

Zasady wykonywania pomiarów uziemień i oceny wyników pomiarów

Jan Strzałka, Tadeusz Wojsznis
Katedra Elektroenergetyki AGH

1. Wprowadzenie

W eksploatacji urządzeń elektrycznych o napięciu do 1 kV i powyżej 1 kV istotne znaczenie odgrywają badania i pomiary uziemień.

Prawidłowo wykonane pomiary parametrów uziemień oraz właściwa interpretacja wyników pomiarów są istotnymi elementami zapewnienia bezpieczeństwa obsługi oraz poprawnej pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych we wszystkich obiektach wyposażonych w uziemienia robocze i ochronne, bądź też narażonych na działanie wyładowań atmosferycznych.

Celem pomiarów jest na ogół wyznaczenie największej spodziewanej wartości rezystancji uziemienia dla sprawdzenia, czy spełnia ona wymagania aktów prawnych dotyczących ochrony przeciwporażeniowej, ochrony odgromowej i przeciwprzebieciowej oraz czy zapewnia warunki poprawnej pracy urządzeń.

W referacie przedstawiono rodzaje uziemień i ich parametry charakterystyczne, zasady wykonywania pomiarów rezystancji uziemień oraz sposób oceny wyników pomiarów.

2. Rodzaje uziemień i ich parametry charakterystyczne

Uziemieniem nazywa się celowo wykonane elektryczne połączenie części urządzenia lub instalacji elektrycznej z przedmiotem metalowym znajdującym się w ziemi, zwanym **uziometem**.

W zależności od zadania spełnianego przez uziemienie, rozróżnia się uziemienie: **robocze, ochronne i odgromowe**.

Uziomy stanowiące zasadniczą część instalacji uziemiającej mogą być **naturalne** lub **sztuczne** bądź stanowić układ **mieszany**, złożony z obu ich rodzajów.

Uziomami naturalnymi są przedmioty metalowe znajdujące się w ziemi, których podstawowe przeznaczenie jest inne niż dla celów uziemienia.

Jako **uziomy naturalne** mogą być wykorzystane: metalowe rury wodociągowe, ołowiane płaszcze i pancerze kabli elektroenergetycznych, elementy metalowe osadzone w fundamentach, zbrojenia betonu znajdującego się w ziemi oraz inne elementy metalowe obiektów mające dobrą styczność z ziemią.

Szczególnie zalecane jest wykorzystywanie jako uziomów naturalnych uziomów fundamentalnych budynków wykonanych z betonu zbrojonego taśmami lub prętami stalowymi zatopionymi w dolnej części fundamentu

Jako **uziomy sztuczne** mogą być wykorzystane kształtowniki, pręty, druty, linki, płyty lub taśmy najczęściej stalowe, pokryte przewodzącymi powłokami ochronnymi (antykorozyjnymi) pograżone w gruncie poziomo (**uziomy poziome**) lub pionowo (**uziomy pionowe**).

Aktualne przepisy krajowe dopuszczają możliwość wykonywania uziomów ze stali nieocynkowanej, ze stali ocynkowanej lub miedzi. Często miedź stosowana jest jako materiał na powłoki ochronne uziomów stalowych. Uziomy mogą być wykonywane z pojedynczych elementów poziomych lub pionowych (**uziomy skupione**) lub też mogą stanowić uziom złożony, utworzony z układu uziomów o zróżnicowanej konfiguracji (**np. uziomy promieniowe, kratowe lub otokowe**).

Układ składający się z uziomów, przewodów ochronnych oraz przewodów uziemiających nosi nazwę **systemu uziemiającego**. **Przewód uziemiający** jest to przewód łączący część metalową podlegającą ochronie z uziometem lub z przewodem uziomowym. **Przewód uziomowy** jest to umieszczony w gruncie niez izolowany przewód, łączący uziom lub zespół uziomów z przewodem uziemiającym lub zaciskiem probierczym uziomowym.

Istotnym parametrem wpływającym na obliczeniowe wyznaczenie rezystancji uziemienia jest **rezystywność gruntu** ρ , będącą wielkością charakteryzującą poszczególne rodzaje gruntów, zawierającą się w przedziale od 40 do 2000 Ωm .

Charakterystycznym parametrem określającym cechy uziemienia jest **rezystancja uziemienia**, przy czym rozróżnia się **rezystancję statyczną**, odpowiadającą przewodzeniu prądów przemiennych o częstotliwości 50 Hz, oraz **rezystancję**

udarową, odpowiadającą przepływowi prądów piorunowych o charakterze udarowym, charakteryzujących się dużą wartością prądu i bardzo krótkim czasem trwania.

Rezystancja statyczna uziemienia jest to rezystancja między uziomem a ziemią odniesienia zmierzona przy przepływie prądu przemiennego o częstotliwości technicznej. Rezystancja ta jest miarą przydatności uziemień ochronno-roboczych w ochronie przeciwporażeniowej oraz uziemień w ochronie odgromowej podstawowej.

Rezystancja statyczna uziemienia zależy nie tylko od rezystywności gruntu, ale również od rodzaju i kształtu uziomu. W literaturze technicznej dotyczącej uziemień podawane są uproszczone zależności pozwalające na obliczeniowe wyznaczenie rezystancji statycznej dla części występujących uziomów.

Rezystancja udarowa uziemienia stanowiąca kryterium przydatności uziemienia w obiektach podlegających ochronie odgromowej obostrzonej i specjalnej jest definiowana jako rezystancja między uziomem a ziemią odniesienia, mierzona przy prądzie udarowym o kształcie odwzorowującym prąd pioruna. Jest to rezystancja trudna do zdefiniowania, gdyż maksymalna wartość napięcia nie pokrywa się w czasie z maksymalną wartością prądu, a stosunek wartości chwilowych napięcia i prądu jest zmienny w czasie.

Relacja między rezystancją udarową R_u a statyczną R_s uziemienia przedstawiana jest w postaci uproszczonej:

$$R_u = \alpha_u R_s \quad (1)$$

gdzie: α_u – współczynnik udarowy rezystancji uziemienia.

Przy przepływie przez uziom prądu piorunowego o dużej stromości uziom należy rozpatrywać jako linię długą o impedancji Z , w której główną rolę odgrywa indukcyjność uziomu ($L \sim 1 \div 1,5 \mu\text{H/m}$) oraz jego konduktancja. Rozproszenie fali udarowej prądu następuje w sposób ciągły wzdłuż całej długości uziomu, a jej amplituda maleje sukcesywnie do zera.

Współczynnik udarowy rezystancji uziemienia przyjmuje wartości z przedziału od 0,2 do 1,2, i jest on zależny od rezystywności gruntu, wymiarów uziomu, stromości narastania prądu di/dt oraz od wartości szczytowej przepływającego prądu. Im większa wartość szczytowa prądu, tym większy jest udział wyładowań elektrycznych wokół uziomu, pozornie powiększających wymiary geometryczne uziomu i powodujących efektywne zmniejszenie rezystancji uziemienia. Z tego względu rezystancja udarowa przy dużych wartościach prądu jest mniejsza od rezystancji statycznej.

3. Zasady wykonywania pomiarów rezystancji uziemień

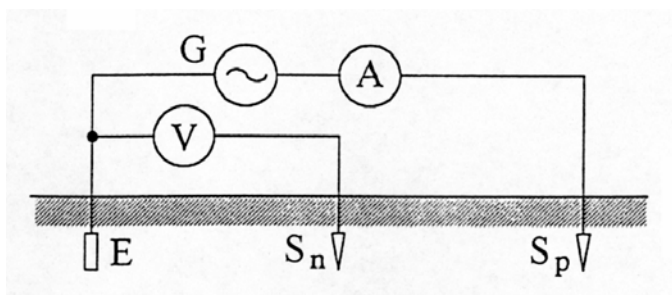
Pomiar rezystancji (impedancji) uziemień może być realizowany:

- metodą techniczną
- metodą kompensacyjną, zwaną także metodą zerową,
- metodą mostkową.

Najczęściej w praktyce pomiarowej wykorzystywana jest metoda kompensacyjna, najrzadziej stosuje się przyrządy wykorzystujące metodę mostkową.

Do pomiarów rezystancji uziomów stosowany jest z reguły prąd przemienny, ponieważ przy pomiarach prądem stałym na wyniki pomiarów niepożądanym wpływ miałyby siły elektromotoryczne polaryzacji, powstające przy zetknięciu się metalowych elektrod uziomów z elektrolitem znajdującym się w glebie.

Zasada pomiaru rezystancji uziemienia metodą techniczną zwaną **metodą amperomierza i woltomierza** pokazana została na rys. 1.



Rys 1. Zasada pomiaru rezystancji uziomu metodą techniczną.

W celu zmierzenia rezystancji uziemienia R_E tworzy się układ obejmujący dwa obwody: obwód prądowy, w skład którego wchodzi uziom badany (E), źródło prądu (G), amperomierz (A) i elektroda prądowa (S_p) oraz obwód napięciowy utworzony przez uziom badany (E), woltomierz (V) i elektrodę napięciową (S_n).

Na podstawie odczytów wartości prądu uziomowego I_E i napięcia uziomowego U_E , można obliczyć rezystancję uziemienia R_E [Ω] z zależności:

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} \quad (2)$$

Dla poprawnego wykonania pomiaru napięcia U_E i prądu I_E elementy obydwu obwodów powinny mieć określone parametry, a elektrody (sondy pomiarowe S_n i S_p) powinny być odpowiednio oddalone od badanego uziomu.

Elementom obwodu prądowego stawia się następujące wymagania:

1. Źródło prądu powinno wymuszać prąd o wartości lub przebiegu pozwalającym wyeliminować istotne wpływy prądów zakłócających (np. prądów błędzących) na wyniki pomiarów.
2. Amperomierz powinien umożliwiać pomiar prądu o wartości i kształcie wymuszonym przez źródło prądu pomiarowego.
3. Elektroda prądowa powinna być oddalona od badanego uziomu tak, aby między tą elektrodą i badanym uziomem występowała tzw. strefa potencjału zerowego.
4. Przewody łączące elementy obwodów pomiarowych powinny być izolowane od ziemi
5. Przewody i elektroda prądowa powinny mieć ograniczoną rezystancję tak, aby zastosowane źródło prądu wymuszało prąd pomiarowy o wartości pozwalającej zmierzyć napięcia U_E .
6. Przewody obwodu prądowego powinny być usytuowane względem przewodów obwodu napięciowego tak, aby prąd I_E nie indukowała w obwodzie napięciowym napięcia zakłócającego pomiar wartości napięcia U_E .

Z kolei elementom obwodu napięciowego stawia się następujące wymagania:

1. Elektroda napięciowa S_n powinna być pograżona w grunt w miejscu, w którym potencjał ma wartość zero
2. Stosunek rezystancji wewnętrznej woltomierza do rezystancji uziemienia elektrody napięciowej R_{Sn} powinien być na tyle duży, aby błąd pomiaru U_E był w granicach dopuszczalnych
3. Woltomierz powinien mieć zakres pomiarowy pozwalający mierzyć występujące w czasie pomiarów napięcie U_E
4. Przewody obwodu napięciowego powinny być izolowane.

Zwykle do wymuszania prądu uziomowego I_E stosuje się źródła prądu przemiennego 50 Hz, pozwalające wymuszać prąd wielokrotnie większy od prądów zakłócających tej samej częstotliwości. Stosowane są też źródła wymuszające prąd przemienny o często-tliwości do 150 Hz lub prąd długotrwały o kształcie przebiegu innym od kształtu przebiegu prądów zakłócających. Dla wyznaczenia rezystancji udarowej stosuje się źródła wymuszające przepływ prądu pomiarowego mającego kształt fali udarowej.

Poprawne wyniki pomiarów rezystancji statycznej uzyskuje się przy wymuszaniu prądu pomiarowego 50 Hz i amplitudzie około 20-krotnie większej od amplitudy prądu zakłócającego o tej samej częstotliwości. Wymuszanie takich prądów na terenach obiektów elektroenergetycznych lub na terenach dużych zakładów przemysłowych wymaga nieraz stosowania źródła o napięciu 220 V i stosunkowo dużej mocy. Wartości napięć wywołanych prądami zakłócającymi można zmierzyć poprzez pomiar napięcia między uziomem a ziemią odniesienia bez wymuszania prądu pomiarowego.

Stosowanie źródeł prądu o innej częstotliwości lub innym kształcie przebiegu prądowego od częstotliwości lub kształtu prądu zakłócającego pozwala ograniczyć moc źródła prądu, lecz wymaga stosowania specjalnych urządzeń wymuszających przepływ prądu oraz mierzących prąd I_E i napięcie U_E . Rezystancja przewodów (zależna między innymi od ich długości), rezystancja uziomu badanego, oraz rezystancja elektrody S_p stanowią obciążenie źródła prądu. Dysponując źródłem o niewielkiej mocy, może okazać się, że konieczne jest ograniczenie obciążenia źródła. Zwykle najłatwiej jest ograniczyć największą rezystancję, jaką bywa rezystancja uziemienia elektrody S_p np. przez wicie dłuższej elektrody lub zmoczenie gruntu wokół elektrody. Normy [10, 25] wymagają, aby rezystancja uziomów pomocniczych (sond) nie była większa niż 100 Ω .

Istotny wpływ na dokładność pomiarów uziomu odgrywa sposób rozmieszczenia elektrod oraz odległości między uziomem badanym a sondą napięciową i sondą prądową. Przy określaniu sposobu rozmieszczenia elektrod należy przestrzegać zasady aby sonda napięciowa znajdowała się praktycznie biorąc poza strefą rozprzyszczenia prądów.

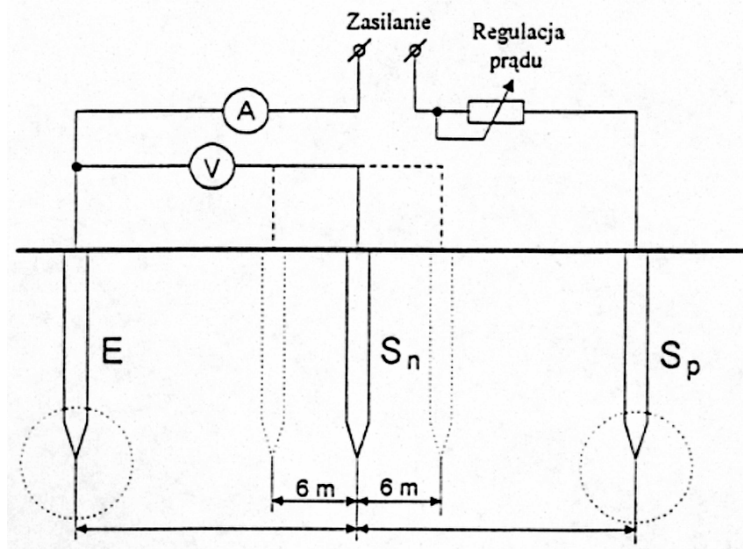
W większości przypadków poprawne wyniki pomiarów rezystancji R_E uziomów skupionych (zajmujących niewielki obszar) i przy wymuszaniu niewielkich prądów pomiarowych uzyskuje się stosując odległości między uziomem badanym i elektrodą napięciową co najmniej 20 m. Należy przy tym pamiętać, że podane wyżej odległości minimalne mogą okazać się niewystarczające, gdy stosuje się duże prądy pomiarowe lub gdy między uziomem badanym na dużej długości w gruncie znajduje się przedmiot metalowy. Wtedy trzeba zwiększyć odległość lub kierunek położenia elektrod pomiarowych i sprawdzić rozkład potencjałów na powierzchni gruntu. Wymagane odległości między uziomami przy pomiarach rezystancji uziomów zgodne z [10] przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Odległości między uziomami przy pomiarach rezystancji uziemienia.

Budowa uziomu badanego pomocniczego	Najmniejsze odległości w m lub odległości względne	
	przy położeniu sondy w jednej linii z uziomem badanym A i pomocniczym B	przy położeniu sondy poza linią łączącą uziom badany A i pomocniczy B
Uziom badany A i uziom pomocniczy B pojedyncze pionowe o długości $l \leq 3$ m		
Uziom badany A pionowy o długości $l \geq 3$ m, uziom pomocniczy B pionowy o długości $l \leq 3$ m		
Uziom badany A poziomy o długości $l \geq 10$ m, uziom pomocniczy B pionowy o długości $l \leq 3$ m		
Uziom badany A wielokrotny pionowy, w kształcie kwadratu o przekątnej p , uziom pomocniczy B pionowy pojedynczy o długości $l \leq 3$ m lub złożony z kilku uziomów pionowych		

Podane w tabeli 1 odległości zostały ustalone przy założeniu, że uchyb pomiaru spowodowany tym, że sonda S znajduje się w strefie rozptyłu prądu z uziomu badanego A lub pomocniczego B, nie przekracza 3%.

Norma PN-IEC 60364-6-61 [13] dotycząca instalacji niskiego napięcia nie podaje wyrażonych w metrach odległości między uziomem badanym i elektrodami S_n i S_p . Jest tam natomiast stwierdzenie ogólne „odległość między uziomem badanym a elektrodą prądową powinna być na tyle duża, aby oba te uziomy nie oddziaływały na siebie” oraz zalecenie, aby elektrodę napięciową umieszczać w połowie odległości między uziomami wyżej wymienionymi. Dodaje się przy tym, że aby sprawdzić poprawność mierzonego napięcia U_E należy wykonać dwa dalsze pomiary U_E przy przesuniętej sondzie S_n raz o 6 m. w kierunku uziomu badanego, a drugi raz o 6 m. w kierunku elektrody S_p . Jeżeli wartość mierzonej za każdym razem rezystancji zmienia się nieznacznie to średnią z tych trzech pomiarów można przyjąć jako szukaną wartość pomiarową. Jeżeli mierzone kolejno wartości różnią się w sposób istotny, pomiary należy powtórzyć przy powiększonej odległości między uziomem badanym a elektrodą S_p . Sposób rozstawienia elektrod pomiarowych opisany w normie [13] przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2 Sposób rozmieszczenia elektrod przy pomiarach R_E wg. PN-IEC 60364-6-61 [13].

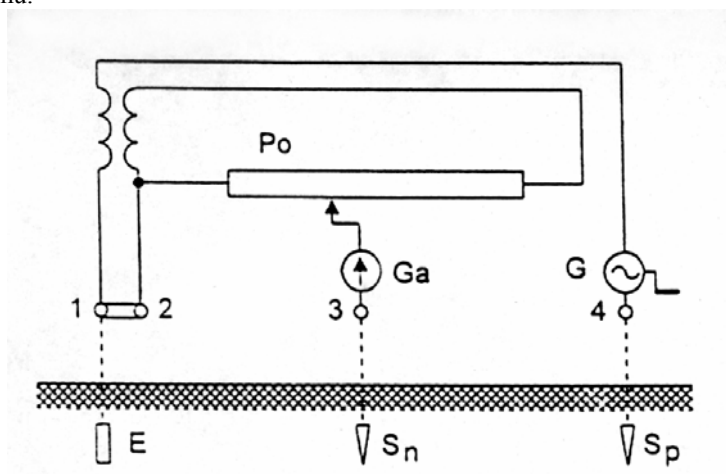
W załączniku informacyjnym N normy PN-E 05115 [17] dotyczącej instalacji elektroenergetycznych wysokiego napięcia zapisano, że przy pomiarach specjalistycznymi przyrządami, wymuszającymi małe prądy pomiarowe, odległość sondy napięciowej od uziomu badanego powinna być co najmniej 2,5 razy większa od największego wymiaru terenu zajętego przez układ uziomowy (odniesiona do kierunku pomiaru), ale nie mniejsza niż 20 m, a odległość elektrody pomocniczej prądowej – co najmniej 4-krotnie większa, ale nie mniejsza niż 40 m. W wymienionej wyżej normie wymaga się ustawienia sond pomiarowych w jednej linii.

W normie [25] znajduje się ponadto zalecenie praktyczne, aby uziomy pomocnicze umieszczać w gruncie w odległości co najmniej 10 m. od wszelkich elementów metalowych. zakopanych w ziemi (rurociągów, konstrukcji wspornych itp.).

Metoda techniczna nadaje się szczególnie do pomiaru małych rezystancji uziomów. Norma teletechniczna [10] zaleca stosowanie tej metody, jako metody dokładnej, gdy spodziewana rezystancja badanego uziomu jest mniejsza niż 2Ω . Wadą metody technicznej jest konieczność stosowania obcego źródła zasilania o stosunkowo dużej mocy i konieczność montażu układu pomiarowego.

Znacznie szersze zastosowania w praktyce przy pomiarach rezystancji uziomów ma **metoda kompensacyjna**. Metoda ta polega na porównaniu napięcia uziomowego ze spadkiem napięcia na rezystorze o regulowanej rezystancji (potencjometrze) i bezpośrednim odczycie rezystancji uziemienia, gdy ww. napięcia są sobie równe.

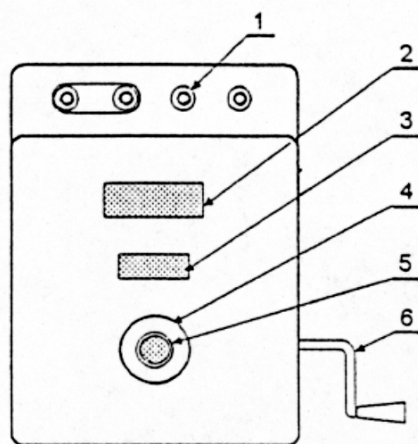
Uproszczony schemat układu do pomiaru rezystancji uziemienia metodą kompensacyjną przedstawiono na rys. 3. W układzie pominięto prostownik w gałęzi galwanometru G_a . W układzie pokazanym na rys. 3 prąd pomiarowy wymuszony jest z prądniczki napędzanej korbką. (lub innego źródła). Prądniczka ta lub inne źródło pozwalają wymuszać prąd o częstotliwości różnej od częstotliwości sieciowej, pozwalającej wyeliminować wpływ prądów błądzących częstotliwości sieciowej na wynik pomiarów. Napięcie uziomowe względem ziemi odniesienia (względem elektrody napięciowej) kompensuje się spadkiem napięcia na potencjometrze „Po”. Kompensacja występuje wtedy, gdy galwanometr „ G_a ” wskazuje zero. Ilość działek odczytana z potencjometru dla której pomnożona przez zakres pomiarowy wyznacza wartość mierzonej rezystancji uziomu.



Rys. 3. Układ do pomiaru rezystancji uziemienia metodą kompensacyjną.

Na rynku polskim znajduje się obecnie wiele mierników do pomiaru rezystancji uziemień produkcji krajowej i zagranicznej. Są to mierniki przystosowane jedynie do pomiaru rezystancji uziemienia i rezystywności gruntu lub mierniki wielozadaniowe. Większość z nich jest przeznaczona do pomiaru rezystancji statycznej uziemienia. Najbardziej popularnym w Polsce jest indukcyjny miernik uziemień typu IMU. Jest on sprzedawany wraz z kompletem przewodów i elektrod pomiarowych.

Jest to miernik kompensacyjny służący do pomiaru statycznej rezystancji uziemienia. Widok płyty górnej miernika pokazany jest na rys. 4.



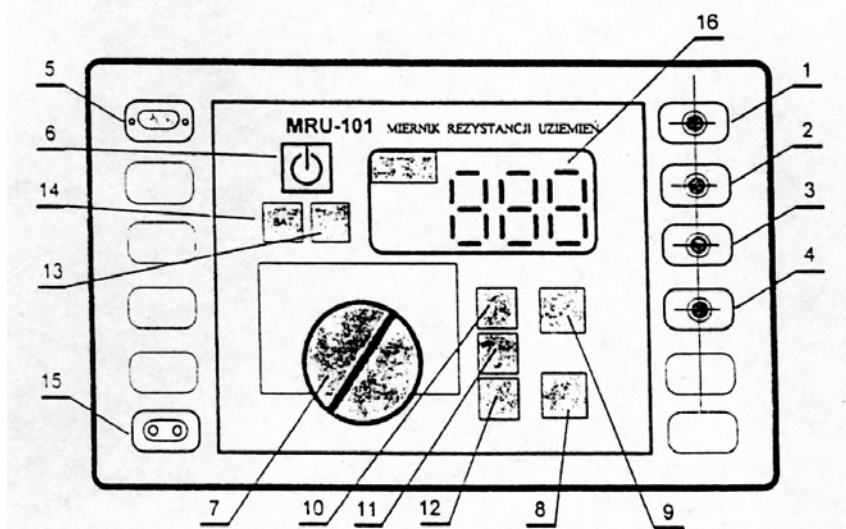
Rys.4. Widok płyty górnej miernika IMU: 1 – zacisk przewodu pomiarowego, 2 – element odczytowy wskazań galwanometru, 3 – element odczytowy potencjometru, 4 – pokrętło potencjometru, 5 – pokrętło przełącznika zakresów, 6 – korbka (na ścianie bocznej miernika)

Źródłem napięcia w tym mierniku jest prądniczka prądu przemiennego, napędzana ręcznie za pomocą korbki z prędkością znamionową 160 obr/min. Dzięki takiej prędkości częstotliwość prądu pomiarowego wynosi powyżej 60 Hz. Pokrętło galwanometru oraz pokrętło przełącznika są umieszczone na wspólnej osi. Na przełączniku zakresów znajduje się oznaczenie „K”. Ustawienie przełącznika w to położenie oraz przeniesienie zwory zacisków przyłączowych z dwóch lewych na dwa prawe zaciski pozwala sprawdzić poprawność działania miernika (wskazówka potencjometru powinna wskazywać wartość 29 do 31 działek). Pomiar rezystancji uziemia miernikiem IMU wykonuje się w sposób następujący. Po połączeniu miernika z uziomem badanym i elektrodami pomiarowymi należy obracać korbką prądniczki z wymaganą prędkością i równocześnie kręcić powoli pokrętłem potencjometru aż wskazówka potencjometru wskaże zero. Aby otrzymać wartość mierzonej rezystancji uziomu należy wynik odczytany na skali potencjometru przemnożyć przez współczynnik odpowiadający zakresowi nastawienia przełącznika zakresów.

Miernik IMU charakteryzuje się małą mocą źródła napięcia. Wymuszony prąd pomiarowy jest więc niewielki i przy dużej rezystancji elektrody prądowej pomiar może okazać się niemożliwy. Należy podkreślić, że na dokładność pomiaru tym miernikiem wpływa równomierność i prędkość obracania korbki.

Zakres pomiarowy miernika wynosi od 0 Ω do 500 (1000) Ω w trzech lub czterech podzakresach. Dokładność pomiaru wynosi 1 % do 5 %.

Przykładem polskiego miernika do pomiaru uziemia metodą techniczną są mierniki cyfrowe typu MRU – 100. Widok płyty górnej takiego miernika przedstawiono na rys. 5. Mierniki MRU w skład standardowego kompletu. Oprócz miernika komplet taki zawiera futerał, przewody pomiarowe, szpule, elektrody pomiarowe.



Rys. 5. Miernik MRU – 101: 1 – gniazdo H elektrody prądowej, 2 – gniazdo S elektrody napięciowej, 3 – gniazdo ES dodatkowej elektrody napięciowej dla pomiaru rezystywności gruntu, 4 – gniazdo E uziomu badanego, 5 – gniazdo cęgów i interfejsu RS-232, 6 – przycisk włączania i wyłączania zasilania miernika, 7 – obrotowy przełącznik funkcji: R_{E2p} , R_{E3p} , R_{E4p} , R_{E3p} z użyciem cęgów, ρ - pomiar rezystancji gruntu, 8 – przycisk „start”, 9 – przycisk wyświetlania wyników

ostatnich pomiarów, 10 – przycisk do pamięci, 11 – przycisk „zwiększ”, 12 – przycisk „zmniejsz”, 13 – przycisk podświetlenia wyświetlacza LCD, 14 – przycisk sprawdzania stanu naładowania akumulatorów lub baterii, 15 – gniazdo sieciowe, 16 – wyświetlacz ciekłokrystaliczny (LCD).

Do ważniejszych funkcji miernika MRU-101 należą:

- ◆ pomiar rezystancji uziemień w układzie trzy- i czteroprzewodowym,
- ◆ pomiar rezystywności gruntu z możliwością wprowadzenia odległości między elektrodami pomiarowymi (automatyczne wyliczenie i wyświetlanie wartości ρ),
- ◆ pomiar rezystancji rezystora metodą dwu- lub czteroprzewodową (z kompensacją rezystancji przewodów),
- ◆ możliwość pomiarów uziemień wielokrotnych metodą trzybiegunową bez rozłączania mierzonych uziomów (opcja z zastosowaniem cęgów),
- ◆ sprawdzenie napięć zakłóceń (przebiegowych i stałych) z układem blokady pomiaru rezystancji przy zbyt dużych zakłóceniach,
- ◆ pamięć 300 wyników pomiarów i możliwość przesłania zapamiętanych danych do komputera PC (opcja MRU-101),

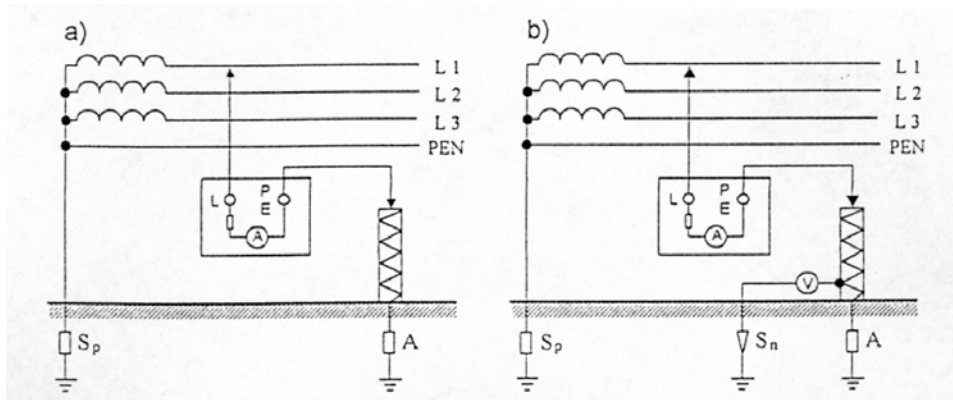
Najważniejsze dane techniczne to:

- ◆ częstotliwość prądu pomiarowego – 128 Hz,
- ◆ napięcie pomiarowe – 30 V,
- ◆ prąd pomiarowy – 225 mA.

Przy pomiarze rezystancji uziemia metodą trzybiegunową mierzone jest napięcie występujące na zaciskach przyrządu po wymuszeniu prądu pomiarowego i wartość tego prądu. Następnie miernik wylicza wartość rezystancji.

Po podłączeniu do gniazd miernika uziomu badanego i elektrod pomiarowych oraz po przyciśnięciu przycisku 6 (a także po każdorazowej zmianie funkcji przełącznikiem obrotowym 7) na wyświetlaczu 10 wyświetla się wartość napięcia zakłóceńowego. Jeżeli przekracza ono wartość dopuszczalną, to dalszy pomiar jest niemożliwy. Rozpoczęcie pomiaru rezystancji uziemia następuje po przyciśnięciu przycisku 8. Miernik dobiera zakres pomiarowy automatycznie. Miernik nie używany wyłącza się samoczynnie.

Do pomiaru statycznej rezystancji uziemień metodą techniczną są też wykorzystywane **przyrządy** pomiarowe przeznaczone głównie **do pomiaru rezystancji (impedancji) pętli zwarcia**. Sposób podłączenia takiego rodzaju miernika przedstawiono na rys. 6a). Mierzona jest wówczas sumaryczna rezystancja: uzwojeń transformatora, przewodów, uziemia badanego, uziemia punktu neutralnego sieci zasilającej. Jeżeli tak zmierzona rezystancja uziemia nie przekracza wartości dopuszczalnej, to rezystancja uziemia badanego jest dopuszczalna. W przeciwnym przypadku konieczne jest wyliczenie prądu pomiarowego i wykonanie dodatkowego obwodu napięciowego jak to pokazano na rys. 6b) (metoda techniczna).



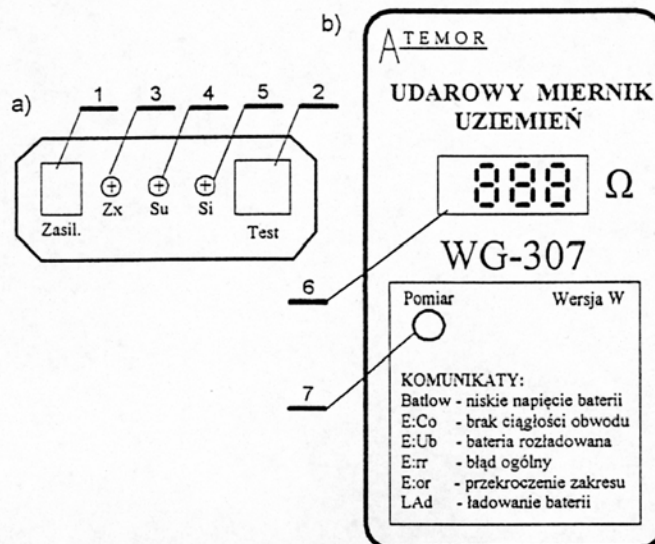
Rys. 6. Układy do pomiaru rezystancji uziemia miernikiem rezystancji (impedancji) pętli zwarcia: a) pomiar rezystancji pętli zwarcia, b) pomiar rezystancji badanego uziemia

Do pomiarów **rezystancji udarowej uziemia** można zastosować miernik produkcji krajowej typu WG – 307. Miernik WG – 307 jest wykorzystywany do badania uziomów instalacji odgromowych, zwłaszcza w obiektach podlegających obostrzonej ochronie odgromowej takich jak: stacje paliw i gazów, zakłady i magazyny branży chemicznej. Miernik może też być wykorzystany do pomiarów rezystancji uziemia pojedynczego słupa linii napowietrznej z linką odgromową bez odpinania tej linki.

Zastosowane udary prądowe osiągają wartość szczytową ok. 1 A, a ich parametry czasowe spełniają wymagania normy dotyczącej badań rezystancji udarowych. Mierniki WG – 307 są produkowane w dwóch wersjach: S – o czasie czoła 1 μ s oraz W – o czasie czoła udaru 4 μ s.

Zakresy pomiarowe miernika są wybierane automatycznie. Wynoszą one: $0 \div 19,9 \Omega$ i $20 \div 199 \Omega$. Miernik ma zasilanie z umieszczonych wewnątrz obudowy miernika akumulatorów ładowanych przez gniazdo umieszczone na bloku obudowy.

Na wyświetlaczu miernika oprócz wyniku pomiarów wyświetlane są też komunikaty dotyczące: niskiego napięcia baterii akumulatorów, braku ciągłości przewodów, rozładowania baterii, błędu ogólnego, przekroczenia zakresu, przerwania ładowania baterii akumulatorów, formowania baterii przed ładowaniem, zakończenia ładowania baterii, ładowania baterii. Widok płyty czołowej i górnej miernika WG – 307 przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Płyty miernika WG – 307: a) czołowej, b) – górnej; 1 – łącznik zasilania, 2 – łącznik testu, 5 – zacisk Si elektrody prądowej, 4 – zacisk Su elektrody napięciowej, 3 – zacisk Zx uziomu badanego, 6 – wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD, 7 – przycisk „pomiar”.

Pomiar miernikiem WG – 307 powinien przebiegać następująco. Po przyłączeniu przewodów pomiarowych (układ trójbiegunowy) należy włączyć zasilanie łącznikiem 1. Po włączeniu zasilania przyrząd wykonuje, trwający kilka sekund, test wyświetlacza. Przyciśnięcie przycisku „pomiar” (7) powoduje uruchomienie przetwornicy zasilającej generator udarów prądowych i rozpoczęcie cyklu pomiarowego (ewentualnie przerwanie cyklu testu wyświetlacza), który składa się z trzech etapów. W pierwszym etapie wykonywany jest test ciągłości przewodów, drugi – to właściwy pomiar a trzeci – to ciągłe wyświetlenie wyniku pomiaru przy minimalnym poborze mocy). W celu wykonania następnego pomiaru należy ponownie wcisnąć przycisk „pomiar”.

Łącznik „test” służy do sprawdzenia poprawności działania miernika. W tym celu należy załączyć przełącznik „test” a następnie wcisnąć przycisk „pomiar”. Wyświetlony wynik pomiaru testowego powinien zawierać się w granicach $11 \pm 0,3 \Omega$.

Pomiary rezystancji uziomów należy wykonać w okresie największej rezystywności gruntu, tzn. w naszych warunkach klimatycznych w okresie miesięcy letnich, od czerwca do września. Należy unikać trzydniowych okresów po długotrwałych opadach. Jeżeli zachodzi konieczność wykonania pomiarów w innym okresie, pomiary te należy powtórzyć.

Zmiany rezystywności gruntu w ciągu roku powodują zmiany rezystancji uziemienia. Ze względu na ochronę przeciwporażeniową ważna jest informacja o maksymalnej rezystancji, jaką badany uziom może osiągnąć. Maksymalną rezystancję uziomu wyznacza się mnożąc wartość pomierzoną R_E przez tzw. współczynnik poprawkowy k_p uwzględniający sezonowe zmiany rezystywności gruntu:

$$R_{E_{max}} = R_E k_p \quad (3)$$

Wartości współczynnika k_p zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartość współczynnika k_p

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Zmierzona rezystywność gruntu, Ω m	Wartość k_p		
			grunt w czasie pomiarów:		
			suchy ¹⁾	wilgotny ²⁾	mokry ³⁾
Pojedynczy uziom poziomy ⁴⁾	$L < 30\text{m}$	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom kratowy ⁴⁾	$S_E < 900\text{ m}^2$	$\rho \leq 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \geq 900\text{ m}^2$	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$L = 2,5 \div 5\text{m}$	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$L > 5\text{m}$	dowolna	1,1	1,2	1,3

¹⁾ W okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach.
²⁾ Poza okresem zaliczanym do ¹⁾ z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
³⁾ W okresie trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
⁴⁾ Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1m.

Najczęściej występujące nieprawidłowości przy pomiarach rezystancji uziemień są związane z:

- ◆ niewłaściwym rozmieszczeniem elektrod pomiarowych,
- ◆ niewłaściwym doborem elementów układu pomiarowego,
- ◆ niewłaściwym usytuowaniem układu pomiarowego względem podziemnych przewodzących elementów zmieniających rozptył prądu pomiarowego,
- ◆ niewłaściwe usytuowanie przewodów układu pomiarowego względem przewodów pobliskich linii napowietrznych.

Niewłaściwe rozstawienie elektrody pomiarowej może polegać na:

- ◆ zbyt bliskim rozmieszczeniu elektrody prądowej co prowadzi do ograniczenia strefy potencjału zerowego i niemożności jej zlokalizowania,
- ◆ usytuowaniu elektrody napięciowej poza strefą potencjału zerowego i pomiarze napięcia mniejszego lub większego od napięcia uziomowego.

Niewłaściwy dobór elementów układu pomiarowego jest związany z:

- ◆ zasilaniem obwodu prądowego ze źródła o mocy nie wystarczającej do wymuszenia przepływu prądu pomiarowego lub do przepływu prądu pomiarowego o małej wartości, nie pozwalającej wyeliminować wpływ prądów błądzących na wynik pomiarów,
- ◆ zastosowaniem przyrządów pomiarowych o niewłaściwych zakresach pomiarowych,
- ◆ zastosowaniem woltomierza o zbyt małej rezystancji wewnętrznej w stosunku do rezystancji elektrody napięciowej,
- ◆ zastosowaniem elektrody prądowej o rezystancji uniemożliwiającej wymuszenie prądu pomiarowego.

Wyniki pomiarów rezystancji uziemień należy umieścić w „Protokole z badania uziemienia”, którego przykładowy wzór zamieszczono w *Załączniku 1*.

4. Ocena wyników pomiarów rezystancji uziemień

Ogólne wymagania odnośnie uziemień sprowadzają się do:

- ◆ zapewnienia warunków funkcjonalnych pracy sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych,
- ◆ ograniczenia zakłóceń i szumów w urządzeniach teletechnicznych,
- ◆ zapewnienia bezpieczeństwa personelu i użytkowników urządzeń elektrycznych przed niebezpiecznymi napięciami dotykowymi,
- ◆ ochrony sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.

Wymienione wyżej wymagania realizują uziemienia: **funkcjonalne, robocze, ochronne, odgromowe i przeciwprzepięciowe**.

Odnosnie uziemien funkcjonalnych, roboczych i ochronnych urzadzzen elektrycznych wymagania okreslaja przepisy ochrony przeciwporazeniowej [12,14,16], natomiast dla urzadzzen teletechnicznych normy [10,11,25].

W odniesieniu do uziemien odgromowych i przeciwprzepięciowych obiektów budowlanych wymagania odnośnie uziemien okreslaja normy [8 14,15], natomiast dla linii napowietrznych i stacji elektroenergetycznych norma [9] i wskazowki [24].Poniżej okreslono najwazniejsze wymagania w/w przepisow.

1) Wymagania odnośnie uziemien roboczych

Uziemienia robocze stosuje się w celu zapewnienia prawidłowego działania wyposażenia i umożliwienia prawidłowej pracy sieci. Uziemienie robocze polega na połączeniu z uziomem określonego punktu obwodu elektrycznego (części czynnej oraz przewodu ochronnego PE lub ochronno-neutralnego PEN). Może ono być wykonane jako bezpośrednie, pośrednie (poprzez reaktancję lub rezystancję) lub otwarte (za pośrednictwem bezpiecznika iskiernikowego).

Uziemienia robocze punktu neutralnego źródła oraz dodatkowe uziemienia robocze przewodów PE (PEN) w najczęściej występujących sieciach TN odgrywają ważną rolę w za-kresie:

- ♦ ochrony przed skutkami pojawienia się w sieci niskiego napięcia wyższego napięcia sieci zasilającej,
- ♦ utrzymania potencjału ziemi na przewodach PEN (PE) i połączonymi z nimi częściami przewodzącymi dostępnymi urzadzzen elektrycznych,
- ♦ umożliwienia działania ochrony poprzez wyłączenie zasilania podczas zwarcia doziemnego do uszkodzonego przewodu,
- ♦ ograniczenia napięć na przewodach PEN (PE) wywołanych zwarciami doziemnymi.

Wypadkowa rezystancja R_B uziemien punktu neutralnego sieci w układzie TN znajdujących się wraz z uziemionym przewodem ochronnym na obszarze koła o średnicy 200 m, zakreślonego dookoła stacji nie powinna przekraczać:

$$R_{B1} \leq 5\Omega$$

lub

$$R_{B1} \leq \frac{\rho_{\min}}{100} \text{ (jeżeli } \rho_{\min} \geq 500 \Omega\text{m)} \quad (4)$$

Rezystancja dodatkowych uziemien roboczych przewodów PEN (PE) nie powinna przekraczać:

$$R_B \leq 30 \Omega$$

lub

$$R_B < \frac{\rho_{\min}}{16} \text{ (jeżeli } \rho_{\min} \geq 500 \Omega\text{m)} \quad (5)$$

W sieci TT rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci nn powinna być nie większa niż:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a} \quad (6)$$

gdzie: 50 - dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe, w V,

I_a - prąd wyłączający zabezpieczenia zwarciego powodujący wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym niż 5 s.

2) Wymagania dotyczące uziemien ochronnych

Uziemienia ochronne stosuje się w celu ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, w przypadku dotyku części przewodzącej, która podczas pracy normalnej nie należy do obwodu elektrycznego, a która może znaleźć się pod napięciem w razie uszkodzenia urządzenia. Uziemienie ochronne polega na metalicznym połączeniu części biernych urzadzzen z uziomem lub układem uziomów, co w efekcie ma stworzyć warunki do przepływu prądu i ograniczenia wartości napięć dotykowych, a więc do eliminacji zagrożenia porażeniowego przy dotyku pośrednim. Wartość rezystancji uziemienia ochronnego w sieci TT nie może przekraczać:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a} \quad (7)$$

gdzie: U_L - najwyższe dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe (np. 50 V),

I_a - prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie.

W przypadku, gdy rolę urządzeń ochronnych pełnią wyłączniki różnicowoprądowe jako prąd I_a do wzoru ($R_A \leq \frac{U_L}{I_a}$)

należy podstawić $I_{\Delta n}$.

3) Wymagania dotyczące uziemień urządzeń telekomunikacji

Instalacje uziemiające w obiektach telekomunikacji przewodowej i bezprzewodowej oraz indywidualne uziemiaenia powinny zapewniać:

- ochronę personelu i użytkowników przed niebezpiecznymi napięciami przez sprowadzenie do wspólnego potencjału ziemi wszystkich znajdujących się w budynku metalowych konstrukcji i instalacji nie będących normalnie pod napięciem oraz spowodowanie działania zabezpieczeń nadprądowych, nie dotyczy to obudowy urządzeń wykonanych w II klasie izolacji,
- ochronę kabli i urządzeń przed niebezpiecznymi napięciami (powodowanymi przez wyładowania atmosferyczne oraz oddziaływanie linii elektroenergetycznych i elektrotrakcyjnych) za pomocą odgromników stacyjnych lub liniowych,
- ograniczenie szumów i przesłuchów w urządzeniach telekomunikacyjnych oraz zakłóceń radioelektrycznych do wartości dopuszczalnych,
- uziemienie jednego bieguna źródła prądu stałego zasilającego urządzenia telekomunikacyjne,
- utworzenie obwodu współziemnego do celu sygnalizacji i zdalnego zasilania.

Wypadkowa rezystancja instalacji uziemiającej względem ziemi odniesienia, w zależności od rodzaju obiektów telekomunikacyjnych, nie powinna być większa od wartości podanych w tabeli 3.

W nawiasach podano rezystancje dopuszczalne w przypadku, gdy rezystywność gruntu jest większa niż 100 Ωm . lub gdy nie ma uziomów naturalnych.

Wartości dopuszczalne wypadkowej rezystancji uziemiaenia dla poszczególnych rodzajów obiektów radiofonii i telewizji podano w tabeli 4.

Jeżeli w jednym budynku zainstalowane są różne rodzaje urządzeń (np. urządzenia retransmisyjne i linie radiowe) należy przyjąć dla instalacji uziemiającej najniższą, wynikającą z tabeli 4 dla poszczególnych kategorii obiektu, wartość wypadkowej rezystancji uziemiaenia.

Tabela 3. Maksymalne dopuszczalne rezystancje uzemień obiektów telekomunikacyjnych.

Lp	Rodzaj obiektu telekomunikacyjnego	Maksymalna wartość rezystancji instalacji uziemiającej, [Ω]
1.	Centrale telefoniczne i miejscowe jednostki wyniesione o pojemności: do 500 numerów (portów) do 2000 numerów (portów) powyżej 2000 numerów (portów)	10 2 (5) 1 (2)
2.	Centrale telefoniczne międzymiastowe i międzynarodowe: - końcowe - tranzytowe	2 (5) 1 (2)
3.	Centrale telegraficzne, bez względu na pojemność	2 (5)
4.	Stacje teletransmisyjne systemów przewodowych i linii radiowych: - przelotowe - końcowe	5 (10) 2 (5)

Tabela 4. Dopuszczalne wypadkowe rezystancje uzemień w obiektach telekomunikacji przewodowej.

Lp.	Rodzaj obiektu	Wypadkowa rezystancja uziemiaenia, Ω
1.	Stacje nadawcze	2 (5)
2.	Stacje linii radiowych (przelotowe)	5 (10)
3.	Stacje linii radiowych (końcowe)	2 (5)
4.	Stacje retransmisyjne nadawcze, odbiorcze i nadawczo-odbiorcze	10

W nawiasach podano wartości dopuszczalne przy rezystywności gruntu przekraczającej 100 Ωm .

4) Wymagania dotyczące uziemień odgromowych obiektów budowlanych

Wymagania odnośnie ochrony odgromowej obiektów budowlanych określają normy [8,14,15]. Normy te wprowadzają pojęcia ochrony:

- ◆ podstawowej, dotyczącej zwykłych obiektów budowlanych,
- ◆ obostrzonej, dotyczącej obiektów zagrożonych pożarem i wybuchem,
- ◆ specjalnej, dotyczącej kominów, liniowych urządzeń transportowych, dźwigów budowlanych i obiektów sportowych.

W normach określone są wymagania odnośnie maksymalnych dopuszczalnych rezystancji uziemień dla poszczególnych rodzajów ochrony.

Dla obiektów budowlanych wymagających ochrony podstawowej wymagania odnośnie rezystancji uziomów podano w tabeli 5 i 6.

Tabela 5. Wymagane wartości rezystancji uziomów w Ω wg [8].

Rodzaj uziomów	Grunt podmokły, bagienny, próchniczny, torfiasty, gliniasty	Wszystkie pośrednie rodzaje gruntów	Grunty: kamienisty i skalisty
Uziomy poziome i mieszane oraz stopy fundamentowe	10	20	40
Uziomy otokowe oraz ławy fundamentowe	15	30	50

Tabela 6. Wartości równoważnych rezystancji uziemienia Z zależnych od rezystywności gruntu ρ (Ωm) wg [15]

ρ Ωm	Równoważna rezystancja uziemienia odniesiona do poziomów ochrony Z Ω		
	I	II	III-IV
100	4	4	4
200	6	6	6
500	10	10	10
1000	10	15	20
2000	10	15	40
3000	10	15	60

Dla obiektów budowlanych wymagających ochrony obostrzonej i specjalnej określone są największe dopuszczalne wartości rezystancji mierzone mostkiem udarowym podane w tabelach 7 ÷ 9.

Tabela 7. Największe dopuszczalne wartości rezystancji wypadkowej uziemienia obiektu zagrożonego wybuchem w Ω

Rodzaje uziomów	Rodzaje gruntu	
	wszystkie rodzaje z wyjątkiem gruntów skalistych i kamienistych	skaliste i kamieniste
poziome, pionowe i mieszane oraz stopy fundamentowe	7	10
otokowe oraz ławy fundamentowe	10	15

Tabela 8. Największe dopuszczalne wartości rezystancji uziemienia kominu w Ω

Rodzaje uziomów	Rodzaje gruntu		
	podmokły, bagienny, próchniczny, torfiasty, gliniasty	pośredni	kamienisty skalisty
Poziome, pionowe i mieszane	rezystancja, Ω		
	10	20	40
Otokowe, fundamentowe	15	30	50

Tabela 9. Największe dopuszczalne wartości rezystancji uziemienia dźwigu w Ω

Największa dopuszczalna rezystancja uziemienia dźwigów, Ω	Rodzaje gruntów	
	wszystkie rodzaje z wyjątkiem gruntów skalistych i kamienistych	skaliste i kamieniste
	20	50

5) Wymagania dotyczące uziemień odgromowych linii i stacji

Uziemienia odgromowe stosowane są w celu ochrony linii i stacji elektroenergetycznych od przepięć powstających w wyniku wyładowań atmosferycznych bezpośrednich i indukowanych oraz od przepięć wewnętrznych występujących w trakcie operacji łączy i wywołanych zwarciami doziemnymi. Szczegółowe wymagania odnośnie uziemień odgromowych określa norma [9] oraz wskazówki [24] odnoszące się do sieci do sieci o napięciu do 110 kV.

W odniesieniu do wszystkich wymienionych wyżej uziemień stawiane są wymagania:

- ◆ małej wartości rezystancji uziemienia, mieszczącej się w granicach określonych w wymienionych wyżej przepisach,
- ◆ symetrii układu uziomowego umożliwiającego zredukowanie różnic potencjału pomiędzy elementami uziomu,
- ◆ możliwie krótkich (o małej indukcyjności) połączeń uziomów z szyną uziemiającą lub z uziemianymi urządzeniami,
- ◆ efektywnej długości uziomu sztucznego,
- ◆ zapewnienia wymaganych odstępów w gruncie pomiędzy elementami układu uziomowego a instalacjami doprowadzonymi do obiektu, które nie mogą być wykorzystywane jako uziomy naturalne,
- ◆ trwałości uziomu i pewności połączeń pomiędzy elementami uziomu oraz przewodami uziomowymi.

Dopuszczalne wartości rezystancji uziemienia słupów linii elektroenergetycznych uzależnione od napięcia znamionowego linii i rezystywności gruntu ρ podano w tabeli 10.

Tabela 10. Dopuszczalne rezystancje uziemienia słupów linii napowietrznych

Napięcie znamionowe linii kV	Rezystancja dopuszczalna w terenie o rezystowności ρ	
	<1000 Ωm	$\geq 1000 \Omega\text{m}$
110 i niższe	10	15
powyżej 110	15	20

Literatura:

1. Gryżewski Z.: Prace pomiarowo-kontrolne przy urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV. COSiW SEP, Warszawa 2002.
2. Jabłoński W.: Pomiary rezystancji uziemień w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia. Gospodarka Paliwami i Energią, nr.12, 1987.
3. Jabłoński W.: Zasady i metody badań rezystancji uziemień. Mat. Kursu Szkoleniowego PTPiREE „Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach wysokiego napięcia”, Wrocław, 2002, str. 61-74.
4. Jabłoński W.: Pomiary rezystancji uziemień skupionych, rezystywności gruntu i rezystancji stanowisk. Mat. Szkol. Przeds. „Energo-Eko-Tech”, Poznań-Kiekrz, marzec 2002.
5. Kuśnierek Z., Groszek S.: Technika pomiarów i badań urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1993.
6. Lejdy B.: Uziemienia w aspekcie ochrony przeciwporażeniowej. Wiadomości Elektrotechniczne, nr.3,1992, str. 88-90.
7. Łasak F.: Pomiary i badania instalacji piorunochronnych. Mat. III Konf. „Urządzenia piorunochronne w projektowaniu i budowie”, Kraków, 2000, str. 139-152.
8. PN-86-92/E-05003 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych (arkusze 01, 03 i 04).
9. PN-E 05100:1998 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi.
10. PN-T-45000-2:1998 Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Systemy uziemiające w obiektach telekomunikacji przewodowej.
11. PN-T-45000-3:1998 Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Systemy uziemiające w obiektach radiofonii i telewizji.
12. PN-IEC 60364-4-41:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona zapewniająca bezpieczeństwo. Ochrona przeciwporażeniowa.

13. PN-IEC 60364-6-61:2000 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzanie. Sprawdzanie odbiorcze.
14. Prenorma P SEP-E-001 (2001) Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciw-porażeniowa.
15. PN-IEC 61024-1:2001 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne.
16. PN-IEC 61024-1-2:2002 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Część 1-2. Zasady ogólne. Przewodnik B- Projektowanie, montaż, konserwacja i sprawdzanie urządzeń pioruno-chronnych.
17. PN-E05115:2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV.
18. Sowa A.: Uziomy otokowe w obiektach budowlanych. Elektroinstalator, nr. 1-2, 1998, str. 40-43.
19. Strzałka J.: Rola uziemień i połączeń wyrównawczych w ochronie przeciwporażeniowej. Jakość i użytkowanie energii elektrycznej. Tom 6, Zeszyt 1, 2000, str. 99-108.
20. Strzałka J.: Rola uziemień w ochronie przeciwporażeniowej, odgromowej i przeciwprze-pięciowej sieci elektroenergetycznych. ZEE AGH (praca niepublikowana).
21. Ustawa z dnia 07.07.1994 r. Prawo budowlane. Tekst jednolity Dz. U. z 2000 r. nr. 106, poz.1126.
22. Wołoszyk M., Gałwowski M., Wojtas S.: Typowe błędy w pomiarach uziemień. Elektrosystemy, grudzień 2002, str. 94-100.
23. Wojtas S., Wołoszyk M., Galewski M.: Właściwości udarowe uziemień odgromowych w praktyce pomiarowej. Mat. III Konf. NT „Urządzenia piorunochronne w projektowaniu i budowie”, Kraków 2000, str. 131-138.
24. Wskazówki ochrony sieci elektroenergetycznych od przepięć. PTPiREE, Poznań, 1999.
25. ZN-96 TPS.A.-037 Telekomunikacyjne sieci miejscowe. Systemy uziemiające obiektów telekomunikacyjnych. Wymagania i badania.

Powyższy tekst został przedstawiony podczas Seminarium Naukowo-Technicznego „Pomiary odbiorcze i eksploatacyjne w instalacjach elektrycznych do 1 kV” w Krakowie, 3 kwietnia 2003 r.

PROTOKÓŁ Nr.....
z badania uziemienia

Nazwa obiektu.....
 Adres.....
 Rodzaj uziemienia.....
 Lokalizacja uziemienia.....
 Oznaczenie identyfikacyjne uziemienia.....
 Wyniki oględzin widocznych elementów uziemienia.....
 Zastosowany układ pomiarowy.....
 Przyrządy użyte w czasie pomiarów (nazwy, typy, nr fabryczny, podstawowe parametry).....

Największe dopuszczalne wartości wielkości sprawdzanych (rezystancji, a jeżeli jest to wymagane to i napięcia uziomowego).....

Grunt: suchy, wilgotny, mokry¹⁾

Uwaga: Należy przyjmować że: grunt suchy występuje od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach; wilgotny – od października do maja (włącznie) z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu; mokry – w okresach trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.

Wyniki pomiarów (podać tylko wartości niezbędne dla oceny badania przy zastosowanej metodzie pomiarowej):

Zmierzone napięcie uziomowe $U_E = \dots\dots\dots V$
 Zmierzony prąd pomiarowy $I_E = \dots\dots\dots A$
 Zmierzona rezystancja uziemienia $R_E = \dots\dots\dots \Omega$

Wyniki obliczeń rezystancji uziemienia (jeżeli obliczenia są potrzebne):

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} = \dots\dots\dots \Omega$$

Przyjęty współczynnik sezonowych zmian rezystywności gruntu:

Największa spodziewana rezystancja uziemienia: $R_{E \max} = R_E \times k_p = \dots\dots\dots \Omega$

Największy spodziewany prąd uziomowy: $I_{E \max} = \dots\dots\dots A$

Największe spodziewane napięcie uziomowe: $U_{E \max} = U_E \times (I_{E \max} / I_E) = \dots\dots\dots V$

Wyniki badań uziemienia:

Uziemienie spełnia stawiane mu wymagania: tak – nie¹⁾

Uwagi dodatkowe.....

Data wykonania badań.....

Termin następnych badań.....

Przeprowadzający pomiary (imię, nazwisko, uprawnienia, podpis).....

¹⁾ niepotrzebne skreślić