany poniżej powierzchni gruntu. Analiza pomiarów wszystkich przewodów odprowadzających obiektu wykonanych bez

ich odpinania pozwoli na szybkie wykrycie przewodu nie mającego galwanicznego połączenia z otokiem uziemienia, ponieważ uzyskany w tym przypadku wynik będzie znacznie przewyższał (w przypadku analizowanego budynku około dwukrotnie) poziom wyników uzyskanych dla pozostałych przewodów.



Rys. 11. Wartości średnie rezystancji udarowej systemu ochrony odgromowej budynku mieszkalnego uzyskane dla poszczególnych przewodów odprowadzających przy: a) zwartym zacisku kontrolnym - Z_z , b) rozwartym zacisku kontrolnym i mierniku dołączonym poniżej zacisku - Z_D oraz powyżej zacisku - Z_G

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiony sposób pomiaru rezystancji uziemienia przy wymuszeniu udaru prądowego w obwodzie pomiarowym spełnia postawione założenie uwzględniając w pomiarach wpływ spadków indukcyjnych i zjawisk falowych, które decydują o skuteczności uziemienia podczas wyładowań atmosferycznych i jest zgodny z obowiązującymi normami.

Zaproponowane przez prof. Szpora i jego zespół parametry udaru prądowego o amplitudzie na poziomie 1 A przy napięciu 1000 V są wystarczające do oceny właściwości uziomu.

Zastosowanie udarów pomiarowych umożliwia badania uziemień linii elektroenergetycznych w rzeczywistej konfiguracji obwodu łącznie z fundamentami słupa, bez odpinania przewodów uziemiających od konstrukcji słupa i redukuje wpływ uziemień sąsiednich słupów na wynik pomiaru do wartości nie przekraczającej 10 %.

Metoda udarowa pomiaru pozwala na ocenę rozległych systemów uziemień, uwzględniając tylko te części instalacji, które biorą udział w odprowadzaniu prądu piorunowego do ziemi bez rozłączania zacisków kontrolnych, zwłaszcza w obiektach wymagających ochrony obostrzonej.

Pomiary za pomocą mierników udarowych pozwalają na wykrycie braku połączenia przewodu odprowadzającego z otokiem uziomu bez rozłączania zacisków kontrolnych instalacji odgromowej, ponieważ wynik uzyskany dla przewodu uszkodzonego będzie znacznie przewyższał rezultaty dla pozostałych przewodów uziemiających.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Galeazzi A., Marenesi R., Paloucci A.: Ohmmetre de terre en ondes de choc pour la determination des resistances de terre dans les lignes de transmission avec fil de garde”, Rapport CIGRE No. 329, 1953
2. Szpor S., Kosztaluk R., Ossowicki J., Suchocki J.: Miernik oporności uziemień, Patent PRL nr 56823, 1969
3. Szpor S., Kosztaluk R., Ossowicki J., Suchocki J.: Pomiar oporu uziemienia słupa linii przesyłowej przy uderzeniach powtarzalnych, Energetyka, Nr 12, 1971
4. www.atmor.pl
5. PN – IEC 061024-1 „Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne”
6. PN-89/E-05003/03 – „Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Ochrona obostrzona”
7. Szpor S., Samuła J., „Ochrona Odgromowa”, WN-T, Warszawa, 1983
8. Wojtas S., Wołoszyk M., Galewski M., Measurement accuracy evaluation of transmission line earthing at impulse tests, Materiały 17-ej Konferencji EMD, Białystok, 2007
9. Wojtas S. “Efficiency evaluation methods of earthing systems for lightning protection purposes”, Materiały 26-ej Konferencji ICLP, Kraków, 2002

MEASUREMENT METHODS OF EARTHING IMPULSE RESISTANCE ON THE GROUND OF WORKS CARRIED OUT IN GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Key words: earthing measurement, earthing impulse resistance

Lightning protection earthing systems should be tested at currents with time parameters similar to those of lightning. A method and definition of a measured value of impulse resistance are introduced. The resistance was counted as a quotient of voltage drop on the tested earthing to a value of current in measure circuit. Resistance measurements of such a lightning protection system by means of a low frequency classic method do not seem to be obvious and require disconnections of the earthing conductor from a tested tower. An impulse method is much convenient and needs no disconnection, so it can be performed on a hot line. The paper deals with some remarks concerning accuracy of such tests versus line spank lengths. It has been stated, that the influence of neighbouring tower earthing reduces the obtained results. The reduction depends on an impulse front time as well as on a line span length and for analized conditions it has been evaluated within the range of 3 to about 10 %. The presented impulse method also permits evaluation of lightning protection installations of different objects for example buildings without disconnections of testing terminals of the installation.

