

Pomiary impedancji elektrody uziemiającej w budynkach użyteczności publicznej, przemysłowych i mieszkalnych

Opis zastosowań

Większość obiektów budowlanych posiada uziemione instalacje elektryczne, aby w przypadku uderzenia pioruna lub wystąpienia przepięcia elektrycznego, wygenerowany w taki sposób prąd spłynął bezpiecznie do ziemi. Elektroda uziemiająca stanowi kontakt pomiędzy systemem instalacji elektrycznej a ziemią. W celu zapewnienia niezawodnego połączenia z ziemią, branżowe standardy i normy krajowe podają często minimalną wartość impedancji dla elektrody uziemiającej. Międzynarodowe Stowarzyszenie Testów Elektrycznych (The International Electrical Testing Association) zaleca testowanie elektrod uziemiających co 3 lata w przypadku systemu w dobrym stanie spełniającym średnie wymagania w zakresie poprawnej pracy. Niniejszy opis zastosowań prezentuje szczegółowo zasady uziemiania/zerowania i zachowania bezpieczeństwa, a także przedstawia główne rodzaje testów: 3- i 4-biegunowe testy metodą spadku potencjału, testy selektywne, testy bez użycia elektrod oraz testy 2-biegunowe.

Po co uziemiać?

Amerykańskie standardy (The US National Electrical Code (NEC)) podają dwa zasadnicze powody uzasadniające uziemianie instalacji elektrycznych:

- Dla zapewnienia stabilności napięcia w stosunku do potencjału ziemi podczas normalnej pracy;
- Dla ograniczenia skoków napięcia powstałych w wyniku wyładowań atmosferycznych, wyładowań w liniach energetycznych oraz przypadkowych zwarc z liniami wyższego napięcia.

Wygenerowany prąd płynie trasą o najniższej rezystancji do swojego źródła, którym będzie np.: transformator energetyczny, transformator w sieci elektrycznej lub generator. Docelowym miejscem dla wyładowań atmosferycznych jest ziemia. W przypadku uderzenia pioruna w linię energetyczną lub w inny obiekt w bliskim sąsiedztwie budynku, elektroda uziemiająca o niskiej impedancji ułatwia sprowadzenie powstałej energii do ziemi. Systemy uziemi-

ania i połączeń wyrównawczych służą do łączenia ze sobą: instalacji elektrycznej oraz konstrukcji stalowej budynku z ziemią. Pożądane jest, aby podczas wyładowania atmosferycznego wszystkie te elementy miały przybliżony potencjał. Dlatego też utrzymanie możliwie niewielkiego wzrostu potencjału, pozwala na zminimalizowanie szkód.

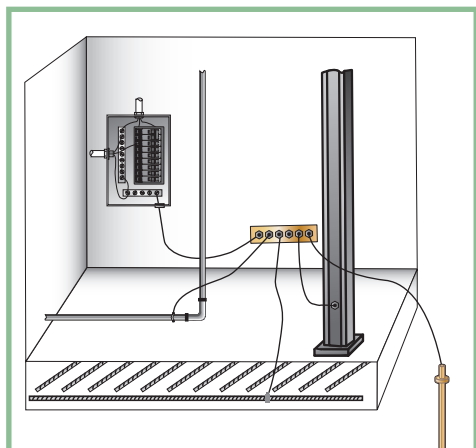
W przypadku kontaktu linii średniego napięcia (ponad 1000 V) z linią niskiego napięcia, w tej drugiej wystąpić może znaczny skok napięcia. Elektroda o niskiej impedancji umożliwi ograniczenie wzrostu napięcia w obwodzie elektrycznym. Uziemienie o niskiej impedancji zapewni ponadto ścieżkę zwrotną dla powstałego przepięcia. Na rysunku 1 pokazano system uziemienia w budynku użyteczności publicznej.

Impedancja Elektrody Uziemiającej

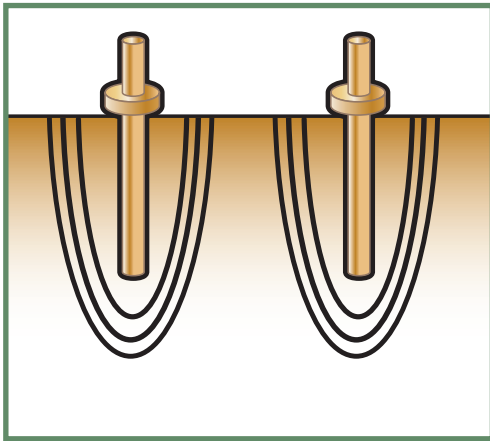
Impedancja od elektrody uziemiającej do ziemi jest zmienna i zależy od dwóch czynników: rezystywności otaczającej ziemi oraz struktury elektrody. Rezystywność jest właściwością każdego materiału i określa jego zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego. Rezystywność ziemi jest bardziej skomplikowana, gdyż: zależy od struktury / składu gleby (np.: glina, żwir, czy piasek)

- Jest zmienna nawet w niewielkich odległościach z uwagi na zmienną zawartość różnych materiałów
- Zależy od zawartości minerałów (np. sól)
- Jest zmienna zależnie od stopnia jej ubicia w wyniku procesu osiadania
- Zmienia się pod wpływem temperatury, mrozu, (czyli pór roku)
- Rośnie wraz ze spadkiem temperatury
- Może ulec zmianie z uwagi na zakopane zbiorniki metalowe, rury, szyny itd.
- Zmienia się wraz z głębokością

Z uwagi na fakt spadku rezystywności proporcjonalnie do głębokości, jednym ze sposobów zmniejszenia impedancji uziomu jest głębsze wkopanie elektrody uziemiającej. Innym znanym sposobem zwiększenia efektywnej powierzchni elektrody jest wykorzystanie systemu prętów, a przewodzącego pierścienia lub siatki. Każdy z prętów powinien znajdować się poza "strefą wpływu" pozostałych dla zapewnienia maksymalnej skuteczności (patrz Rys. 2). Praktyczna rada, to rozmieszczenie tych elementów w odległości większej niż ich długość. Dla przykładu: 2,5-metrowe pręty powinny znajdować się w odległości ponad 2,5 metra od siebie dla przez co uzyskuje się najlepszą skuteczność.



Rys. 1: System uziemienia z metalową sztabą połączeniową oraz prętą elektrodą



Rys. 2: Elektrody uziemiające otoczone są przez "strefy oddziaływania"

Amerykańska norma NEC stanowi, że akceptowalna graniczna wartość impedancji elektrody uziemiającej wynosi 25 Omów. Standardy IEEE, w zakresie zalecanych praktyk w przemysłowych i komercyjnych systemach zasilania (142 Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems ("Green Book")), zalecają wartość rezystancji pomiędzy główną elektrodą uziemiającą i ziemią na poziomie od 1 do 5 Ohm'ów dla dużych komercyjnych systemów zasilania. Lokalne władze, włączając agencje rządowe, a także kierownicy budowy odpowiadają za określenie granicznych, akceptowalnych wartości impedancji elektrody uziemiającej.

Uwaga: Systemy dystrybucji energii są instalacjami prądu zmiennego, dlatego też testery uziemienia wykorzystują do pomiarów również prąd zmienny. Stąd też w niniejszym dokumencie mowa jest o impedancji, a nie o rezystancji. Niemniej jednak, przy częstotliwościach pracy linii energetycznych część rezystancyjna impedancji uziomu jest znacznie większa od części reakcyjnej. Często zatem pojęcia: „rezystancja” i „impedancja” są używane zamiennie.

Jak działają testery impedancji uziomu?

Istnieją dwa rodzaje testerów do pomiaru impedancji uziemienia: trzy- i cztero zaciskowe testery oraz testery cęgowe (patrz Rys. 3). Obydwa rodzaje urządzeń generują napięcie zmienne, a następnie dokonują pomiaru przepływającego prądu.

Trzy zaciskowy tester składa się ze źródła prądowego oraz miernika napięcia w jednym zestawie, lub też w obudowie w stylu miernika uniwersalnego. Wykorzystują kilka sond i/lub zaciski. Testery uziemienia posiadają następujące parametry ogólne:

- Zmienny prąd testowy. Ziemia nie jest dobrym przewodnikiem prądu stałego.

- Częstotliwość generowanego napięcia testowego jest zbliżona, choć rozróżnialna od częstotliwości pracy sieci i jej harmonicznych. Dzięki temu eliminowane są wpływy prądów błądzących na pomiary impedancji uziomu.
- Oddzielne końcówki źródła napięcia oraz pomiarowe w celu skompensowania długości końcówek użytych do pomiaru.
- Wbudowane filtry wejściowe przepuszczające sygnały własne miernika i tłumienie sygnały obce.

Zaciskowe testery uziemienia

przypominają z wyglądu duże mierniki cęgowe. Są to jednak zupełnie inne urządzenia, gdyż posiadają zarówno: transformator źródłowy, jak i transformator pomiarowy. Transformator źródłowy generuje napięcie na testowanej pętli, a transformator pomiarowy mierzy zaindukowany w ten sposób prąd. Tester zaciskowy wykorzystuje nowoczesną metodę filtracji pozwalającą na wyodrębnienie wygenerowanego przez miernik sygnału źródłowego od innych sygnałów.

Bezpieczny Pomiar Uziemienia

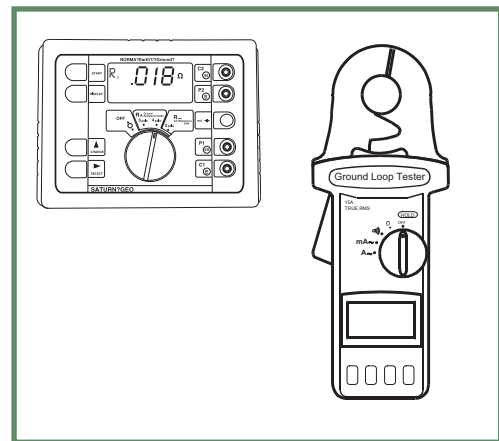
W trakcie wykonywania połączeń należy zawsze używać rękawic izolacyjnych, okularów ochronnych oraz wszelkiego innego wyposażenia ochrony osobistej. Nie jest bezpiecznym założeniem, że elektroda uziemiająca ma potencjał zero i nie płynie przez nią prąd z opisanych poniżej powodów.

W celu wykonania podstawowego testu uziemienia (metoda spadku potencjału), **należy rozłączyć elektrodę uziemiającą od budynku**. Nowe metody selektywne pozwalają na przeprowadzenie dokładnych testów bez rozłączania elektrody (patrz „Pomiary selektywne”).

Uszkodzony uziom w systemie może spowodować przepływ prądu o znacznej wartości w przewodzie uziemiającym. Przy pomocy miernika cęgowego należy sprawdzić wartość płynącego prądu przed dokonaniem jakichkolwiek testów impedancji. Jeżeli miernik wykaże natężenie prądu o wartości powyżej 1 Ampera, konieczne jest zidentyfikowanie jego źródła przed przystąpieniem do testów.

Jeżeli konieczne jest odłączenie elektrody od sieci elektrycznej, zalecane jest wykonanie tego podczas przerwy technicznej, gdy sieć elektryczna nie jest pod napięciem. W przeciwnym razie należy podłączyć do sieci tymczasowo elektrodę zapasową na czas prowadzenia testów. Nigdy nie należy odłączać elektrody uziemiającej, w przypadku spodziewanych wyładowań atmosferycznych. Uszkodzony uziom w blis-

kim sąsiedztwie może spowodować wzrost potencjału ziemi. Źródło awarii uziemienia nie koniecznie musi być w testowanym budynku, aby mogło spowodować powstanie różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami. Sytuacja taka może być szczególnie niebezpieczna w pobliżu podstacji koło budynku lub linii transmisyjnych, gdzie mogą pojawiać się prądy w uziemiu o znacznych wartościach. (Testy systemów uziemiających wieży transmisyjnych lub podstacji wymagają zastosowania specjalistycznych procedur dla przypadków typu „ziemia pod napięciem”), co nie zostało jednak opisane w niniejszym materiale). Testery impedancji uziemienia wykorzystują znacznie większą energię niż standardowe mierniki uniwersalne. Generują prąd o wartości do 250 mA. Należy zatem zadbać, aby każda osoba przebywająca na terenie prowadzenia pomiarów miała tego świadomość i nie dotykała końcówek pomiarowych uruchomionego miernika.



Rys. 3

Pomiar Rezystancji Przyłącza Elektrody

Przed rozpoczęciem testów elektrody należy sprawdzić jej styk z systemem połączeń w budynku. Większość testerów spadku potencjału umożliwia pomiar z 2 sondami o niskich impedancjach, czyli doskonale nadają się do tego typu prac. Wynik pomiaru powinien pokazywać wartość poniżej 1 Ohm'a:

- W punkcie głównego złącza do sieci
- Pomiędzy głównym złączem i przewodnikiem elektrody uziemiającej
- Pomiędzy przewodnikiem elektrody uziemiającej i elektrodą uziemiającą
- W każdym pośrednim punkcie połączeniowym pomiędzy głównym złączem i elektrodą uziemiającą.

Metoda spadku potencjału

Metoda spadku potencjału jest metodą "tradycyjną", służącą do pomiaru rezystancji elektrody. Jej procedura zdefiniowana jest w normie IEEE-81 "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System." W swej formie podstawowej sprawdza się dobrze w pomiarach niewielkich systemów z jedną lub dwoma prętami uziemiającymi. W niniejszym dokumencie opisano również metodę zbocza, która pozwala na osiągnięcie precyzyjnych wyników w przypadku dużych systemów. Należy pamiętać w tym przypadku o rozłączeniu elektrody uziemiającej od sieci elektrycznej budynku.

Jak to działa

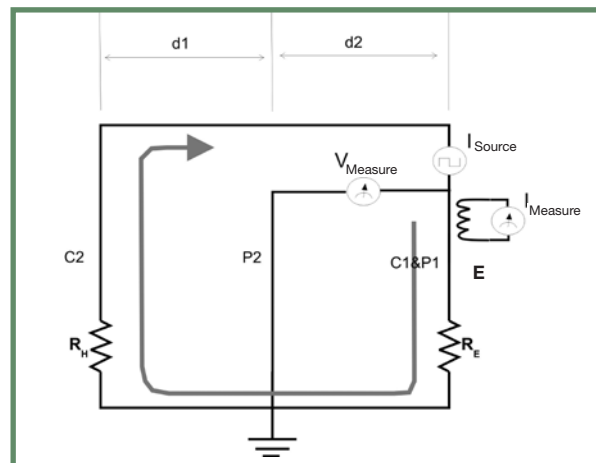
W metodzie spadku potencjału należy wykonać połączenia z ziemią w trzech miejscach. Dlatego też często zwana jest metodą trzech szpilek / sond. Można także wykorzystać czwartą sondę dla uzyskania większej precyzji pomiaru w przypadku elektrod o niskiej impedancji. W tym opisie jednak mowa będzie jedynie o trzech.

Należy wykonać połączenia do:

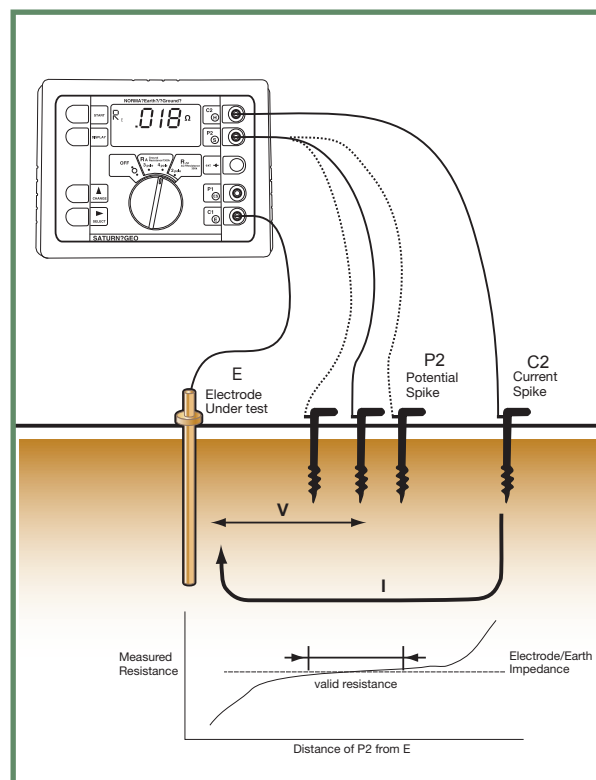
- E/C1 – testowanej elektrody uziemiającej
- S/P2 – potencjałowej szpilki pomiarowej umieszczonej w ziemi w pewnej odległości od elektrody. Elektroda ta zwana jest też dodatkową elektrodą potencjałową.
- H/C2 – szpilki prądowej umieszczonej w dalszej odległości. Elektroda ta zwana jest również dodatkową elektrodą prądową. Na rys. 4 pokazany jest schemat połączeń. Rys. 5 przedstawia z kolei sposób wykonania trzech połączeń typowego testera uziemienia.

Tester uziemienia wprowadza prąd zmienny do ziemi pomiędzy elektrodą testowaną E) i elektrodą prądową (C2). Tester uziemienia mierzy spadek napięcia pomiędzy sondą P2 i elektrodą E. Następnie, zgodnie z prawem Ohm'a wyliczana jest rezystancja pomiędzy P2 i E. Test przeprowadza się poprzez umieszczenie sondy C2 w pewnej odległości od elektrody testowanej. Następnie, pozostawiając w jednym miejscu sondę C2 należy przemieszczać sondę P2 po linii pomiędzy E oraz C2, dokonując w tym czasie pomiarów impedancji. Problem jednak polega na określeniu prawidłowej wartości rezystancji pomiędzy elektrodą a ziemią.

Powstaje pytanie: w którym miejscu zabrudzenie na elektrodzie przestaje wpływać na wzrost rezystancji i staje się ziemią? Należy pamiętać, że nie interesuje nas pomiar rezystancji pomiędzy elektrodą a naszymi sondami. Wykonujemy pomiar rezystancji, jaką napotka prąd uszkodzenia przepływający przez strukturę ziemi.



Rys. 4: Schemat połączeń w metodzie spadku potencjału



Rys. 5: Pomiar impedancji w zależności od pozycji sondy napięciowej pozwala na określenie impedancji ziemi

Uwagi do pomiarów

- Należy stosować dobrą miarkę taśmową
- Do wyznaczenia poziomej części krzywej pomiarów potrzeba przynajmniej 5, lub bardziej prawdopodobnie 7 lub 9 pomiarów
- Wskazane jest wykonanie trzech lub czterech odczytów rezystancji w 20 %, 40 % i 60 % odległości sondy P2 od E i C2. Pozwoli to na zastosowanie metody zbocza.
- Podczas umieszczania sond należy pamiętać, aby sonda prądowa, sonda potencjałowa oraz sonda testowana znajdowały się w linii prostej.
- W przypadku uzyskania bardzo dużej wartości impedancji, lub poza zakresem pomiarowym, należy połączyć wodą miejsce wokół testowanych elektrod w celu poprawy ich kontaktu z ziemią. Nie wprowadzi to błędów do pomiarów, gdyż zamiarem naszym nie jest zmierzenie rezystancji naszych sond, lecz elektrody.
- Sondę potencjałową i prądową należy trzymać oddzielnie, aby zapobiec sprzężeniu się generowanych przez nie sygnałów.
- W nowobudowanej lokalizacji zalecane jest wykonanie wielokrotnych pomiarów w odstępach czasowych, gdyż ziemia może zmniejszyć swoją rezystancję w miarę osiadania.

Sonda prądowa generuje napięcie między sobą a elektrodą testowaną. W pobliżu elektrody napięcie to ma wartość niewielką i dochodzi do zera po zetknięciu sondy P z elektrodą. Przyjmuje się, że w pobliżu elektrody sonda znajduje się w obszarze oddziaływania elektrody. W miarę zbliżania się do sondy prądowej

mierzona wartość napięcia sięga wartości napięcia generowanego przez tester. Gdzieś jednak pośrodku dzieje się coś interesującego. Przemieszczając się poza obszar oddziaływania elektrod w kierunku ziemi, prąd testowy nie powoduje znacznych zmian w potencjale. Rysując wyniki serii pomiarów, przemieszczając sondę potencjałową od testowanej elektrody w kierunku elektrody prądowej, można zauważyć spłaszczenie krzywej. Krzywą o idealnym kształcie przedstawia rys. 4 (na poprzedniej stronie). **Wartość rezystancji ziemi należy odczytywać z najbardziej płaskiego odcinka krzywej.** W praktyce, krzywa nie będzie idealnie płaska, lecz osiąga bardzo łagodne zbocze, co oznacza nieznaczne zmiany wartości rezystancji.

Wielkość obszaru oddziaływania elektrody zależy od głębokości i powierzchni. Przy elektrodach umieszczonych głębiej wymagane jest, aby sonda prądowa była umieszczona w większej odległości (patrz Tabela 1). W przypadku dużych pierścieni uziemiających, siatek lub innych bardziej skomplikowanych uziomów, obszar oddziaływania elektrod może sięgać nawet powyżej 100 metrów. W tabeli 2 podano sugerowane punkty początkowe rozmieszczenia sond potencjałowych i prądowych. Z uwagi na możliwość wzajemnego oddziaływania między elektrodą, a pierścieniami, siatkami, czy innym układem elektrod uziemiających, należy narysować wykres spadku potencjału, dla uzyskania dokładnych wyników.

Pomiar całkowitej rezystancji układu połączonych elektrod wykaże, że jej wartość jest niższa od najmniejszej wartości rezystancji pojedynczej elektrody. Mając np. dwa 2,5-metrowe pręty oddalone od siebie o ponad 2,5 m, można być pewnym, że całkowita rezystancja będzie znacznie niższa dla całego połączonego systemu. Pomiar 3-przewodowy da dokładne wyniki pod warunkiem użycia krótkiej końcówki pomiarowej C1, bądź też jeżeli nie przeszkadza nam błąd pomiaru o wartości ułamka Ohma wynikający z jej własnej rezystancji.

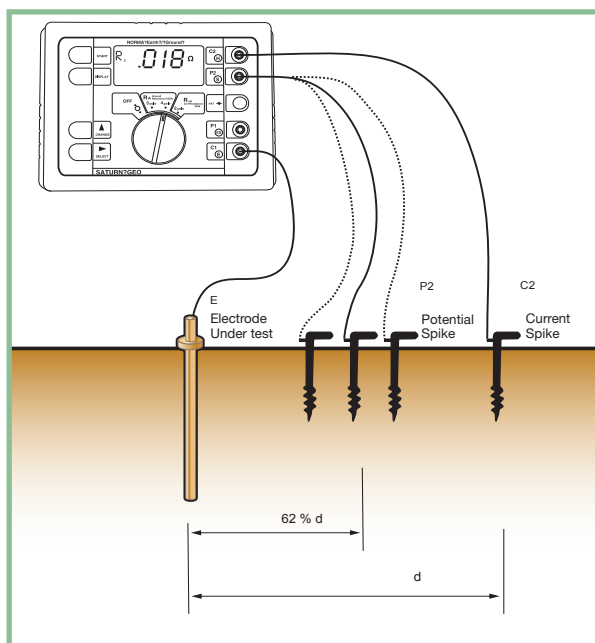
Przy wartościach rezystancji uziemienia przekraczających 10 Ohm, wpływ rezystancji końcówki C1 będzie niewielki. Przy każdym jednak bardzo precyzyjnym pomiarze, zwłaszcza w zakresie niskich rezystancji, dzięki 4-przewodowemu testerowi można wyeliminować wpływ końcówki C1. Podłączając oddzielny przewód (P1) do testowanej elektrody, można wyłączyć spadek napięcia wywołany przepływem prądu w C1.

Tabela 1: Orientacyjna odległość do Sond Pomocniczych – reguła 62 %

Głębokość testowanej elektrody (E)	Odległość E do sondy potencjałowej (P2)	Odległość E do elektrody prądowej (C2)
2	15	25
3	19	30
6	25	40
9	31	50

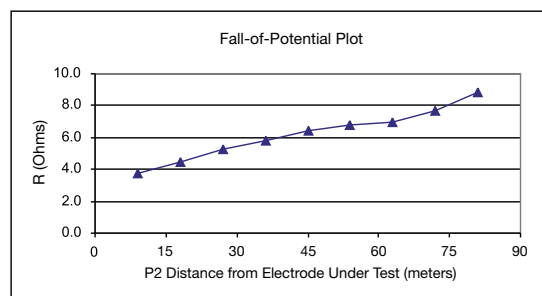
Tabela 2: Orientacyjna odległość do sond dodatkowych dla przypadku z układem elektrod

Najszerszy wymiar Przekątna, średnica lub linia prosta testowanego zestawu elektrod (E)	Odległość od E do sondy napięciowej (P2)	Odległość od E do Elektrody prądowej (C2)
20	30	50
25	50	80
30	70	100
50	100	170
70	130	200



Rys. 6: Rozmieszczenie sond przy zastosowaniu reguły 62 %.

Distance From Electrode Under Test C2 (m)	P2 (m)	P2/C2	Resistance R (ohms)
100	10	10%	3.7
100	20	20%	4.4
100	30	30%	5.3
100	40	40%	5.8
100	50	50%	6.5
100	60	60%	6.8
100	70	70%	7.0
100	80	80%	7.7
100	90	90%	8.8



Rys. 7: Impedancję uziemienia można określić z krzywej przy zastosowaniu metody zbocza.

Reguła 62 %

Istnieje możliwość wyboru krótszego sposobu pomiarów w przypadku spełnienia następujących kryteriów:

- Gdy testowana jest prosta elektroda (nieduża siatka lub inna płaszczyzna)
- Kiedy możliwe jest umieszczenie sondy prądowej w odległości co najmniej 30 m od testowanej elektrody
- Struktura gleby jest jednolita

Po spełnieniu powyższych kryteriów należy umieścić elektrodę prądową w odległości nie mniejszej niż 30 m od elektrody testowanej. Umieścić elektrodę napięciową w odległości 62 % całkowitego dystansu pomiędzy elektrodą prądową a elektrodą testowaną. Przy takim ustawieniu należy dokonać dwa lub więcej pomiarów: jeden z elektrodą potencjałową przybliżoną o 1 m do elektrody testowanej oraz kolejny pomiar – z elektrodą napięciową oddaloną o 1 m od elektrody testowanej (patrz rys. 6). Jeżeli wyniki pomiarów znajdują się na płaskim odcinku krzywej spadku potencjału, można spodziewać się, że te dwa wyniki będą do siebie zbliżone. Należy wtedy przyjąć wynik pierwszy jako właściwą wartość rezystancji.

Metoda zbocza

Duże elektrody lub rozbudowane systemy uziemiające wymagają niekiedy poczynienia indywidualnych rozważań. W przypadku nakreślenia wyników pomiarów dla 9 różnych lokalizacji P2, z których nie można jednoznacznie określić spłaszczonej części wykresu, przydatne jest wykorzystanie metody zbocza dla wyznaczenia impedancji ziemi. Na rys. 7 pokazano przykładowe zestawienie wyników pomiarów, na podstawie których nie można określić ewidentnego odcinka płaskiego charakterystyki. Krzywa ta jest odzwierciedleniem sytuacji, gdzie elektrody: prądowa i napięciowe nie wychodzą spoza obszaru oddziaływania testowanej elektrody. Jest kilka powodów otrzymania krzywej o takim kształcie:

- Rozmieszczenie elektrod wystarczająco daleko w przypadku rozległych systemów może okazać się trudne
- Brak możliwości umieszczenia sondy C1 w centralnej części elektrody
- Ograniczona wielkość obszaru pozwalająca na rozmieszczenie sond.

Mając odczyty pomiarów rezystancji z 20 %, 40 % i 60 % odległości pomiędzy punktami E i C2, można zastosować tę procedurę do posiadanych już danych. Należy wyliczyć współczynnik zbocza stosując pomiary

rezystancji dla 20 %, 40 % i 60 % odległości pomiędzy elektrodą testowaną E oraz elektrodą prądową C2.

$$\mu = \frac{(R_{60\%} - R_{40\%})}{(R_{40\%} - R_{20\%})}$$

Następnie należy sprawdzić w tabeli na odwrotnej stronie niniejszego opisu, czy stosunek P2/C2 odpowiada otrzymanej wartości μ . Będzie to wskazówka gdzie na otrzymanym wykresie należy określić wartość rezystancji uziemienia. Dla przykładowych danych z rysunku 7 można wyznaczyć:

$$\mu = \frac{(6,8 - 5,8)}{(5,8 - 4,4)} = 0,71$$

Odpowiadający w tabeli wartości $\mu = 0,71$ stosunek procentowy P2/C2 wynosi 59,6 %. A zatem orientacyjna wartość rezystancji uziemienia mierzona będzie w odległości 59,6 % x 100 m, lub też w odległości 59,6 m. Wartość ta jest bardzo bliska przyjętego punktu 60 % w odległości 60 m, gdzie odczytana rezystancja wynosi 6,8 Ohm'a. Bezpiecznie zatem będzie uznać, że rezystancja testowanej elektrody wynosi ok. 7 Ohm'ów.

Metoda selektywna

Metoda selektywna jest odmienną formą metody spadku potencjału i można ją wykonać przy użyciu wysokiej jakości mierników uziemienia, jak np. Saturn GEO-X. Testery posiadające taką możliwość mogą mierzyć impedancję uziemienia danej elektrody uziemiającej bez konieczności odłączania jej z systemu elektrod, bądź też od sieci energetycznej. W praktyce oznacza to, że nie jest konieczne oczekiwanie na wyłączenie całej sieci zasilającej dla uniknięcia ryzyka powstania przepięć w pracującej, a nie uziemionej sieci energetycznej.

Należy stosować te same zasady przy instalacji sondy napięciowej, co w przypadku metody spadku potencjału. Wypełniając założenia reguły 62 % (patrz poprzednia strona) można zredukować ilość koniecznych do wykonania pomiarów. W przeciwnym razie wskazane jest narysowanie pełnego wykresu spadku potencjału. Przy braku możliwości określenia spłaszczonego fragmentu krzywej należy wykorzystać metodę zbocza. Zarówno w przypadku metody spadku potencjału, jak i metody selektywnej stosowane są sondy: potencjałowa i prądowa, w celu wywołania przepływu prądu

elektrycznego i pomiaru spadku napięcia. Różnica jednak polega na tym, że testy selektywne pozwalają na dokładny pomiar prądu testowego płynącego w elektrodzie testowanej. Zerowy potencjał budynku, wszystkie elementy stalowe oraz elektroda uziemiająca są ze sobą połączone i uziemione. Płynący w systemie tych równoległych połączeń prąd rozgałęzia się do różnych przewodników.

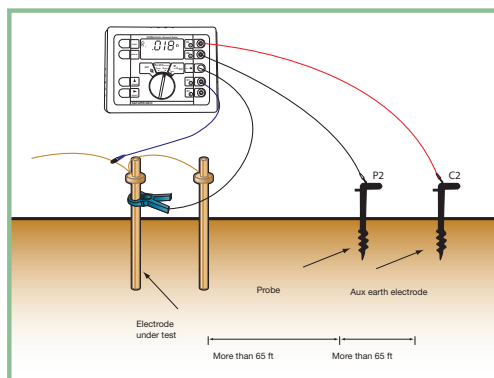
W przypadku zwykłego testu spadku potencjału, brak jest informacji jaka część prądu popłynie pomiędzy każdą z elektrod, a sondą prądową C2. Metoda selektywna prowadzona jest przy użyciu zintegrowanego cęgowego transformatora prądowego o wysokiej czułości, co pozwala na pomiar prądu testowego w testowanej elektrodzie.

Rysunek 9 przedstawia sposób włączenia transformatora testowego do obwodu pomiarowego. Selektywny tester uziemienia dokonuje cyfrowej filtracji mierzonego prądu, co minimalizuje wpływ prądów błądzących. Możliwość wykonania precyzyjnego pomiaru prądu płynącego w testowanej elektrodzie, w rezultacie pozwala na jej odizolowanie, co umożliwia jej przetestowanie bez odłączania od sieci lub innych elektrod.

pomiaru przepływającego przez obwód prądu o częstotliwości testowej. Metoda ta może być wykonana przy użyciu wybranych testerów spadku potencjału (np. Saturn GEO X lub Saturn GEO Plus) lub pojedynczego miernika cęgowego, np. GEO 30. Na rysunku 10 pokazano połączenie zacisków: źródłowego i pomiarowego miernika Saturn GEO X. Rysunek 11 (na kolejnej stronie) przedstawia równoważny obwód dla metody bez sond pomocniczych. Podczas testów elektrody uziemiającej budynek, zgodnych z tą metodą, tak naprawdę mierzona jest pętla razem z:

- Testowaną elektrodą
- Przewodnikiem elektrody uziemiającej
- Głównym złączem
- Zerem sieci
- Złącze zero-ziemia w budynku
- Przewody uziemiające budynek (pomiędzy elektrodami)
- Elektrody uziemiające budynek

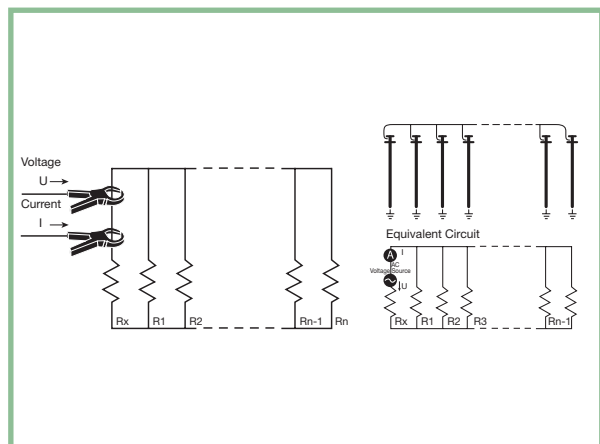
Ponieważ sieć wykorzystywana jest jako część obwodu, metodę tę można stosować wyłącznie po podłączeniu do niej kabli, a zatem nie wcześniej, niż po włączeniu budynku. W metodzie tej zaciski sprawdzają ciągłość wzajemnych połączeń pomiędzy wszystkimi powyższymi elementami. Nadzwyczajnie wysoka wartość odczytu lub obwód otwarty, pokazany przez miernik, wskazuje na złą jakość połączeń pomiędzy dwoma lub większą liczbą elementów krytycznych wyszczególnionych powyżej.



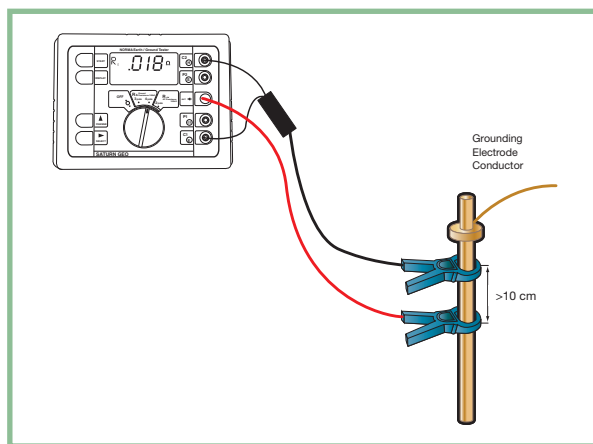
Rys. 8: Połączenia przy pomiarach selektywnych elektrody uziemiającej

Metoda bez użycia sond lub metoda cęgowa

Metoda "bez sond pomiarowych" lub metoda "cęgowa" pozwala na pomiar impedancji pętli połączonych elektrod uziemiających. Test jest prosty i można go wykonać na pracującym systemie (pod napięciem). Pomiar wykonywany jest przy użyciu specjalnego transformatora generującego napięcie na przewodniku uziemienia o specjalnej dla celów testowych częstotliwości. Drugi transformator służy do



Rys. 9: Połączenia przy pomiarach selektywnych impedancji elektrody



Rys. 10: Sposób włączenia Saturn GEO-X do pomiarów bez użycia sond

Metoda ta wymaga istnienia równoległej do testowanej elektrody trasy o niskiej impedancji. W większości budynków występują równoległe do typowych elektrod uziemiających, liczne dodatkowe elektrody uziemiające. Mogą to być elektrody prętowe, elektrody płaskie lub odizolowane przewody zerujące. Impedancja całkowita elektrod uziemiających budynku jest przeważnie bardzo mała. Rozważmy przykład – 40 elektrod prętowych, o długości ok. 20 U każda, połączonych ze sobą równoległe przewodem uziemiającym o niskiej impedancji. Rezystancja równoważna 40 elektrod połączonych równoległe wynosi zatem:

$$R_{eq} = \frac{1}{40 \times \frac{1}{20\Omega}} = \frac{1}{2}\Omega$$

Ponieważ 0,5 Ohm'a jest wartością bardzo małą, w porównaniu do rezystancji, której można się spodziewać przy pomiarze pojedynczej testowanej elektrody, można założyć, że znaczna wartość zmierzonej rezystancji jest rezystancją ziemi testowanej elektrody. W metodzie tej jest kilka potencjalnych pułapek:

- Przy pomiarze w złym miejscu całego systemu istnieje obawa, że otrzymany wynik będzie rezystancją pętli, na przykład pierścienia uziemiającego, lub też podłączonego systemu odgromowego. Jeżeli zamiarem był pomiar rezystancji ziemi, odczyt pomiaru pętli przewodzącej wykazałby nieoczekiwanie małą wartość.
- Niska wartość rezystancji jest wynikiem wzajemnego oddziaływania znajdujących się blisko siebie innych elektrod, jak np.: zakopany przewód, rury wodne itp.
- Jakość pomiarów zależy od obecności równoległych przewodników. Jeżeli dany budynek zasilany jest wyłącznie przez generator lub transformator wyposażony tylko w jedną elektrodę, poczynienie

założenia, że istnieje wiele równoległych przewodów jest mylne, a pomiar rezystancji wskaże rezystancję ziemi dla dwóch elektrod. Stosując tę metodę nie uzyskamy wartości rezystancji ziemi.

- Problem z systemem uziemiającym budynku może kolidować z odczytami pomiarów.

Ogólnie rzecz biorąc, jeżeli odczytany wynik będzie mniejszy niż 1 Ohm, należy go ponownie sprawdzić, aby upewnić się, czy nie jest to pomiar całej pętli przewodnika, zamiast rezystancji własnej ziemi.

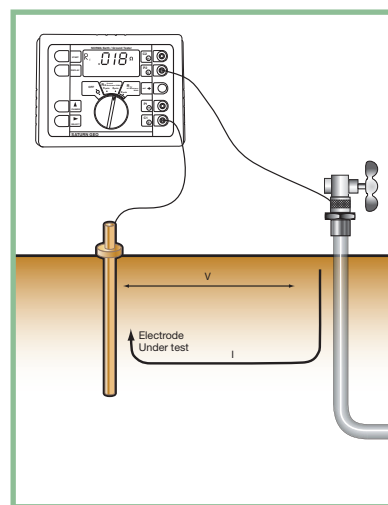
Metoda dwóch elektrod

W metodzie dwóch elektrod wykorzystuje się „elektrodę pomocniczą”, którą jest np. rura wodna. Sposób podłączenia pokazano na rys. 12. Tester mierzy zespoloną rezystancję uziemienia testowanej elektrody, rezystancję uziemienia elektrody pomocniczej oraz rezystancję przewodów pomiarowych. Zakłada się, że rezystancja uziemienia elektrody pomocniczej jest bardzo mała, co rzeczywiście jest prawdą w przypadku metalowej rury bez elementów plastikowych lub izolowanych złączy. Wpływ przewodów pomiarowych może być pominięty po wykonaniu pomiaru oporności zwartych końcówek i odjęciu otrzymanej wartości od całkowitej pomierzonej rezystancji uziemienia.

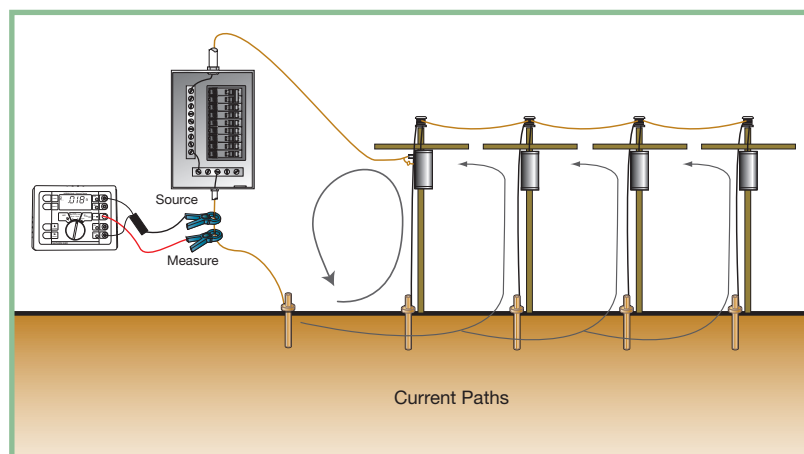
Choć jest to sposób bardzo wygodny należy pamiętać, że przy metodzie dwóch elektrod:

- Rura wodna może posiadać elementy PVC, znacznie podnoszące wartość rezystancji uziemienia. W takim przypadku można otrzymać bardzo duże wartości rezystancji,
- Elektroda pomocnicza może ponadto znajdować się w obszarze oddziaływania elektrody testowanej. W takim przypadku miernik może pokazać wartość zaniżoną rezystancji w stosunku do rzeczywistej.

Z uwagi na powyższe niewiadome mające przy tej metodzie znaczenie, jej stosowanie zalecane jest wyłącznie w przypadku, gdy system uziemiający oraz elektroda wspomagająca są dobrze znane.



Rys. 12: Obwód równoważny dla pomiaru dwupunktowego



Rys. 11: Trasy przepływu prądów w metodzie bez sond

Podsumowanie metod testowania elektrod uziemiających		
	Korzyści	Wady
Metoda spadku potencjału	- Powszechnie zaakceptowane - Charakterystyczna krzywa świadczy o uzyskaniu dobrych wyników pomiarów	- Konieczność rozłączania uziemienia - Możliwe trudności z wbiciem sond - Możliwy brak miejsca do wbicia sond w pobliżu elektrody uziemiającej
Metoda selektywna	- Niekonieczne jest rozłączanie elektrod - Powszechnie zaakceptowane - Charakterystyczna krzywa świadczy o uzyskaniu dobrych wyników pomiarów	- Możliwe trudności z wbiciem sond - Możliwy brak miejsca do wbicia sond w okolicy elektrody uziemiającej
Metoda bez sond	- Wygoda - Oszczędność czasu - Nie wymaga rozłączania obwodu - Nie wymaga elektrod	- Zakłada się obecność równoległej ścieżki przewodzącej o niskiej rezystancji - Możliwość uzyskania odczytów o bardzo niskich wartościach w przypadku pomiarów w pobliżu pętli uziemiającej
Metoda dwóch sond	- Wygoda - Oszczędność czasu - Nie wymaga rozłączania obwodu - Nie wymaga elektrod	- Brak możliwości ustalenia stopnia integralności „elektrody wspomagającej” - Brak pewności co do umiejscowienia elektrody w obszarze oddziaływania innych elektrod

**Tabela wyników metody zbocza
(dokładność: 2 miejsca po przecinku)**

μ	P2/C2	μ	P2/C2	μ	P2/C2	μ	P2/C2	μ	P2/C2
	%		%		%		%		%
0,40	64,3	0,65	60,6	0,90	56,2	1,15	50,7	1,40	43,1
0,41	64,2	0,66	60,4	0,91	56,0	1,16	50,4	1,41	42,7
0,42	64,0	0,67	60,2	0,92	55,8	1,17	50,2	1,42	42,3
0,43	63,9	0,68	60,1	0,93	55,6	1,18	49,9	1,43	41,8
0,44	63,7	0,69	59,9	0,94	55,4	1,19	49,7	1,44	41,4
0,45	63,6	0,70	59,7	0,95	55,2	1,20	49,4	1,45	41,0
0,46	63,5	0,71	59,6	0,96	55,0	1,21	49,1	1,46	40,6
0,47	63,3	0,72	59,4	0,97	54,8	1,22	48,8	1,47	40,1
0,48	63,2	0,73	59,2	0,98	54,6	1,23	48,6	1,48	39,7
0,49	63,0	0,74	59,1	0,99	54,4	1,24	48,3	1,49	39,3
0,50	62,9	0,75	58,9	1,00	54,2	1,25	48,0	1,50	38,9
0,51	62,7	0,76	58,7	1,01	53,9	1,26	47,7	1,51	38,4
0,52	62,6	0,77	58,5	1,02	53,7	1,27	47,4	1,52	37,9
0,53	62,4	0,78	58,4	1,03	53,5	1,28	47,1	1,53	37,4
0,54	62,3	0,79	58,2	1,04	53,3	1,29	46,8	1,54	36,9
0,55	62,1	0,80	58,0	1,05	53,1	1,30	46,5	1,55	36,4
0,56	62,0	0,81	57,9	1,06	52,8	1,31	46,2	1,56	35,8
0,57	61,8	0,82	57,7	1,07	52,6	1,32	45,8	1,57	35,2
0,58	61,7	0,83	57,5	1,08	52,4	1,33	45,5	1,58	34,7
0,59	61,5	0,84	57,3	1,09	52,2	1,34	45,2	1,59	34,1
0,60	61,4	0,85	57,1	1,10	51,9	1,35	44,8		
0,61	61,2	0,86	56,9	1,11	51,7	1,36	44,5		
0,62	61,0	0,87	56,7	1,12	51,4	1,37	44,1		
0,63	60,9	0,88	56,6	1,13	51,2	1,38	43,8		
0,64	60,7	0,89	56,4	1,14	50,9	1,39	43,4		

Fluke. *Twój świat działa bez wad*

Fluke Corporation
P.O. Box 9090
Everett, WA USA 98206
Web: www.fluke.com

Fluke Europe B.V.
P.O. Box 1186
5602 BD Eindhoven
The Netherlands
Web: www.fluke.eu

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853
or Fax (425) 446 -5116
In Europe/M-East/Africa +31 (0)40 2 675 200
or Fax +31 (0)40 2 675 222
In Canada (905) 890-7600
or Fax (905) 890-6866
From other countries +1 (425) 446 -5500
or Fax +1 (425) 446 -5116
Web: www.fluke.pl

© Copyright 2007 Fluke Corporation. Wydrukowano w Holandii, 08/2007 Dane mogą ulec zmianie bez uprzedzenia.

Pub_ID: 11095-pol