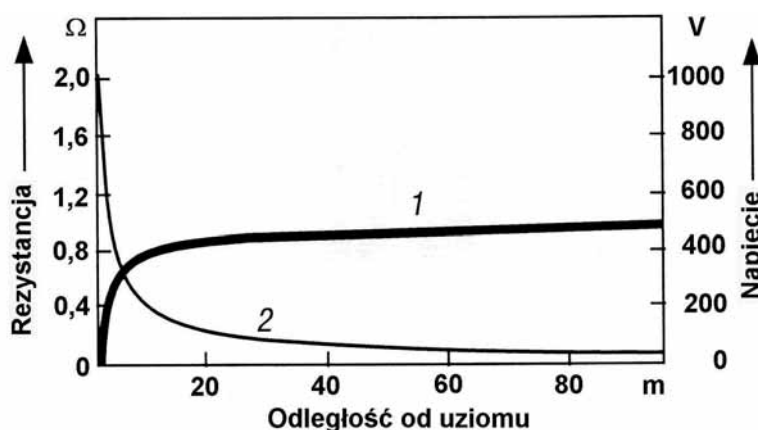


# Pomiary rezystancji uziemienia

Tomasz Koczorowicz

Wyniki pomiarów rezystancji uziemienia wymagają szczególnie uważnej analizy. Osoba wykonująca pomiary musi posiadać dobrą znajomość badanego obiektu i jego bezpośredniego otoczenia. Metoda pomiaru powinna uwzględniać specyfikę systemu uziemienia, aby uzyskany wynik był rzetelny. W artykule opisano zagadnienia teoretyczne związane z pomiarami rezystancji uziemienia. Teorię uzupełniono opisem najlepszego przyrządu z oferty brytyjskiej firmy Megger o symbolu DET2/2, który przeznaczony jest do pomiarów dużych systemów uziemień w obecności silnych zakłóceń w gruncie.

System uziemienia stanowi ważną część całego układu zasilania. Ma on decydujący wpływ na bezpieczeństwo oraz całkowity koszt budowy instalacji. Prawidłowe uziemienie to takie, w obecności którego prąd przebicia powoduje zadziałanie zabezpieczeń. W tym celu dąży się do uzyskania najmniejszej rezystancji przejścia uziomu do ziemi. Wartość tej rezystancji zależy od rezystywności gruntu otaczającego uziom, a więc od jego właściwości i wilgotności. Zawsze przed zainstalowaniem uziomu lub systemu uziemienia powinna być zmierzona rezystywność otaczającego gruntu. Na podstawie tych wyników podejmowana jest decyzja, czy bardziej korzystnym rozwiązaniem jest umieszczenie uziomu na większej głębokości, czy też dodanie kolejnych elektrod i łączących je kabli lub zastosowanie uziomu kratowego ewentualnie płytowego.

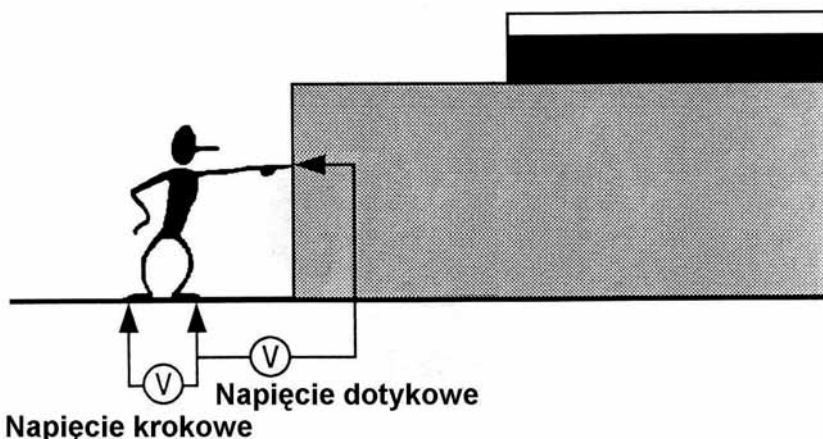


Rys. 2. Zmiana rezystancji uziemienia (krzywa 1) i napięcia (krzywa 2) w funkcji odległości od uziomu

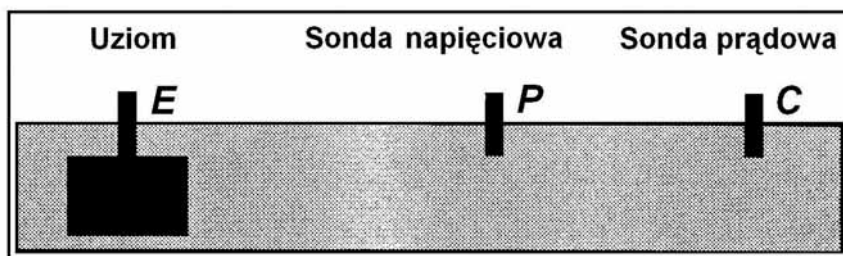
## Zagrożenia

Niedokładne pomiary rezystywności mogą prowadzić do nadmiernych kosztów inwestycji. Obowiązkowo po zakończeniu prac powinna zostać przeprowadzona kontrola potwierdzająca spełnienie przez uzie-

mienie wymagań założeń projektowych. System musi również podlegać okresowym sprawdzeniom w trakcie eksploatacji w celu upewnienia się, czy korozja lub zmiany w rezystywności gruntu znacząco nie wpłynęły na jego parametry. Sieć uziemień może nie ujawniać swojej niesprawności dopóty, dopóki nie wystąpi przebicie i w efekcie niebezpieczna sytuacja. Stosowanie odpowiedniej techniki pomiarowej zależy przede wszystkim od rozległości uziemienia. Sprawdzenie uziomu wykonanego w formie małych, pojedynczych elektrod (np. urządzenia piorunochronnego lub innego uziemienia w budynku) znacznie się różni od metody kontroli stosowanej w przypadku dużych, skomplikowanych konstrukcji. Pojedyncze badanie w przypadku rozległego uziemienia, odmiennie niż w większości innych pomiarów elektrycznych, nie jest wystarczające do uzyskania ostatecznego wyniku.



Rys. 1. Napięcia krokowe i dotykowe



Rys. 3. Układ pomiarowy metodą spadku potencjału

### Mała wartość rezystancji uziemienia

Dobre przejście do ziemi jest zasadniczym wymaganiem stawianym przed systemem uziemień. Spełnienie tego warunku gwarantuje zadziałanie zabezpieczeń i redukuje różnicę potencjałów w gruncie w pobliżu elektrod. Różnica potencjałów w gruncie GPR (*Ground Potential Rises*) może być obliczona na podstawie prawa Ohma ze spodziewanego prądu zwarcioowego i rezystancji uziemienia. Daje to w wyniku maksymalną różnicę potencjałów pomiędzy oddalonym punktem odniesienia (ziemią odniesienia) a samym systemem uziemienia. Typowy prąd zwarcioowy wynosi od 1 do 10 kA, a wówczas nawet przy rezystancji uziemienia równej 0,2  $\Omega$ , GPR wynosi od 200 V do 2 kV.

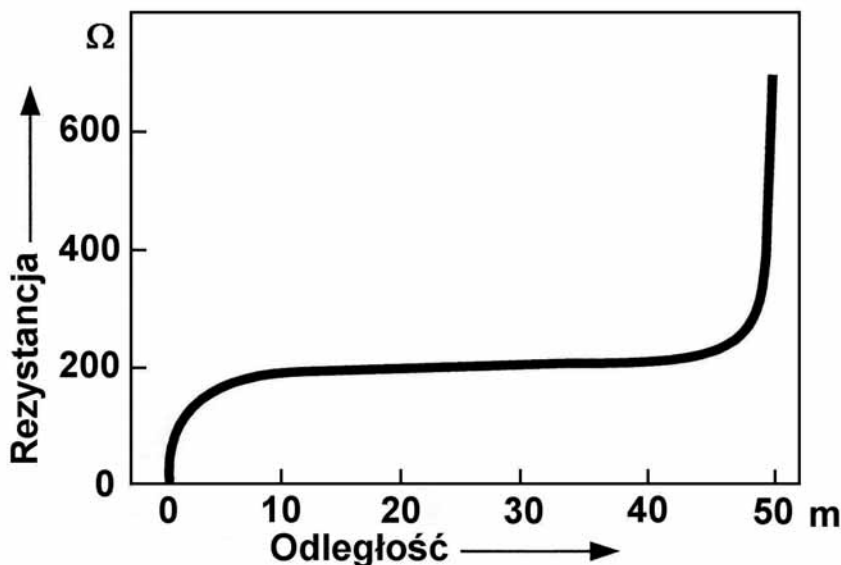
W celu zilustrowania zagrożenia porażeniem elektrycznym ludzi przebywających w pobliżu miejsca przebicia, można obliczyć napięcie krokowe oraz dotykowe (rys. 1). Napięcie dotykowe jest różnicą potencjałów występującą pomiędzy stopą, a miejscem dotyku elementu systemu uziemienia (np. ogrodzeniem rozdzielni). Napięcie krokowe jest różnicą potencjałów występują-

cą pomiędzy stopami osoby (stopy w odległości 1 m). Napięcie to zmienia się proporcjonalnie do zmian rezystancji powierzchni gruntu wokół uziemienia (rys. 2). Jak już wspomniano, właściwości gruntu w pobliżu uziomu mają największy wpływ na rezystancję uziemienia i to jest to miejsce, gdzie zwykle występuje najbardziej niebezpieczne napięcie krokowe.

Gdy GPR jest duże, wówczas podczas przebicia izolacji istnieje również niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego spowodowane obecnością umieszczonych w pobliżu przewodników, np. linii telefonicznych. Linia telefoniczna jest uziemiona w kilku oddalonych punktach. Przebiecie może spowodować „transmisję napięcia” zbliżonego co do wartości różnicy potencjałów GPR.

### Pomiary systemów uziemień

W celu zmierzenia rezystancji systemu uziemienia wymusza się przepływ prądu między pomocniczą sondą prądową a systemem uziemienia. Druga sonda pomocnicza używana jest do pomiaru spadku napięcia będącego rezultatem przepływu prądu pomiarowego. Z wartości napięcia i prądu obliczana jest wartość rezystancji.



Rys. 4. Teoretyczna charakterystyka rezystancji uziemienia pojedynczego uziomu

A  
M  
A  
L  
K  
E  
R

## Metoda spadku potencjału

Jest to podstawowa metoda pomiaru rezystancji uziemienia. Ze względu na ograniczony zakres stosowania związany z obszarem niezbędnym do przeprowadzenia badania, powinna być wykorzystywana wyłącznie do małych, pojedynczych elektrod. Metoda ta zakłada, że odległość do sondy prądowej musi być dziesięć razy większa od maksymalnego fizycznego wymiaru systemu uziemienia.

W przypadku pojedynczego uziomu o długości 2 m nie stanowi problemu umieszczenie sondy w odległości 20 m. Układ pomiarowy dla takiego systemu uziemienia pokazano na rys. 3.

Dla uziemień jednoelektrodowych, takich jak uziemienia w budynkach oraz urządzeń piorunochronne, wpływ na otaczający grunt jest ograniczony i pomiarowa sonda prądowa może znajdować się całkiem blisko (nawet ok. 10 m) od badanego uziomu. Zwykle łatwo jest wtedy znaleźć płaską część krzywej rezystancji uziemienia, będącą miejscem właściwej lokalizacji sondy napięciowej. Generalnie, w przypadku metody spadku potencjału sondę prądową umieszcza się w odległości od 30 do 50 m od badanego uziomu.

Sondę napięciową wbija się pośrodku między sondą prądową a badanym uziomem. Operator dokonuje pierwszego pomiaru, a następnie przemieszcza sondę napięciową najpierw 3 m dalej, a następnie 3 m bliżej uziomu (względem miejsca położenia podczas pierwszego pomiaru) w celu sprawdzenia poprawności pomiaru. Jeżeli te trzy wyniki są zbliżone w granicach dopuszczalnego dla danego miernika błędu pomiarowego, ich wartość średnia może być traktowana jako rezystancja uziemienia.

Na rys. 4 pokazano przykład zależności rezystancji uziemienia w funkcji odleg-

Tab. 1. Przykłady odległości w układzie pomiarowym opartym na regule 61,8%

Maksymalny wymiar (odległość między elektrodami stanowiącymi badany system uziemienia)	5 m	10 m	20 m
Odległość sondy napięciowej od środka systemu uziemienia	62 m	93 m	124 m
Odległość sondy prądowej od środka systemu uziemienia	100 m	150 m	200 m

łości od uziomu dla małego systemu uziemienia z sondą prądową umieszczoną w odległości 50 m. Umieszczając sondę napięciową w odległości od 10 m do 40 m, otrzymuje się wyniki bliskie rzeczywistej wartości rezystancji uziemienia. Przy odległości od uziomu mniejszej niż 10 m „obszar rezystancji” uziomu będzie oddziaływał na wynik, natomiast powyżej 40 m „obszar rezystancji” sondy prądowej będzie powodował zawyżenie rezultatu pomiaru.

Przeprowadzenie pomiarów w kilku punktach i wykreślenie na ich podstawie krzywej pomoże w zrozumieniu pojęcia „obszaru rezystancji” wokół uziomu. Zawsze najlepszą metodą sprawdzenia wiarygodności rezultatów jest wykonanie pomiarów rezystancji uziemienia w różnych kierunkach rozmieszczenia sond lub dla większych odległości między sondami pomocniczymi. Pomoże to wyeliminować ewentualne błędy wynikające z bliskiej obecności zakopanych przewodników (rury, zbrojenia itp.) lub części systemu elektrycznego (kable energetyczne, kable telefoniczne itp.), które mogą mieć wpływ na wyniki.

### Reguła 61,8%

Jak już wspomniano, zarówno sonda prądowa, jak i elektroda uziemienia mają swoje „obszary rezystancji”. Metoda spadku potencjału może być z powodzeniem stosowana tylko wówczas, gdy sonda prądowa jest na tyle odsunięta od uziomu, że nie ma efektu zachodzenia na siebie tych obszarów. Co więcej, sonda napięciowa

musi znajdować się pomiędzy tymi obszarami (rys. 5).

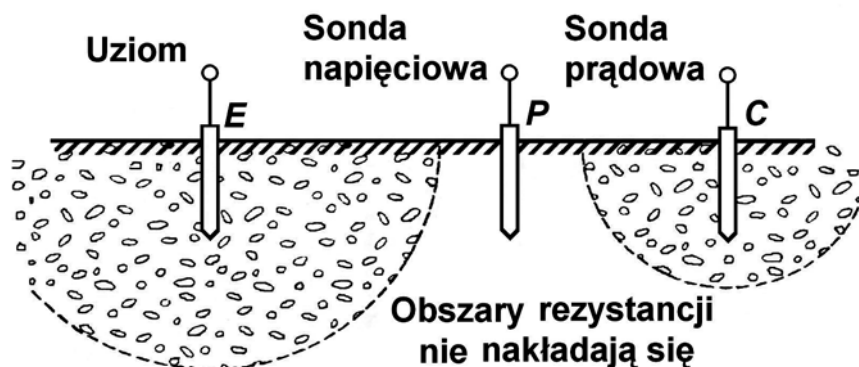
Jeżeli te warunki nie są spełnione, wyniki mogą być zafałszowane. Teoretycznie rzecz biorąc obie sondy (prądowa i napięciowa) powinny znajdować się w nieskończonej odległości od uziomu. Rozważania graficzne i wyniki doświadczalne dowodzą, że rzeczywista rezystancja uziemienia jest równa zmierzonej wartości rezystancji wówczas, gdy sonda napięciowa jest umieszczona w odległości równej 61,8% dystansu między uziomem a sondą prądową. Jest to tzw. reguła 61,8% i dotyczy wyłącznie przypadków, gdy elektroda uziemienia, sonda napięciowa i prądowa są ułożone w linii prostej, grunt jest jednorodny, a „obszar rezystancji” uziomu jest niewielki i może być aproksymowany przez półkulę.

Można uznać, że „reguła 61,8%” jest szczególnym przypadkiem wcześniej opisanego metody spadku potencjału. Znajduje ona zastosowanie do pomiaru małych systemów uziemień składających się z jednej elektrody lub płyty itp. oraz średnich systemów składających się z kilku elektrod. Najczęściej sonda prądowa powinna być umieszczona w odległości 30 do 50 m od środka badanego systemu uziemienia. W przypadku uziemień średniej wielkości odległość ta musi być zwiększona. W tab. 1 podano przykłady odległości w układzie pomiarowym opartym na tej regule.

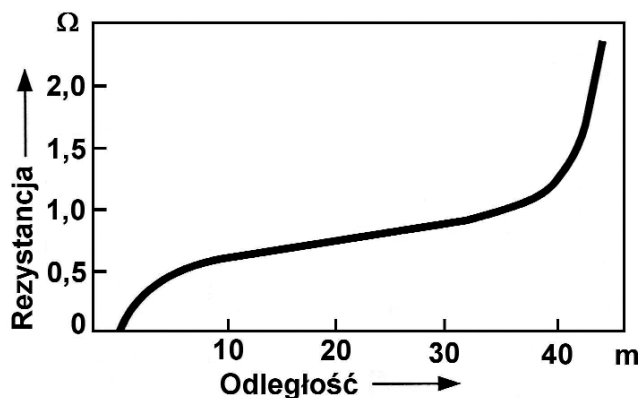
W celu uwiarygodnienia wyniku pomiaru wskazane jest przeprowadzenie kilku sprawdzeń przez przesunięcie sondy prądowej, np. o 10 m w kierunku badanego systemu oraz w kierunku przeciwnym względem jej pierwszego położenia. Należy pamiętać o jednoczesnym skorygowaniu położenia sondy napięciowej zgodnie z regułą 61,8%. Średnia z tych trzech pomiarów będzie stanowił rezultat końcowy.

### Metoda zбочa

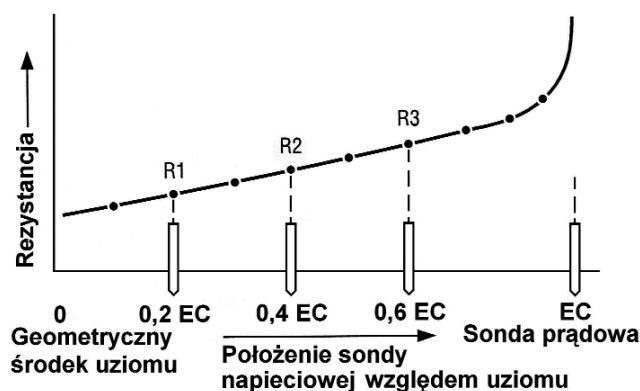
Rozbudowane systemy uziemień towarzyszące, np. stacjom i elektrodam tworzą rozległe „obszary rezystancji”, które wymuszają stosowanie znacznych odległości do sond prądowych. W systemach takich wartość rezystancji uziemienia ro-



Rys. 5. Obszary rezystancji skojarzone z uziomem i sondą pomiarową



Rys. 6. Teoretyczna charakterystyka rezystancji uziemienia w przypadku rozległego systemu uziemienia



Rys. 7. Krzywa rezystancji uziemienia utworzona w wyniku pomiarów metoda z bocza

boczego jest mniejsza niż  $0,5 \Omega$ , a więc jest dobrym przejściem do ziemi dla dużych spodziewanych prądów w czasie zwarcia. Jak wspomniano wcześniej, odległość do sondy prądowej przy stosowaniu metody spadku potencjału powinna być dziesięć razy większa od maksymalnego fizycznego wymiaru systemu uziemienia. Dla stacji z siatką uziemiającą o powierzchni w kształcie kwadratu o boku 100 m, sonda prądowa powinna znajdować się w odległości 1 km od badanego uziemienia. Jest to zadanie niewykonalne w realnych warunkach.

W podobnych przypadkach znajduje zastosowanie tzw. metoda z bocza. Metoda ta umożliwia zmniejszenie długości przewodów pomiarowych oraz zmniejsza prawdopodobieństwo zachodzenia na siebie, a tym samym oddziaływania innych lokalnych systemów uziemień.

Umożliwia ona pomiar rozległych systemów uziemień bez poszukiwania płaskiej części na krzywej charakterystyki rezystancji (rys. 6). Redukuje to obszar pomiarów oraz dodatkowo – co jest istotne w przypadku dużych uziemień lub uziemień z niedostępnym punktem centralnym – nie wymaga znalezienia ich elektrycznego środka. Metoda z bocza może być również stosowana wówczas, gdy wcześniej opisane techniki okazały się mało wiarygodne oraz gdy jest wymagana większa dokładność pomiaru. Konieczne jest wykonanie kilku obliczeń, przy czym uzyskane wyniki mogą być w prosty sposób zweryfikowane dając dodatkowe potwierdzenie prawidłowości badania. Metoda polega na wykonaniu co najmniej sześciu niezależnych pomiarów dla różnych odległości sondy napięciowej od systemu uziemienia, w tym dla 20, 40, 60% EC, gdzie EC – odległość między badanym uziomem i sondą prądową (co najmniej 50 m). Na podstawie wyników wykreśla się charakterystykę rezystancji uziemienia (rys. 7). W ten sposób wykres wykazuje obecność nieprawidłowych punktów,

które mogą zostać pominięte w ocenie lub ponownie sprawdzone. Sonda napięciowa powinna zawsze znajdować się w jednej linii z sondą prądową oraz systemem uziemienia.

Na podstawie trzech pomiarów, wykonanych przy różnej odległości sondy napięciowej od systemu uziemienia (20, 40 i 60% EC), oblicza się współczynnik zbocza:

$$m = R_{60\%} - R_{40\%} / R_{40\%} - R_{20\%}$$

Informuje on o zmianie kąta nachylenia krzywej rezystancji uziemienia.

W instrukcjach obsługi mierników firmy Megger znajdują się tabele współczynnika. Umożliwiają one określenie odległości sondy napięciowej od uziemienia, przy której uzyskany wynik jest równy rzeczywistej rezystancji badanego systemu. Dla tej odległości, na podstawie sporządzonej wcześniej krzywej, wyznaczana jest poszukiwana wartość rezystancji uziemienia. Wskazane jest powtórzenie całej procedury wraz z naszkicowaniem pełnej charakterystyki rezystancji gruntu dla innego

kierunku usytuowania sond pomiarowych lub większej odległości EC sondy prądowej od badanego systemu. Dla różnych wartości EC może być sporządzona krzywa, jak pokazano w przykładzie na rys. 8.

Jak widać, rezystancja uziemienia zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości EC. W przedstawionym przykładzie odległość EC w przypadku pomiarów 1 i 2 była zbyt mała, natomiast dla pomiarów 3 i 4 jest do przyjęcia. Generalnie przy określaniu rezystancji uziemień nie należy się spodziewać dokładności lepszej niż 5%. Jest to wartość satysfakcjonująca, uwzględniając to, że zmiany stanu wilgotności lub jednorodności gruntu mają podobny wpływ na rzeczywistą rezystancję systemu uziemienia.

### Miernik Megger DET2/2

#### Rezystancja uziemienia

Miernik DET2/2 (rys. 9) mierzy rezystancję uziemienia z rozdzielczością 0,001  $\Omega$  oraz rezystywność gruntu. Przyrząd został

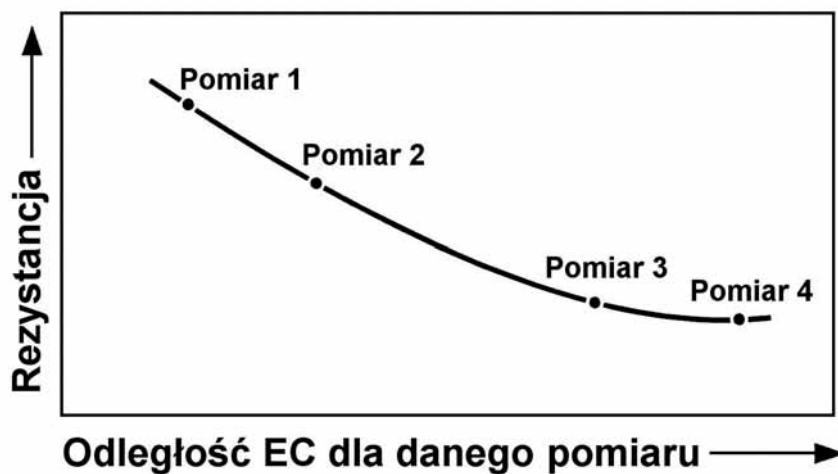


Rys. 9. Miernik rezystancji uziemień DET2/2 firmy Megger

skonstruowany tak, aby mógł wykonać rzetelny pomiar dużych systemów uziemień, również o rezystancji mniejszej niż 0,5  $\Omega$  w bardzo trudnych warunkach zewnętrznych tzn. w obecności silnych zakłóceń pochodzących np. od stacji elektroenergetycznych, rozdzielni, elektrowni, instalacji telekomunikacyjnych. Miernik generuje sygnał pomiarowy o częstotliwości przestrajanej w zakresie od 105 do 160 Hz (z krokiem 0,5 Hz) oraz jest wyposażony we współbieżny, przestrajany, selektywny filtr wejściowy. Daje to operatorowi możliwość wyboru właściwej częstotliwości pracy, przy której nie występują sygnały pasożytnicze. W systemie elektroenergetycznym obecne są zakłócenia powstałe z sygnałów o częstotliwości zasilania (podstawowej) i jej harmonicznych, wielkich częstotliwości pochodzących od procesów łączeniowych, indukowanych sygnałów pochodzących z innych źródeł itp. Przyrządy bez przestrajanej częstotliwości pracy mogą się blokować informując o wysokim poziomie zakłóceń lub po prostu wykonywać błędne pomiary.

W przypadku, kiedy zakłócenia mają charakter trwały, użycie tradycyjnego miernika może być kłopotliwe. W mierniku DET2/2 zastosowano wyspecjalizowany system filtrowania, który umożliwia skuteczniejszą eliminację zakłóceń niż w jakimkolwiek innym przyrządzie firmy Megger. Miernik przed wykonaniem badania sprawdza parametry układu pomiarowego. Kontrolowana jest rezystancja w pętli prądowej oraz w obwodzie pomiaru napięcia. Jeżeli wartość rezystancji jednego z obwodów przewyższa wartość dopuszczalną na wyświetlaczu urządzenia pojawia się stosowna informacja. Przyczyną błędu może być rozwarcie obwodu, zły styk w miejscu przyłączenia przewodów pomiarowych lub zbyt duża rezystywność gruntu w otoczeniu badanego uziomu.

Kontrola układu pomiarowego jest bar-



Rys. 8. Przykład zależności rezystancji uziemienia zmierzonej metodą zbocza od odległości EC

R E K L A M A

Rekl\_  
Tomtronix



Rys. 10. W mierniku DET2/2 zastosowano wyspecjalizowany system filtrowania, który umożliwia skuteczną eliminację zakłóceń

przydatna w praktyce. Bywa, że na obszarze zurbanizowanym operator ma problem ze znalezieniem miejsca do wbicia sondy i jest zmuszony np. położyć sondę na płytach chodnikowych. W takim przypadku przyrząd sam ocenia, czy w danych warunkach możliwe jest uzyskanie poprawnego wyniku pomiaru, a jeżeli tak, to wkrótce na wyświetlaczu pojawia się rezultat próby. Miernik kontroluje również poziom napięcia interferencyjnego w układzie pomiarowym. Jeżeli poziom zakłóceń przekroczy 40 V badanie zostaje przerwane, a na wyświetlaczu pojawia się odpowiednia informacja. Operator może wówczas zmienić częstotliwość sygnału pomiarowego na inną.

Istnieje możliwość zapisania wybranej konfiguracji przyrządu w wewnętrznej pamięci do wykorzystania w przyszłości.

#### Rezystywność gruntu

DET2/2, jak wspomniano wcześniej, służy również do dokładnych pomiarów rezystywności gruntu (duża rozdzielczość). Duża dokładność pomiaru rezystywności ma istotne znaczenie podczas przygotowywania danych do projektowania rozległego systemu uziemienia. Przy pomiarach ze znacznym odstępem sond pomiarowych (rozległe tereny) odczytywane rezystancje są małe. Aby otrzymać rzetelne wyniki pomiarów rezystywności, zasadniczym wymaganiem jest stosowanie przyrządu o odpowiedniej dokładności przy małych rezystancjach. Na przykład jeśli odstęp między sondami w gliniastym gruncie o rezystywności  $\rho = 2\pi aR = 1200 \Omega\text{cm}$  wynosi 30 m, to odczytana rezystancja po-

winna wynosić  $0,064 \Omega$ . Wówczas przyrząd z rozdzielczością  $10 \text{ m}\Omega$  i trzycyfrowym błędem może dać błąd pomiarowy rzędu 50% wartości odczytanej. Może to prowadzić do uziemienia ze zbyt dużą rezystancją albo do nadmiernych kosztów inwestycji, niezgodnych ze sztuką projektowania. Rozdzielczość  $1 \text{ m}\Omega$  i trzycyfrowy błąd redukuje uchyb do mniej niż 5% wartości odczytanej.

#### Budowa

Sercem miernika jest mikroprocesor. Przyrząd posiada duży, czytelny wyświetlacz ciekłokrystaliczny oraz membranową klawiaturę. Układy elektroniczne umieszczone w solidnej, bryzgoszczelnej obudowie z tworzywa ABS, aby miernik zgodnie ze swoim przeznaczeniem mógł pracować w terenie, w trudnych warunkach pogodowych. DET2/2 ma zasilanie akumulatorowe oraz wbudowaną ładowarkę. Zaciski przyrządu umożliwiają podłączenie zewnętrznego akumulatora np. samochodowego.

Miernik wyposażono w sygnalizację rozładowania akumulatora oraz regulację kontrastu wyświetlacza. Każdy miernik standardowo posiada indywidualne świadectwo sprawdzenia wykonane przez laboratorium producenta pracujące w systemie ISO9001. Ma ono znaczenie dla wszystkich tych użytkowników, którzy funkcjonują w oparciu o system kontroli jakości ISO. Świadectwo potwierdza zgodność parametrów urządzenia z podanymi w instrukcji obsługi. Przyrząd spełnia wymagania Dyrektyw nowego podejścia 73/23/EEC, 93/68/EEC Unii Europejskiej i został oznaczony symbolem zgodności CE.

**Tomasz Koczorowicz**  
Autor jest pracownikiem  
firmy Tomtronix



#### KONTAKT

##### TOMTRONIX

ul. Aleja Piłsudskiego 135,  
92-318 Łódź  
tel. (42) 676 06 33  
tel./fax (42) 674 74 55  
e-mail: tomtronix@tomtronix.com.pl  
www.tomtronix.com.pl