

UNIWERSALNY MIERNIK REZYSTANCJI UZIEMIENIA MEGGER DET4TCR2

Wartość rezystancji uziemienia jest jednym z parametrów decydujących o bezpieczeństwie systemu elektroenergetycznego. W artykule opisano najnowszy miernik rezystancji uziemienia brytyjskiej firmy MEGGER LIMITED, który mierzy rezystancję uziemienia wszystkimi obecnie znanymi metodami. Charakterystykę miernika uzupełniono opisem metod pomiarowych rezystancji uziemienia.

Charakterystyka miernika

Obudowa

Miernik Megger DET4TCR2 umieszczono w obudowie z tworzywa ABS oraz ze specjalnej gumy o odpowiedniej elastyczności (rys. 1). Górną i dolną część obudowy zaprojektowano w taki spo-



Rys. 1. Obudowa miernika Megger DET4TCR2



Rys. 2. Zawiasy mocujące pokrywę obudowy

sób, aby zapewnić właściwą klasę szczelności. Wzdłuż całej długości krawędzi górnej części obudowy umieszczono rowek wypełniony silikonową uszczelką, natomiast wzdłuż dolnej – dodatkową krawędź, która szczelnie wypełnia przestrzeń rowka w momencie połączenia obu części obudowy. Okno wyświetlacza zabezpieczono szybką z poliwęglanu, przymocowaną do obudowy taśmą o dużej przyczepności i szczelno-

ści. Na osi obrotowej przełącznika zakresów umieszczono uszczelkę typu O-ring, a przycisk funkcyjny zamocowano na gumowej płaszczyźnie przylegającej całą swoją powierzchnią do obudowy. Dzięki tym zabiegom osiągnięto stopień szczelności obudowy IP54 i szeroki zakres temperatur pracy od

-15°C do +55°C. Integralną część obudowy stanowi zamocowana na dwóch zawiasach pokrywa (rys. 2), której położenie można ustalać w dwóch pozycjach. Można zamknąć pokrywę nad płytą czołową miernika, skutecznie chroniąc płytę czołową przyrządu przed mechanicznym oddziaływaniem, lub po stronie spodniej obudowy podczas wykonywania pomiarów. Takie rozwiązanie umożliwia bezpieczne noszenie przyrządu w torbie narzędziowej. Na pokrywie umieszczono skróconą instrukcję obsługi w przyjaznej dla użytkownika, obrazkowej formie. Przewody pomiarowe mogą pozostawać podłączone do miernika niezależnie od położenia pokrywy (rys. 3).

Wposażenie

Zestaw akcesoriów, w które został wyposażony przyrząd jest konsekwencją przyjętego założenia, iż miernik będzie pracować w trudnych warunkach przemysłowych i środowiskowych. Przyszły użytkownik wraz z przyrządem otrzymuje solidną walizkę z tworzywa, z wytłoczonymi stanowiskami do przechowywania miernika, cęgów i przewodów



Rys. 4. Miernik uziemień DET4TCR2 wraz z akcesoriami



Rys. 3. Gniazda pomiarowe

pomiarowych, sond oraz z miejscem do przechowywania instrukcji obsługi, certyfikatów itp. (rys. 4). Otrzymuje również kompletny zestaw solidnych przewodów pomiarowych o długości 15 m, 10 m, 10 m, 3 m, zasilacz do ładowania akumulatorów oraz cztery sondy pomiarowe. Producent oferuje również dwie wersje z bogatszym wyposażeniem:

Rys. 5. Opcjonalna walizka z zestawem przewodów pomiarowych i sond



- DET4TCR2+CLAMPS zawierającą dodatkowo cęgi prądowe Iclamp, cęgi napięciowe Uclamp, adaptory kątowe do podłączania przewodów bez końcówek, skrzynkę kalibracyjną do sprawdzania przyrządu, ramkę kalibracyjną do sprawdzania cęgów, oraz
- najbardziej wyposażoną wersję DET4TCR2+KIT, która oprócz cęgów, kalibratorów i adapterów kątowych zawiera także walizkę z dodatkowym zestawem przewodów pomiarowych o długości 50 m, 50 m, 30 m, 30 m oraz sondami typu „świder” (rys. 5).

Możliwości funkcjonalne

Miernik wyposażono we wskaźnik cyfrowy. Pomiar rezystancji uziemienia jest wykonywany prądem przemiennym. Użytkownik ma do wyboru kilka częstotliwości sygnału pomiarowego 94, 105, 111 lub 128 Hz, które może dowolnie zmieniać wówczas, gdy na danej częstotliwości występują silne zakłócenia uniemożliwiające uzyskanie prawidłowego wyniku pomiaru. Częstotliwości dobrano w taki sposób, aby były odległe od harmonicznych sieci co maksymalnie ogranicza wpływ prądów błądzących w gruncie na wynik badania. Megger DET4TCR2 umożliwia pomiar rezystancji uziemienia wszystkimi stosowanymi obecnie metodami pomiarowymi. Przyrząd wykonuje badanie w układzie dwu-, trój-, czteroprzewodowym (rezystywność gruntu), a także mierzy dwoma metodami rezystancję uziemienia pojedynczych elektrod bez ich odłączania od systemu uziemienia - metodą cęgową z wbijaniem sond pomocniczych (metoda ART od Attached Rod Technique) oraz metodą cęgową bez wbijania sond pomocniczych. Dodatkową możliwością funkcjonalną jest pomiar prądu upływowego w instalacji w zakresie od 0,5 mA do 19,9 A. Zakres pomiarowy rezystancji uziemienia wynosi od 0,01 Ω do 200 k Ω , a maksymalna rozdzielczość pomiaru 0,01 Ω . Miernik przed wykonaniem badania z użyciem sond pomocniczych sprawdza parametry w układzie pomiarowym. Kontrolowana jest rezystancja zarówno pętli prądowej, jak i w obwodzie pomiaru napięcia. Jeżeli wartość rezystancji jednego z obwodów przewyższa wartość dopuszczalną, na wyświetlaczu urządzenia pojawia się stosowna informacja, a pomiar zostaje zablokowany. Operator ma możliwość wyboru napięcia pomiarowego: 25 V lub 50 V. Przyrząd wyposażono w automatyczną blokadę pomiaru w obecności takiego poziomu napięcia zewnętrznego (40V pp), przy którym podane w instrukcji obsługi dokładności pomiaru nie mogą być spełnione. Przyrząd wyposażono w możliwość kalibracji cęgów prądowych przez użytkownika. Miernik jest zasilany z akumulatora. Ma wbudowaną ładowarkę oraz posiada sygnalizację rozładowania akumulatora.

Metody pomiaru uziemień

Trójprzewodowa metoda pomiaru

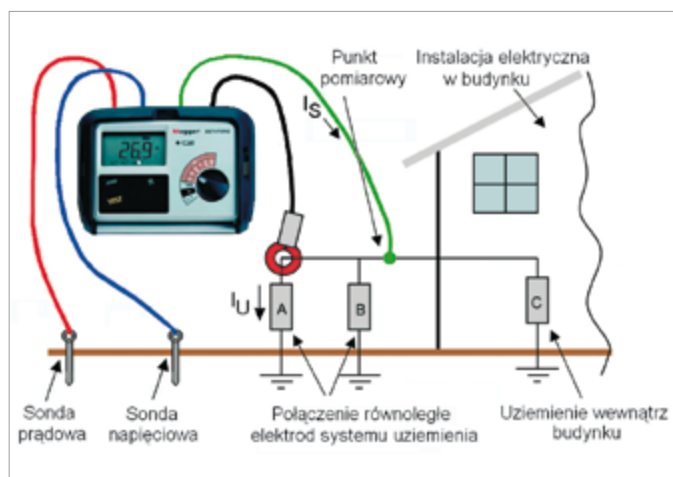
Metoda trójprzewodowa jest metodą zalecaną przez normę i najbardziej rozpowszechnioną. W tej metodzie pomiar jest wykonywany prądem przemiennym o stałej wartości. Przepływ prądu

wymuszony jest między elektrodą badanego systemu uziemienia a sondą pomocniczą (prądową). Druga sonda pomocnicza (napięciowa) jest używana do pomiaru spadku napięcia będącego rezultatem przepływu prądu pomiarowego. Z wartości napięcia i prądu jest obliczana wartość rezystancji. Metoda trójprzewodowa, w wyniku wieloletnich doświadczeń jej stosowania, doczekała się kilku wariantów, które stosuje się w zależności od specyfiki badanego systemu uziemienia. Błąd pomiarowy dla tej metody wynosi $\pm 2\%$ wartości odczytanej ± 3 cyfry.

Trójprzewodowa metoda pomiaru rezystancji uziemienia stwarza warunki do uzyskania najbardziej wiarygodnego wyniku badania. Ma ona jednak dwie podstawowe wady. Po pierwsze jest czasochłonna, po drugie pracochłonna, gdyż wymaga odłączania poszczególnych elektrod od systemu uziemienia co wpływa na bezpieczeństwo systemu elektroenergetycznego. W praktyce zdarza się, że odseparowanie elektrody od systemu nie jest możliwe ze względu np. na trwały sposób połączenia elektrody z systemem. Bywa również tak, że nie można odłączyć elektrody ze względów bezpieczeństwa, gdyż w badanym systemie elektroenergetycznym nie można wyłączyć zasilania. W takich sytuacjach jedynym rozwiązaniem pozostaje skorzystanie z jednej z dwóch metod pomiaru rezystancji uziomu bez jego odłączania od systemu uziemienia.

Metoda ART pomiaru cęgami z wbijaniem sond

Metoda ART gwarantuje rzetelne wyniki pomiarów pojedynczych elektrod w systemach uziemień bez ich separowania od systemu. W metodzie tej przyrząd podłącza się do systemu uziemienia w taki sam sposób, jak przy klasycznej metodzie trójprzewodowej. Dodatkowo, na przewodzie łączącym badaną elektrodę z systemem uziemienia, zapinane są cęgi prądowe. Cęgi mierzą prąd płynący wyłącznie przez badany uziom. Miernik na podstawie porównania wartości prądów płynących przez system uziemienia i przez badany uziom precyzyjnie oblicza rezystancję przejścia do ziemi badanej elektrody. W metodzie ART, podobnie jak w trójprzewodowej metodzie pomiaru krytyczne znaczenie ma sposób rozmieszczenia sond pomocniczych. Wyniki pomiarów można weryfikować przez zmianę kierunku rozmieszczenia sond oraz przez zmianę odległości między sondami. Aby wyjaśnić zasadę pomiaru metodą ART prześledźmy na przykładzie kolejne etapy w sekwencji badania (rys. 6). W pierwszej kolejności mierzony jest prąd całkowity I_s generowany przez miernik, doprowadzany do systemu uziemienia oraz spadek napięcia między elektrodami pomocniczymi – napię-



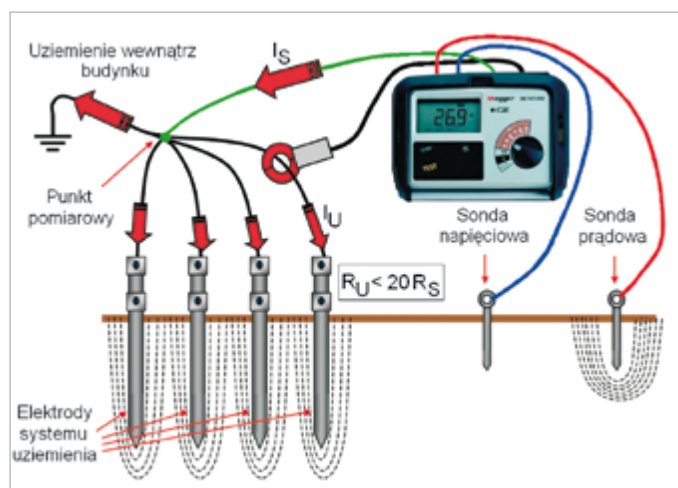
Rys. 6. Układ pomiarowy w metodzie ART

ciową i prądową. Na podstawie wyników tych pomiarów obliczana jest rezystancja R_s całego systemu uziemienia. Załóżmy, że rezystancja ta wynosi $R_s=1,9 \Omega$, a wartość prądu $I_s=9 \text{ mA}$. Następnie za pomocą uchwytu cęgowego mierzony jest prąd I_U płynący przez badaną elektrodę systemu uziemienia $I_U=4 \text{ mA}$. Spadek napięcia między systemem uziemienia a miejscem wbicia sondy napięciowej (tzw. ziemią odniesienia) wynosi $U_s=I_s \times R_s=0,017 \text{ V}$. Na podstawie prawa Ohma jest obliczana rezystancja przejścia do ziemi badanej elektrody uziemienia $R_U=U_s/I_U=4,25 \Omega$. Metoda ART ma również pewne ograniczenia w praktycznych zastosowaniach, które należy brać pod uwagę. Otóż w realnych warunkach przez badaną elektrodę może płynąć prąd związany z funkcjonowaniem systemu elektroenergetycznego, co może pogarszać dokładność pomiaru. Również dokładność pomiaru wykonanego amperomierzem cęgowym jest mniejsza niż w przypadku pomiaru amperomierzem podłączonym szeregowo do obwodu. Miernik Megger DET4TCR2 wyposażono w ochronę przeciwzakłóceńową oraz skuteczną cyfrową filtrację prądów innych niż generowane przez przyrząd. Mikroprocesor urządzenia automatycznie wykonuje wszystkie obliczenia konieczne do uzyskania wyniku pomiaru rezystancji badanej elektrody podłączonej do systemu uziemienia. Błąd pomiarowy dla tej metody wynosi $\pm 5\%$ wartości odczytanej ± 3 cyfry.

Specyfika metody ART

Czułość amperomierza cęgowego i zakres pomiarowy przyrządu decyduje o zakresie pomiaru rezystancji uziemienia pojedynczej elektrody, która nie została odłączona od systemu uziemienia. Amperomierz cęgowy miernika DET4TCR2 mierzy z deklarowaną dokładnością wszystkie te pojedyncze elektrody, których rezystancja przejścia do ziemi nie jest większa niż 20-krotna wartość rezystancji uziemienia całego systemu, którego częścią składową jest badana elektroda (rys. 7). W większości przypadków wynik pomiaru pozwala ocenić sprawność pojedynczej elektrody. Jeżeli rezystancja przejścia do ziemi danej elektrody jest zbyt duża wówczas miernik zasygnalizuje ten fakt na wyświetlaczu. Dla operatora stanowi to również informację, która pozwala podjąć czynności naprawcze.

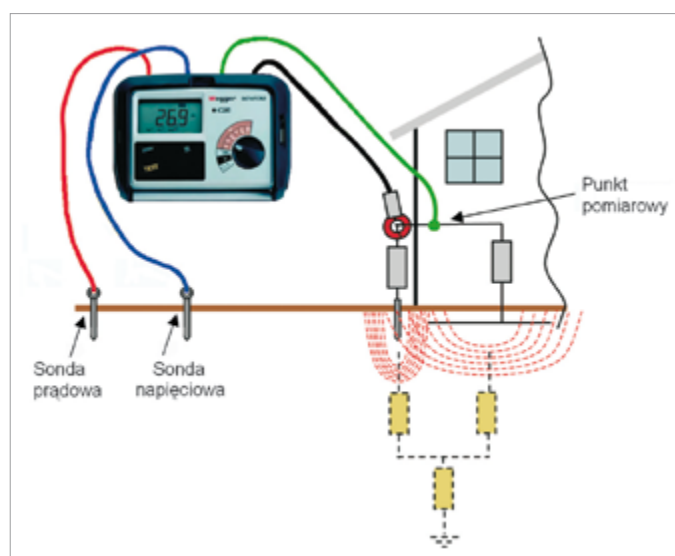
Wykonując pomiary metodą ART trzeba również, podobnie jak w tradycyjnej metodzie trójprzewodowej (spadku potencjału), brać pod uwagę obecność „obszarów rezystancji” poszczególnych elektrod wchodzących w skład systemu uziemienia. W wielu przy-



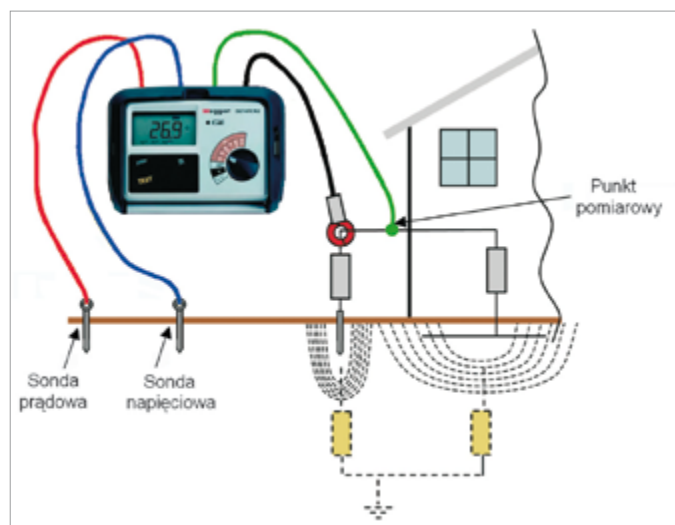
Rys. 7. Warunek dokładnego pomiaru pojedynczej elektrody $R_U < 20R_s$ w metodzie ART

padkach „obszar rezystancji” uziemienia wewnątrz budynku (rury instalacji wodnej i gazowej, uzbrojenie budynku) stanowi rozległą strefę, która może nakładać się na „obszar rezystancji” badanej elektrody wpływając na rzetelność pomiaru. Na rys. 8 i 9 pokazano sytuacje, w których „obszary rezystancji” poszczególnych elementów systemu uziemienia nachodzą i nie nachodzą na siebie. W przypadku nachodzenia na siebie „obszarów rezystancji” do układu pomiarowego jest dodawana pasożytnicza rezystancja. W takiej sytuacji pomiar metodą ART okaże się niewiarygodny i jedynym sposobem na uzyskanie rzetelnego wyniku pozostanie skorzystanie z metody trójprzewodowej po uprzednim oddzieleniu badanej elektrody od systemu uziemienia.

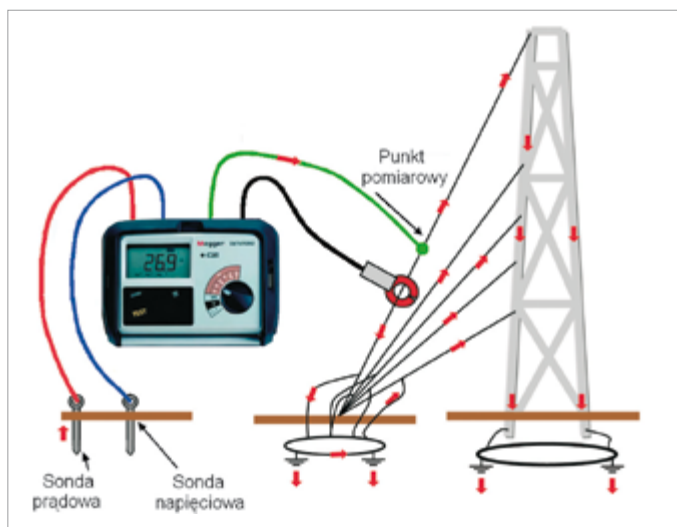
Jak zawsze podczas wykonywania pomiarów rezystancji uziemienia, również i w tym przypadku, operator musi znać budowę systemu uziemienia, aby prawidłowo skonfigurować układ pomiarowy. Na rys. 10 przedstawiono sytuację, w której układ pomiarowy został skonfigurowany nieprawidłowo. Maszt stabilizowany jest linkami stalowymi przymocowanymi do wspólnej kotwicy



Rys. 8. „Obszary rezystancji” elementów systemu uziemienia nachodzą na siebie



Rys. 9. „Obszary rezystancji” elementów systemu uziemienia nie nachodzą na siebie

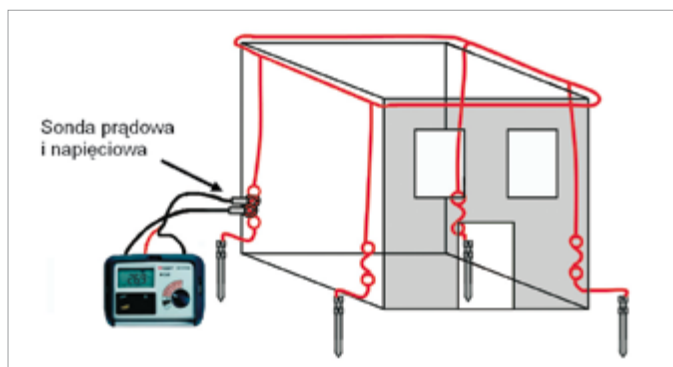


Rys. 10. Nieprawidłowa konfiguracja układu pomiarowego w metodzie ART

umieszczonej w gruncie. W celu zmierzenia rezystancji przejścia do ziemi jednej z lin mocujących maszt podłączono do niej cęgi pomiarowe. Prąd mierzony przez cęgi pomiarowe nie jest prądem płynącym bezpośrednio do ziemi. Zawiera on również składowe płynące przez pozostałe linki do masztu i dalej do ziemi. Zawsze podczas wykonywania pomiaru metodą ART należy przeanalizować ścieżkę przepływu mierzonego prądu. Mierzony prąd musi płynąć wyłącznie do gruntu wokół badanej elektrody (w danym przykładzie linki).

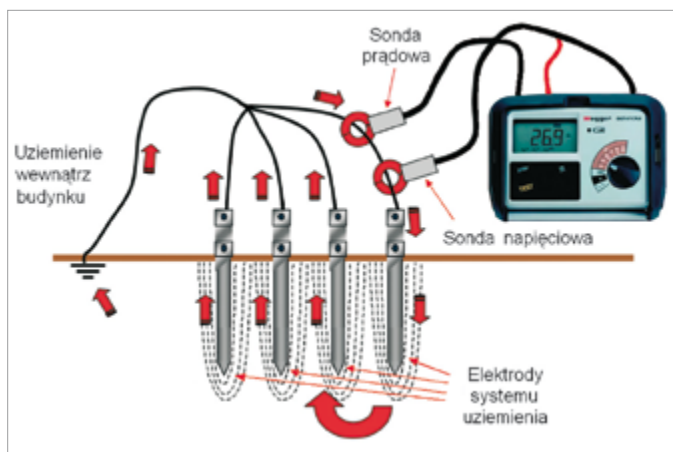
Metoda pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

Metodę pomiaru rezystancji uziemienia cęgami bez wbijania sond stosuje się wówczas, jeżeli wymagana jest szybka lokalizacja problemu w systemie uziemienia. Główną zaletą metody jest bardzo prosta konfiguracja układu pomiarowego, która nie wymaga wbijania sond pomocniczych oraz separowania elektrod od systemu uziemienia (rys. 11). Zawsze jednak pomiary wykonane tą metodą traktuje się jako wstępne. Jeżeli wynik pomiaru odbiega od normy należy potwierdzić diagnozę przyrządem mierzącym metodą trójprzewodową. Postępując w ten sposób zwiększa się efektywność sprawdzania i zachowuje wymaganą dokładność wyników. Metoda pomiaru cęgami oparta jest na prawie Ohma. Błąd pomiarowy dla tej metody wynosi $\pm 7\%$ wartości odczytanej ± 3 cyfry. Sygnał pomiarowy jest doprowadzany do układu pomiarowego przez son-



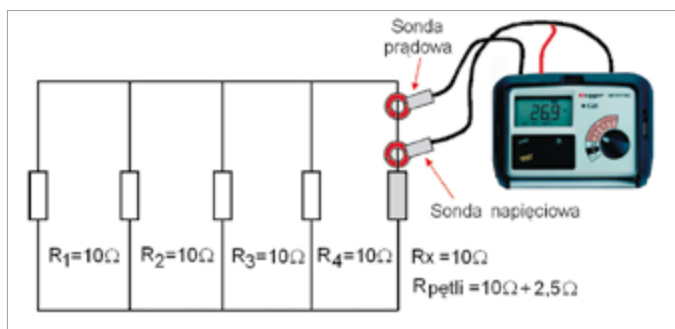
Rys. 11. Konfiguracja układu pomiarowego w metodzie pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

dę prądową, natomiast sondą odbiorczą (napięciową) mierzone jest napięcie w układzie. Na rys.12 przedstawiono układ pomiarowy. Pętla, w której płynie prąd pomiarowy, musi być zamknięta. Mierzona jest rezystancja całej pętli, na którą oprócz rezystancji przejścia do ziemi badanej elektrody składa się także równoległe połączenie rezystancji pozostałych elektrod w systemie uziemienia, rezystancja przewodów i połączeń w systemie uziemienia. O ile w metodzie trójprzewodowej mierzona jest tylko rezystancja przejścia do ziemi badanej elektrody, o tyle w metodzie cęgowej bez wbijania sond uwzględniane są wszystkie okoliczności, które mają



Rys. 12. Układ pomiarowy w metodzie pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

TOMTRONIX

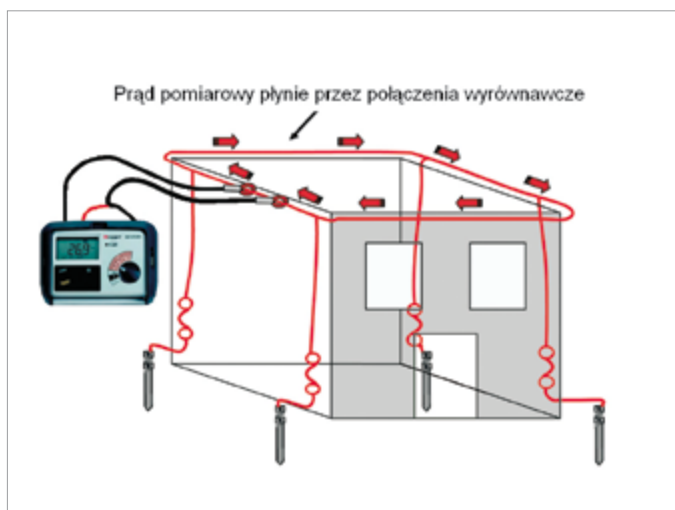


Rys. 13. Schemat zastępczy dla metody pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

wpływ na rezystancję ścieżki, którą prąd płynie do ziemi w czasie zwarcia np. niepewne połączenie z elektrodą lub duża rezystancja przewodów połączeniowych. Im więcej jest ścieżek powrotnych dla prądu pomiarowego (elektrod w systemie), tym mniejszy jest błąd pomiaru wynikający z metody. Przyrząd zapina się na badanej elektrodzie o rezystancji przejścia do ziemi R_x (rys. 13). Prąd pomiarowy płynie przez rezystancję R_x , a następnie dzieli się między rezystancje pozostałych elektrod, aby przez grunt zamknąć pętlę. Rezystancję pętli można obliczyć z równania:

$$R_{petli} = R_x + (1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n))$$

W systemie składającym się z 5 elektrod z rzeczywistą rezystancją przejścia do ziemi poszczególnych elektrod 10Ω , zmierzona rezystancja pętli wyniesie $R_{petli} = 10 + 2,5 = 12,5 \Omega$, a dodatkowo, zawsze dodatni, błąd związany z metodą pomiaru – $2,5 \Omega$. W przypadku 50 elektrod ten błąd wyniesie zaledwie $0,2 \Omega$. Warunkiem



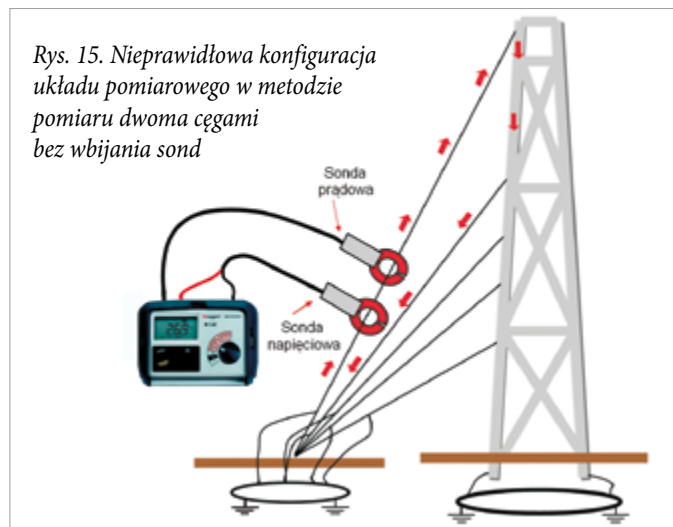
Rys. 14. Nieprawidłowa konfiguracja układu pomiarowego w metodzie pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

stosowania tej metody pomiarowej jest dobra znajomość systemu uzimienia. Nawet w przypadku nieskomplikowanego systemu uzimienia można popełnić błąd i niewłaściwie skonfigurować układ pomiarowy (rys. 14).

Specyfika pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

Z tej metody pomiarowej można korzystać wyłącznie w przypadku dużych systemów uzimień opartych na wielu elektrodach połączonych

równolegle. Natomiast nie jest ona przydatna wówczas, kiedy mamy do czynienia z jednoelektrodowymi uzimieniami, gdyż w takiej sytuacji pętla dla przepływu prądu pomiarowego nie zamyka się. Z tego powodu z metody cęgowej nie korzysta się przy sprawdzaniu lub odbiorach poszczególnych elektrod w trakcie budowy systemu uzimienia. Poza tym, nie można z niej korzystać również wówczas, kiedy istnieje alternatywna, w stosunku do gruntu, ścieżka powrotu o małej rezystancji. Taka sytuacja występuje np. w przypadku podstacji lub masztów sieci komórkowych. W przykładzie przedstawionym na rys. 15 prąd pomiarowy będzie płynął przez pierścień (otok) w gruncie, a nie przez grunt. W



Rys. 15. Nieprawidłowa konfiguracja układu pomiarowego w metodzie pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

tym przypadku, wynik uzyskany cęgowym miernikiem uzimienia nie będzie świadczył o jakości badanego systemu uzimienia – będzie rezystancją pętli utworzonej przez elementy systemu uzimienia. Operator musi również uwzględniać takie sytuacje, kiedy część systemu uzimienia znajduje się w obszarze oddziaływania badanej elektrody. W takich przypadkach wynik pomiaru elektrody będzie mniejszy od rzeczywistej wartości. W tej metodzie, ze względu na ograniczenia związane z praktycznym wykorzystaniem cęgów (wymiały), sygnał pomiarowy ma dużą częstotliwość. Takie rozwiązanie jest mniej reprezentatywne niż w przypadku przyrządów korzystających z trójprzewodowej metody pomiaru lub metody ART, które pracują na częstotliwości bliskiej 100 Hz . Ponadto przyrządy te są czułe na zakłócenia pochodzące od znajdujących się w pobliżu urządzeń elektrycznych. Tym czym różni metodę cęgową od trójprzewodowej metody pomiaru oraz metody ART jest również to, że nie ma możliwości weryfikacji uzyskanych wyników, np. tak jak w metodzie trójprzewodowej lub ART poprzez zwiększenie odległości między sondami pomocniczymi.

Podsumowanie

Użytkownik wraz z miernikiem Megger DET4TCR2 otrzymuje instrukcję obsługi w języku polskim i angielskim, 36-miesięczną gwarancję, a także indywidualny certyfikat wystawiony przez laboratorium posiadające akredytację brytyjskiego urzędu miar, które potwierdza wykonanie w systemie jakości ISO 9001, zgodność z odpowiednimi normami Unii Europejskiej oraz zawiera szczegółowe wyniki pomiarów tych parametrów, których dokładności wyspecyfikowano w instrukcji obsługi. Urządzenie odpowiada obecnym wymaganiom prawodawstwa Unii Europejskiej i zostało oznaczone symbolem zgodności CE.

Tomasz Koczorowicz
TOMTRONIX