

pomiar rezystancji uziemienia

metody klasyczne i cęgowa

mgr inż. Sławomir Binder – BIALI Sp. z o.o.

Wykonywanie pomiarów rezystancji uziemienia związane jest z określeniem największej spodziewanej wartości rezystancji uziemienia R_E , w celu sprawdzenia, czy spełnione są warunki ochrony przeciwporażeniowej, przeciwpięciowej, odgromowej, czy wreszcie odpowiedniego stopnia ochrony urządzeń przez lokalne uziemienia stosownie do obowiązujących aktów normatywnych. Wartości rezystancji uziemienia, jakie powinna posiadać instalacja elektryczna nN w celu spełnienia wymogów bezpieczeństwa, możemy znaleźć w normie PN-IEC 60364-4-41 w postaci warunku:

$$R_A \leq U_L / I_A$$

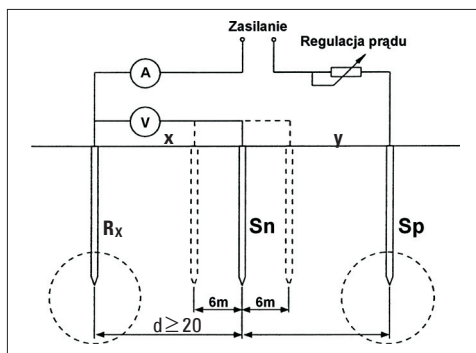
gdzie:

R_A - suma rezystancji lokalnego uziemienia i przewodu ochronnego połączonego części przewodzącej chronionego urządzenia,

U_L - maksymalna dopuszczalna wartość napięcia dotykowego wynosząca w normalnych warunkach 50 V, a w warunkach szczególnych 25 V (w przypadku bardzo dużego zagrożenia porażeniowego 12,5 V),

I_A - prąd wywołujący automatyczne wyłączenie zasilania obwodu w czasie określonym przez PN-IEC 60364-4-41.

W przypadku, gdy prąd zwarciowy jest mniejszy od I_A , napięcie, jakie pojawi się na obudowie uszkodzonego urządzenia, będzie mniejsze niż wartość dopuszczalna (U_L). Dla obwodów zabezpieczonych wyłącznikami



Rys. 1 Pomiar rezystancji uziemienia metodą techniczną wg [1]

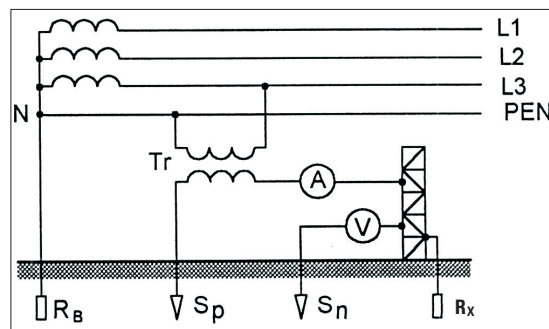
RCD prąd I_A jest równy nominalnemu prądowi wyzwalania I_{AN} . W przypadku zastosowania kilku wyłączników połączonych szeregowo w jednym obwodzie dla wyznaczenia wymaganej wartości rezystancji uziemienia należy przyjąć największą wartość I_{AN} spośród wszystkich szeregowo połączonych wyłączników. Dopuszczalne największe wartości rezystancji uziemienia zostały przedstawione w tabeli 1.

Pomiary rezystancji uziemienia mogą być wykonywane metodą techniczną, kompensacyjną, przez pomiar pętli zwarcia oraz metodą cęgową. Metody: techniczna, także z wykorzystaniem pętli zwarcia, oraz cęgowa zostaną omówione niżej.

pomiary rezystancji (impedancji) uziemień – metody tradycyjne

Pomiar rezystancji uziemienia metodą techniczną

Pomiar ten polega na zastosowaniu dwóch elektrod pomocniczych: prądowej i napięciowej. Schemat tej



Rys. 2 Pomiar rezystancji uziemienia przy wykorzystaniu napięcia sieci

metody podajemy zgodnie z PN-IEC 60364-6-61 na rysunku 1. W obwodzie badany uziom – elektroda prądowa umieszczona jest źródło prądowe, wymuszające w tym obwodzie przepływ prądu o określonej wartości. Woltomierz, umieszczony w obwodzie badany uziom – elektroda napięciowa mierzy spadek napięcia na uziemiu wywołany wymuszonym prądem. Odległość między badanym uziomem a elektrodą prądową musi być na tyle duża, by nie oddziaływały one na siebie, z kolei elektroda napięciowa powinna znajdować się w połowie odległości pomiędzy wymienionymi elektrodami.

PN-IEC zaleca jednak mierzenie rezystancji uziemienia dla trzech położenia sondy napięciowej: środkowego i przesuniętego pomiędzy badanym uziomem a elektrodą napięciową oraz przy zmianach usytuowania elektrody środkowej (napięciowej) w granicach +/- 6 m w celu potwierdzenia, że elektroda napięciowa znajduje się w strefie potencjału zerowego. Jeżeli te trzy wyniki pomiaru niewiele się różnią, to jako wynik pomiaru norma zaleca uznać średnią z powyższych pomiarów.

Charakterystyka pomiarów ze względu na prąd pomiarowy

Ten temat jest często pomijany w rozważaniach nad dokładnością

i odniesieniem uzyskanych wyników pomiarów do spodziewanej i realnie istniejącej rzeczywistej wartości rezystancji uziemienia. Celem pomiarów jest bowiem zawsze wyznaczenie największej spodziewanej wartości uziemienia R_E , która uwzględni sezonowe zmiany rezystywności gruntu. Tymczasem ten sam uziom może mieć różne rezystancje R_{EM} w zależności od wielkości prądu pomiarowego: mA (do 1 A), czy też kilku, czy kilkudziesięciu amperów; inne w warunkach przepływu prądu stałego zwarciowego (rezystancja statyczna) i inne przy przepływie prądu udarowego (rezystancja udarowa) [2]. Duże prądy uziomowe, a nawet małe prądy udarowe, wywołują zazwyczaj przebicia przestrzeni między stałymi elementami gruntu, co powoduje chwilowe obniżenie rezystywności gruntu, a więc i rezystancji uziemienia. Natomiast duża stromość prądów udarowych może również powodować wystąpienie dużych spadków napięć wzdłuż uziomu. Głębsze części uziomu mają wtedy znacznie mniejsze potencjały i nie uczestniczą praktycznie w odprowadzaniu prądu do ziemi. Zjawisko to przyczynia się do wzrostu wielkości rezystancji udarowej w stosunku do rezystancji statycznej. Ostatecznie, w zależności od tego, czy przeważa zjawisko przebicia gruntu, czy po-

Nominalny prąd wyzwalania [mA]	30	100	300	500	1000
R_A (przy 50 V) [Ω]	1667	500	167	100	50
R_A (przy 25 V) [Ω]	833	250	83	50	25

Tab. 1 Wymagane maksymalne wartości rezystancji uziemienia przy zabezpieczeniach wyłącznikami RCD o prądzie nominalnym wyzwalania 30-1000 mA (opracowanie Kyoritsu nr 1, str. 4)

laryzacji uziomu, wielkości rezystancji udarowej mogą być większe lub mniejsze od wielkości rezystancji statycznej. W pewnych warunkach rezystancje te mogą być sobie równe [2]. Natomiast zawsze **rezystancja statyczna uziomu jest odwrotnie proporcjonalna do wartości przepływającego prądu**.

W celu uniknięcia wpływu prądów zakłócających (np. błądzących) na wynik pomiaru, źródło prądowe powinno wymuszać prąd o określonej wielkości lub/i kształcie przebiegu. Przyjmuje się, że dla częstotliwości 50 Hz, poprawne wyniki uzyskuje się dla prądu pomiarowego 20-krotnie większego od prądów zakłócających [3]. Te ostatnie można wyznaczyć praktycznie, mierząc napięcie pomiędzy uziomem badanym a ziemią odniesienia. Większość nowoczesnych mierników rezystancji uziemień analizuje te prądy i automatycznie sygnalizuje nadmierny poziom zakłóceń. Pomiar, zwłaszcza na terenach przemysłowych i w obiektach elektroenergetycznych, wymagają, najczęściej z uwagi na duże wartości prądów zakłócających, stosowania źródła prądowego o dużej mocy zasilanego z sieci elektrycznej. Na **rysunku 2** pokazany jest taki sposób pomiaru rezystancji uziemienia z zasilaniem obwodu prądowego przez transformator, co zapewnia galwaniczne odizolowanie układu pomiarowego od sieci [2].

W celu eliminacji wpływu prądów zakłócających stosuje się prądy wymuszające o innych częstotliwościach wyższych od 50 Hz lub o innym kształcie przebiegu. Publikacja HD zaleca, aby częstotliwość prądu pomiarowego nie przekracza-

ła 150 Hz. Jednak niektóre konstrukcje, stosujące przy pomiarach metody techniczną i kompensacyjną, wykorzystują do pomiarów prądy o częstotliwościach wyższych, ale jednocześnie z małą wartością prądu wymuszającego (np. wielofunkcyjny KEW 6015 $f = 720 \text{ Hz}$, $I_{\text{maks}} 2 \text{ mA}$).

Pomiar rezystancji uziemienia przez pomiar pętli zwarcia

Pomiary takie mogą być wykonywane przy wykorzystaniu mierników pętli zwarcia w układzie jak na **rysunku 3**. Mierzona jest wtedy impedancja całego obwodu pętli. Jeżeli jest ona mniejsza od dopuszczalnej, to pomiar ten jest wystarczający do oceny prawidłowości ochrony. W innym przypadku konieczny jest pomiar metodą techniczną (**rys. 4**).

ograniczenia i niedogodności dotychczasowych metod pomiaru rezystancji uziemień

Opisane wyżej metody wymagają zawsze stosowania pomocniczych elektrod (prądowej i napięciowej). Są to pomiary pracochłonne i często niejednoznaczne, gdyż na wynik pomiarów ma wpływ rozmieszczenie elektrod, charakter gruntu, występowanie w gruncie instalacji metalowych. Dla uniknięcia błędów i niejednoznaczności konieczne może być wykonywanie dodatkowych pomiarów służących do wyznaczenia strefy potencjału zerowego (zaleca to publikacja PN-IEC 60364-6-61). Często utrudnione jest też spełnienie podstawowego warunku usytuowania elektrod po-



Fot. 1 KEW 4200

mocnych napięciowej i prądowej w linii prostej i kolejno w odległości 20 i 40 m od mierzonego uziomu. Niemożliwe może być też umieszczenie w gruncie elektrod pomocniczych (powierzchnie betonowe, asfaltowe itp.) lub ich rezystancja jest zbyt duża.

pomiar rezystancji uziemienia metodą cęgową

Metoda cęgowa pomiaru rezystancji uziemień nie posiada wad metod „klasycznych”, a jej stosowanie zyskuje coraz bardziej na znaczeniu. Zasadę pomiaru tą metodą zgodną z normą PN-IEC 60364-6-61 przedstawiono na **rysunku 5**, gdzie: R_X – nieznaną rezystancja mierzonego uziomu, $R_1 \div R_N$ – równoległe uziomy połączone ekwipotentjalnie lub poprzez przewód ochronny PEN.

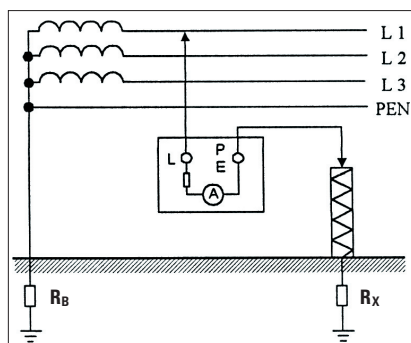
Zasadę pomiaru można stosować wszędzie tam, gdzie istnieje pętla zwarcia wewnątrz obwodu uziemiającego i jednocześnie wielkość sumaryczna

rezystancji pozostałych uziomów równoległych jest nieistotna i nie wpływa praktycznie na wynik pomiarów. Przy takim założeniu, które najczęściej jest spełnione w praktyce, wielkość rezystancji badanego uziomu R_X jest równa lub nieco niższa od mierzonej rezystancji pętli zwarcia. W metodzie tej jedne cęgi indukują w pętli zwarcia napięcie pomiarowe U , które wymusza przepływ prądu I w pętli zwarcia, natomiast drugie dokonują pomiaru tego prądu. Rezystancja pętli obliczana jest jako iloczyn napięcia U i prądu I . W praktycznych rozwiązaniach stosowane są zarówno osobne cęgi podłączone do panelu głównego, jak i cęgi zintegrowane, a cały przyrząd ma formę zbliżoną do typowego miernika cęgowego.

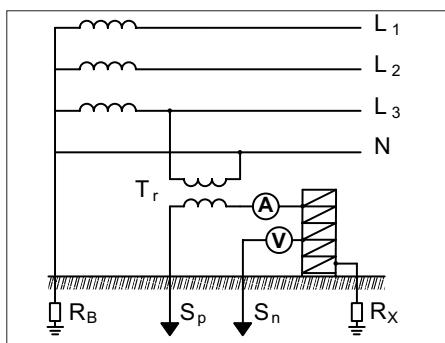
Ten sposób pomiaru można stosować bezpośrednio w instalacjach typu TN oraz w obwodach pętli zwarcia układów TT. W instalacjach TT, gdzie istnieje tylko połączenie z uziemieniem o nieznaną rezystancji, pętla może zostać zamknięta przez krótkotrwałe zwarcie przewodu neutralnego z uziemieniem (instalacja quasi-TN) na czas pomiaru. W celu uniknięcia ryzyka wystąpienia prądu spowodowanego różnicą potencjałów pomiędzy przewodem neutralnym a uziemieniem, instalacja powinna być wyłączona spod napięcia podczas podłączania i odłączania uziemienia.

KEW 4200 – cęgowy miernik rezystancji uziemienia

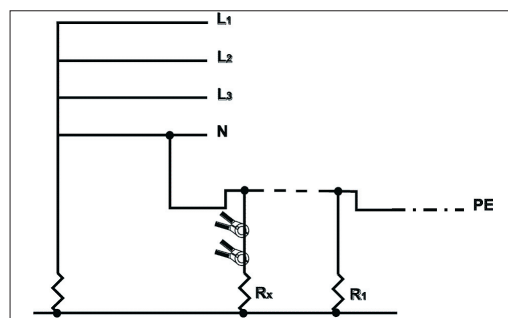
KEW4200 (**fot. 1**) jest najnowszym produktem japońskiej firmy Kyoritsu, już dostępnym w Polsce. Miernik umożliwia proste pomiary rezystan-



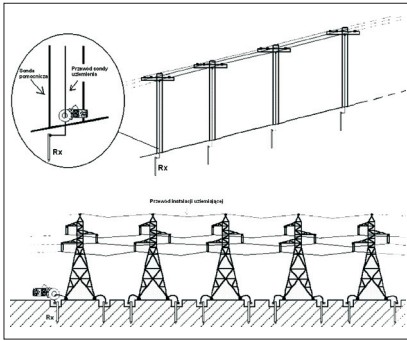
Rys. 3 Pomiar rezystancji (impedancji) pętli zwarcia



Rys. 4 Pomiar rezystancji uziemienia metodą techniczną



Rys. 5 Pomiar rezystancji pętli uziemienia za pomocą cęgowych pomiarowych



Rys. 6 Pomiar rezystancji uziemienia instalacji z uziomami skupionymi: a) na przewodzie uziemiającym uziomu badanego połączonym z innymi uziomami, b) na samym przewodzie uziemienia

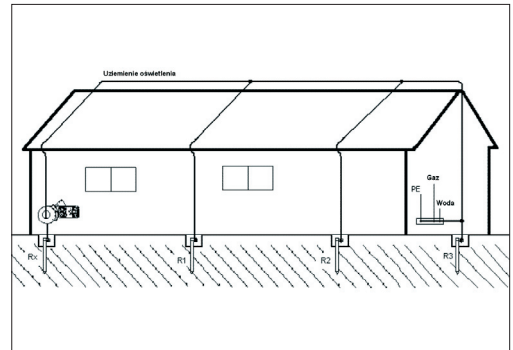
cji uziemienia bez potrzeby stosowania elektrod pomocniczych i odłączenia mierzonego uziomu. KEW 4200 może być stosowany do mierzenia rezystancji uziemienia większości wielopunktowych systemów uziemień. Dla uzyskania poprawnych wyników pomiarów w przypadku miernika cęgowego ze zintegrowanymi cęgami bardzo istotne jest uzyskanie wysokiej czułości cęgów odbiorczych (prądowych) i jednocześnie odseparowanie przez odpowiednie ekranowanie od wpływu cęgów nadawczych (napięciowych). Duże doświadczenie firmy Kyoritsu w konstrukcji cęgów pomiarowych pozwoliło na uzyskanie

bardzo dobrych właściwości pomiarowych miernika. Miernik przeszedł, z wynikiem pozytywnym, testy pomiarowe w zakładach energetycznych w Będzynie i Gdańsku. Dane techniczne KEW4200 podano w tabeli 2. Poza pomiarem rezystancji uziemienia KEW 4200 może służyć do pomiarów typu True RMS prądów upływowych (rozdzielczość 0,1 mA) i prądów przemiennych do 30A. Wyposażony też jest w funkcję zapamiętania do 100 wyników pomiarów. Dotychczas oferowane w Polsce mierniki tego typu (podstawowe dane w tabeli 3) charakteryzowały się zbyt małą maksymalną średnicą cęgów pomiarowych (23 mm) lub też ich cena była nieakceptowana przez rynek. Sama metoda pomiarowa uważana też była za niepewną lub niedokładną i zainteresowanie potencjalnych odbiorców tą metodą było niewielkie. Obecne wytyczne IEC, potwierdzające zasadność tej metody, ograniczenia i duża pracochłonność pomiarów tradycyjnych powodują

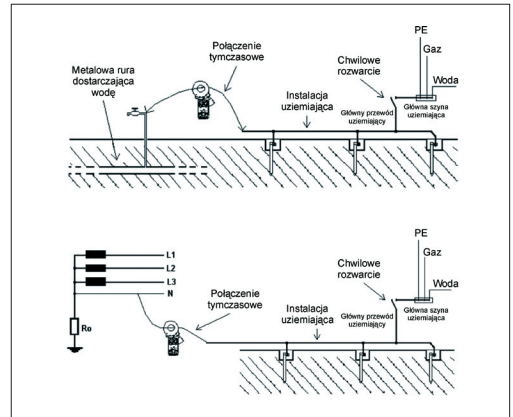
wzrost zainteresowania miernikami cęgowymi rezystancji uziemień. Wysokie parametry techniczne KEW 4200 i atrakcyjna cena spowodowały już duże zainteresowanie tym miernikiem wielu odbiorców. Na rysunku 6 zaprezentowano przykład pomiarów uziomów linii elektroenergetycznych.

Wprawdzie wynik pomiaru wskazuje rezystancję uziomu badanego i sumę rezystancji wszystkich równoległych rezystancji uziomów, jednak w praktyce udział tych dodatkowych rezystancji w przypadku istnienia pętli zwarcia jest pomijalny i praktycznie wynik pomiaru jest rezystancją mierzonego uziemienia skupionego. W ten sam sposób możemy mierzyć rezystancje uziemienia słupów trakcyjnych instalacji elektrycznej kolei lub słupów oświetleniowych. Na rysunku 7 pokazano sposób pomiaru rezystancji uziemienia instalacji odgromowej.

Pomiar ten może być wykonywany na przewodniku łączącym instalację z danym badanym uziomem, a nie-



Rys. 7 Pomiar rezystancji uziemienia instalacji odgromowej



Rys. 8 Pomiar rezystancji uziemienia pojedynczego systemu uziemienia z wykorzystaniem istniejącej instalacji wodociągowej z metalowymi rurami

koniecznie na samym uziomie i oczywiście bez konieczności jego rozłączenia. Pokazujemy również przykłady pomiarów pojedynczych systemów uziemienia z utworzeniem pętli zwarcia do gruntu i z wykorzystaniem przewodu neutralnego (rys. 8).

Ze względów bezpieczeństwa (wykluczenie możliwości porażenia na skutek różnicy potencjałów) w obydwu powyższych przypadkach główny przewód uziemiający systemu (Mec) musi być na czas pomiarów odłączony od głównej szyny uziemienia (Meb).

Obecnie nastąpił duży wzrost zainteresowania odbiorców pomiarem rezystancji uziemień metodą cęgową. Także i oferta rynkowa mierników jest coraz większa. KEW 4200 z uwagi na wysokie parametry techniczne i atrakcyjną cenę z pewnością może być najczęściej kupowanym przyrządem tego typu. Wyłącznym przedstawicielem i dystrybutorem wyrobów Kyoritsu w Polsce jest BIALI Sp. z o.o. z Gdańska.

Od redakcji: Literatura dostępna na www.elektro.info.pl.

Dane techniczne (dokładność określona dla temperatury 23°C i RH 45-75 %)	
Maksymalna średnica przewodu – Ø32 mm	
Pomiar rezystancji uziemienia (częstotliwość pomiaru 2400 Hz):	
Zakresy: 0...20-200-1200 Ω (autozakresy)	
Dokładność: 20 Ω - +/- 91,5% + 0,05 Ω, 200 Ω - 16,0-99,9 Ω +/- (2,0% + 0,5 Ω); 100,0-209,9 Ω +/- (3,0% + 2 Ω); 1200 Ω - 160-399 Ω +/- (5,0% + 5 Ω), 400-599 Ω +/- (10,0% + 10 Ω), 600-1260 Ω b.d.	
Rozdzielczość maksymalna: 0,01 Ω	
Pomiar prądu ACA 50/60 Hz TrueRMS	
Zakresy: 0...100-1000 mA-10-30 A (autozakresy)	
Dokładność: 100 mA +/- (2% + 0,7 mA), 1000 mA - 30 A +/- (2%)	
Rozdzielczość maksymalna: 0,01 Ω	

Tab. 2 Dane techniczne KEW 4200

Model	KEW 4200	CHAUVIN ARNOUX 6415	PROVA 5600
Maksymalna średnica przewodu	Ø32	Ø32	Ø32
Rezystancja uziemienia [Ω]	20-1200	1-1200	0,025-150
Maksymalna rozdzielczość	0,01 Ω	0,01 Ω	0,002 Ω
Częstotliwość pomiarowa	2400 Hz	2400 Hz	1,67 kHz
Dokładność na zakresie 20 Ω	1,5% + 0,05 Ω	1,5% + 0,1 Ω	2,0% + 0,3 Ω
Prąd przemienny AC 50/60 Hz	100 mA - 30 A TrueRMS	300 mA - 30 A RMS RMS	0,200 μA - 10 A TrueRMS
Maksymalna rozdzielczość	0,1 mA	0,1 mA	0,001 mA
Dokładność dla 100 mA	2,0% + 0,7 mA	2,5% + 2 mA	2,0% + 0,05 mA
Pamięć pomiarów	100	99	-

Tab. 3 Dane porównawcze cęgowych mierników rezystancji uziemienia