

Pomiary rezystancji uziemienia miernikami firmy Megger

Tomasz Koczorowicz

Wartość rezystancji uziemienia jest jednym z parametrów decydujących o bezpieczeństwie systemu elektroenergetycznego. Aparatura do pomiaru rezystancji uziemienia nie jest skomplikowana, ale osoby wykonujące pomiary wiedzą, że w tym przypadku o rzetelności badania decyduje właściwa konfiguracja układu pomiarowego oraz dobra znajomość systemu uziemienia i jego bezpośredniego otoczenia. W artykule opisano zagadnienia związane z pomiarami rezystancji uziemienia. Charakterystykę metod pomiarowych uzupełniono informacjami o miernikach rezystancji uziemienia brytyjskiej firmy Megger. Dystrybutorem urządzeń w Polsce jest firma Tomtronix.

Najbardziej rozpowszechnioną i jednocześnie zalecaną przez normę jest trójprzewodowa metoda pomiaru rezystancji uziemienia. W metodzie tej wymuszany jest przepływ prądu przemiennego między elektrodą badanego systemu uziemienia, a sondą pomocniczą (prądową). Druga sonda pomocnicza (napięciowa) używana jest do pomiaru spadku napięcia będącego rezultatem przepływu prądu pomiarowego (rys. 1). Z wartości napięcia i prądu obliczana jest wartość rezystancji. Firma Megger oferuje dwie grupy przyrządów korzystających z tej metody, które różnią się między sobą rozdzielczością wyniku pomiaru (tabela 1).

Mierniki o rozdzielczości 0,01Ω

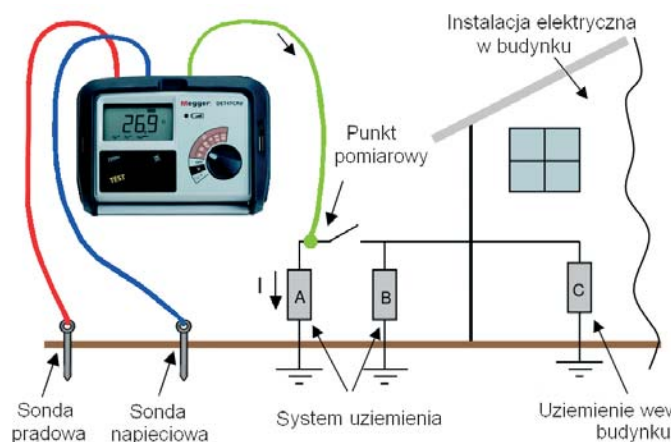
Do pierwszej grupy należą urządzenia DET3TA, DET3TD, DET3TC, DET4TD2, DET4TR2, DET4TC2 oraz DET4TCR2. Mierzą one rezystancję uziemienia z rozdzielczością 0,01Ω. Są to mierniki, których możliwości pozwalają na powszechne zastosowania. Przeznaczone są do pomiarów systemów uziemień, dla których rezystancja przejścia do ziemi nie jest mniejsza od około 0,5Ω. Wszystkie przyrządy, których nazwa zawiera cyfrę „3” posiadają trzy zaciski pomiarowe. Miernik

DET3TA (rys. 2) wyposażono we wskaźnik wychyłowy. Przyrząd DET3TD jest najprostszym miernikiem z cyfrowym zobrażeniem wyniku badania i służy do pomiarów uziemień wyłącznie metodą trójprzewodową, natomiast DET3TC (rys. 3) może także mierzyć uziemienia metodą cęgową z wbijaniem sond. Z kolei DET4TD2 posiada cztery zaciski pomiarowe i w związku z tym umożliwia pomiar re-

zystywności gruntu. Cyfra „2” w nazwie oznacza możliwość wyboru jednej z kilku częstotliwości sygnału pomiarowego: 94, 105, 111 lub 128 Hz, 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

Tabela 1. Właściwości mierników rezystancji uziemienia firmy Megger

	DET 10C	DET 20C	DET 3TA	DET 3TD	DET 3TC	DET 4TD2	DET 4TR2	DET 4TC2	DET 4TCR2	DET 2/2
metoda trójprzewodowa (3 zaciski)	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
pomiar rezystywności gruntu (4 zaciski)	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●
metoda ART (cęgową z wbijaniem sond)	○	○	○	○	●	○	○	●	●	○
metoda cęgowa bez wbijania sond	●	●	○	○	○	○	○	●	●	○
zasilanie bateryjne	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○
zasilanie akumulatorowe	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●
współpraca z komputerem	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
odczyt analogowy	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
odczyt cyfrowy	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
rozdzielczość wskazania 0,01W	●	●	nie dotyczy	●	●	●	●	●	●	○
rozdzielczość wskazania 0,001W	○	○	nie dotyczy	○	○	○	○	○	○	●



Rys. 1. Układ pomiarowy w metodzie trójprzewodowej



Rys. 2. Miernik rezystancji uziemienia Megger DET3TA

w gruncie na wynik badania. Miernik DET4TR2 różni się od DET4TD2 tym, iż jest zasilany z akumulatora, a nie z baterii. Przyrząd DET4TC2 oprócz pomiaru uziemienia metodą trójprzewodową oraz rezystywności gruntu mierzy także uziemienia metodą cęgową z wbijaniem sond. Miernik DET4TCR2 (rys. 4) różni się od DET4TC2 tym, iż jest zasilany z akumulatora, a nie z baterii.



Rys. 4. Miernik rezystancji uziemienia Megger DET4TCR2

Mierniki o rozdzielczości 0,001Ω

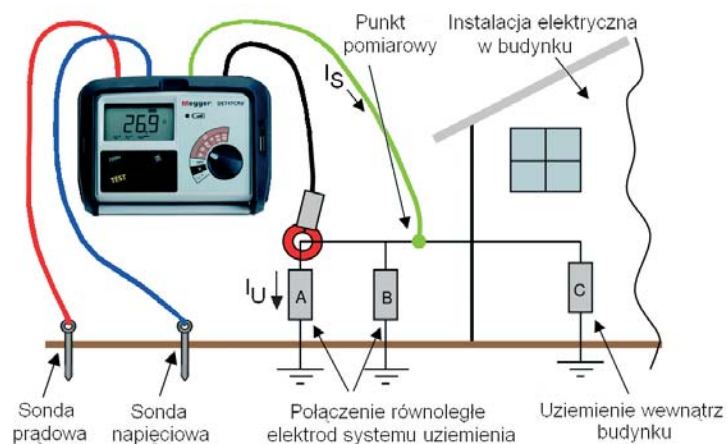
Do drugiej grupy urządzeń należy przyrząd DET2/2 (rys. 5). Mierzy on rezystancję uziemienia z rozdzielczością 0,001Ω. Przyrząd został skonstruowany w taki sposób, aby mógł wykonać rzetelny pomiar dużych systemów uziemień, również o rezystancji mniejszej niż 0,5Ω w bardzo trudnych warunkach zewnętrznych, tzn. w obecności silnych zakłóceń pochodzących np. od stacji elektroenergetycznych, rozdzielni, elektrowni, instalacji telekomu-



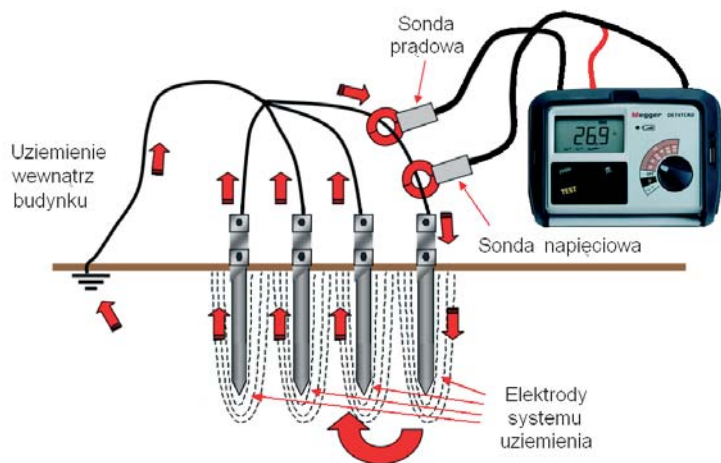
Rys. 3. Miernik rezystancji uziemienia Megger DET3TC



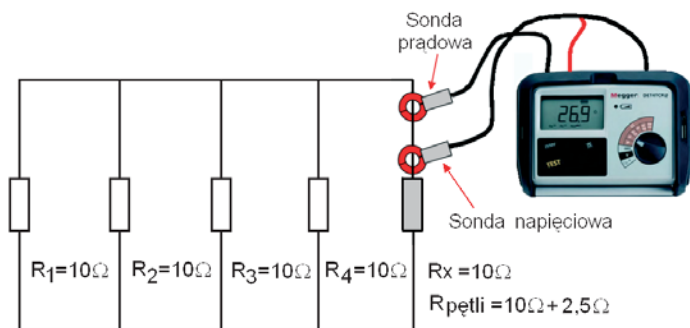
Rys. 5. Miernik rezystancji uziemienia Megger DET2/2



Rys. 6. Układ pomiarowy w metodzie ART



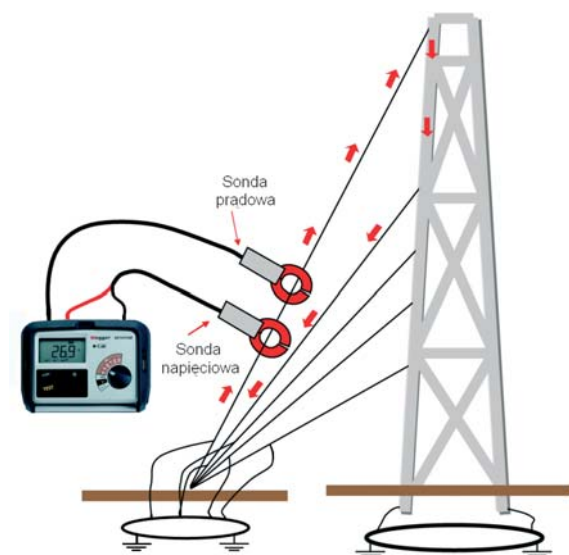
Rys. 7. Układ pomiarowy w metodzie pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond



Rys. 8. Schemat zastępczy dla metody pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

nikacyjnych. Miernik generuje sygnał pomiarowy o częstotliwości przestrajanej w pewnym zakresie oraz jest wyposażony we współbieżny, przestrajany, selektywny filtr wejściowy. Daje to operatorowi możliwość wyboru właściwej częstotliwości pracy, przy której nie występują sygnały pasożytnicze.

Metoda trójprzewodowa, w wyniku wieloletnich doświadczeń jej stosowania, doczekała się kilku wariantów, które stosuje się w zależności od specyfiki badanego systemu uziemienia. Do najbardziej znanych należą metoda spadku potencjału, reguła 61,8%, metoda zbrocza, metoda przecinających się krzywych, metoda czterech równań.



Rys. 9. Nieprawidłowa konfiguracja układu pomiarowego w metodzie pomiaru dwoma cęgami bez wbijania sond

Metoda ART pomiaru cęgami z wbijaniem sond

Trójprzewodowa metoda pomiaru rezystancji uziemienia stwarza warunki do uzyskania najbardziej wiarygodnego wyniku badania. Ma ona jednak dwie podstawowe wady. Po pierwsze jest czasochłonna i pracochłonna, po drugie, w pewnych przypadkach wymaga odłączania poszczególnych elektrod od systemu uziemienia. 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 tzw. metody ART (Attache Rod Technique – pomiar z dodatkową sondą). Pomiar tą metodą umożliwiają mierniki Megger DET3TC, DET4TC2 lub DET4TCR2. 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 (rys. 6). Cęgi mierzą prąd płynący wyłącznie przez badaną elektrodę. Miernik porównując wartości prądów płynących przez system uziemienia i przez badaną elektrodę precyzyjnie oblicza rezystancję przejścia elektrody do ziemi. Zaletą metody ART jest prosta konfiguracja układu pomiarowego, niewymagająca odłączania badanej elektrody od systemu uziemienia. W celu wyjaśnienia zasady pomiaru metodą ART, poniżej przedstawiono na przykładzie kolejne etapy w sekwencji badania.

Etapy badania

W pierwszej kolejności mierzona jest rezystancja R_S całego systemu uziemienia. Układ pomiarowy skonfigurowany jest tak samo jak w przypadku metody spadku potencjału. Na potrzeby przykładu założono, że rezystancja $R_S = 1,9\Omega$. W dalszej kolejności mierzony jest całkowity prąd I_S generowany przez miernik i doprowadzany do systemu uziemienia. W opisywanym przykładzie wartość tego prądu wynosi $I_S = 9\text{ mA}$. Następnie za pomocą uchwyty 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 napięcio-



Rys. 10.
Miernik
rezystancji
uziemienia
Megger DET20C

wej wynosi $U_S = I_S \times R_S = 0,017 \text{ V}$. Na podstawie prawa Ohma obliczana jest 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 metodą cęgową jest mniejsza niż w przypadku tradycyjnego pomiaru amperomierzem podłączonym szeregowo do obwodu. Mierniki firmy Megger 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.

Metoda pomiaru cęgami bez wbijania sond

Metodę pomiaru rezystancji uziemienia cęgami bez wbijania sond stosuje się wówczas, gdy wymagana jest szybka lokalizacja problemu w systemie uziemienia. Główną zaletą tego sposobu jest bardzo prosta konfiguracja układu pomiarowego, która nie wymaga wbijania sond pomocniczych oraz separowania elektrod od systemu uziemienia. 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. Do układu pomiarowego przez cewkę

nadawczą (napięciową) doprowadzane jest napięcie pomiarowe, natomiast cewką odbiorczą (prądową) mierzony jest prąd płynący w układzie (rys. 7). Pętla dla prądu pomiarowego w układzie 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 uwzględniane są wszystkie okoliczności, które mają 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. Na rysunku 8 przedstawiono układ pomiarowy. Przyrząd zapina się na badanej elektrodzie o rezystancji przejścia do ziemi R_x . 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:

$$R_{\text{pętli}} = R_x + (1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3... + 1/R_n))$$

W systemie składającym się z pięciu elektrod z rzeczywistą rezystancją przejścia do ziemi poszczególnych elektrod 10Ω , zmierzona rezystancja pętli wyniesie $R_{\text{pętli}} = 10 + 2,5 = 12,5\Omega$, a dodatkowy błąd związany z metodą pomiaru będzie miał wartość $2,5\Omega$. W przypadku 60 elektrod ten błąd wyniesie zaledwie $0,17\Omega$. Warunkiem stosowania tej metody jest dobra znajomość systemu uziemienia. Można się nią posługiwać wyłącznie w przypadku dużych systemów uziemień opartych na wielu elektrodach połączonych równoległe. Natomiast nie jest ona przydatna w przypadku układów z jednoelektrodowymi uziomami. Z tego powodu z metody cęgowej nie korzysta się przy sprawdzaniu lub odbiorach poszczególnych elektrod w trakcie budowy systemu uziemienia. Poza tym, nie można z niej korzystać również wówczas, jeżeli istnieje alternatywna w stosunku do gruntu ścieżka powrotu o małej rezystancji. Taka sytuacja występuje np. w przypadku masztów sieci komórkowych lub podstacji. W przykładzie przedstawionym na rysunku 9 prąd pomia-

rowy będzie płynął przez elementy konstrukcji masztu oraz pierścieni (otok) w gruncie, a nie przez grunt. Z tego powodu wynik uzyskany cęgowym miernikiem uziemienia nie będzie świadczył o jakości badanego systemu uziemienia. Operator musi również uwzględniać takie sytuacje, kiedy część systemu uziemienia znajduje się w obszarze oddziaływania badanej elektrody. W takich przypadkach wynik pomiaru elektrody będzie mniejszy od rzeczywistej wartości. Tym, co różni metodę cęgową od trójprzewodowej metody pomiaru jest również to, że nie ma możliwości weryfikacji uzyskanych wyników, np. tak jak w metodzie trójprzewodowej – poprzez zwiększenie odległości między sondami pomocniczymi.

Firma Megger posiada w swojej ofercie dwa mierniki uziemień DET10C i DET20C (rys. 10), które mierzą uziemienia wyłącznie metodą cęgową bez wbijania sond oraz przyrządy DET4TC2 i DET4TCR2, które umożliwiają pomiar uziemień wszystkimi obecnie znanymi metodami.

Podsumowanie

W artykule opisano większość znanych metod pomiaru rezystancji uziemienia. Nie wspomniano o metodzie dwuprzewodowej z wykorzystaniem jako potencjału odniesienia (ziemi) innego dużego systemu uziemienia, np. instalacji wodociągowej, gdyż metoda ta z uwagi na istotne ograniczenia nie jest zalecana do stosowania. Wszystkie wymieniane w artykule mierniki odpowiadają obecnym wymaganiom prawodawstwa Unii Europejskiej w zakresie konstrukcji przyrządów pomiarowych i zostały oznaczone symbolem zgodności CE. Przyrządy są zaopatrzone w indywidualne certyfikaty kalibracji z wynikami pomiarów. Posiadają 36-miesięczną gwarancję (oprócz DET10C, DET20C oraz DET2/2 – objętych 12-miesięczną gwarancją).

Tomasz Koczorowicz
Autor jest pracownikiem
firmy Tomtronix



KONTAKT

Tomtronix

Aleja Piłsudskiego 135
92-318 Łódź

tel. (42) 676 06 33

fax (42) 674 74 55

e-mail: tomtronix@tomtronix.com.pl

www.tomtronix.com.pl