

POMIAR REZYSTANCJI UZIEMIENIA

(Odpowiedź na drugie pytanie p. Kazimierza Chałubka)

W „Biuletynie INPE” Nr 34 na stronie 56 przedstawiono układ do pomiaru rezystancji uziemienia. Autor wybrał prosty przykład z pojedynczym uziomem pionowym, podając odległości między uziomem badanym (mierzonym) T, a uziomami pomocniczymi (sondami) T₁ i T₂. Również w instrukcjach (DTR) wielu mierników do pomiaru rezystancji uziemienia przyjęto podobny sposób objaśnienia zasady pomiaru, tj. z pojedynczym uziomem pionowym. Np. dla miernika typu ERT 1000 produkcji koreańskiej podaje się układ pomiarowy, w którym zalecane odległości wynoszą:

- między uziomem badanym a uziomem pomocniczym (sondą napięciową) 5 do 10 m,
- między uziomem pomocniczym (sondą napięciową), a drugim uziomem pomocniczym (sondą prądową) również 5 do 10 m. Zatem maksymalna odległość między uziomem badanym a sondą prądową nie przekracza 20 m.

Natomiast w instrukcji miernika typu PU 431 produkcji czeskiej zamieszczono schemat pomiaru rezystancji uziomu pojedynczego pionowego z innymi odległościami, a mianowicie:

- między uziomem badanym a sondą napięciową 25 m.
- między sondą napięciową a sondą prądową 15 m, czyli łączna odległość między uziomem badanym a sondą prądową wynosi 40 m.

W wyposażeniu fabrycznych tych mierników dostarczane są przewody najdłuższe:

- 20 m z miernikiem ERT 1000,
- 40 m z miernikiem PU 431.

Także mierniki polskiej produkcji do pomiaru rezystancji uziemienia, tj. IMU oraz WG 307 są wyposażone przez producenta w przewody pomiarowe o długości nie przekraczającej 40 m.

Z teorii pomiaru rezystancji uziemienia wynika, że uziom pomocniczy napięciowy (sonda napięciowa) powinna być usytuowana w obszarze tzw. ziemi odniesienia w trakcie pomiaru (obszar o potencjale zerowym - $V=0$). Tymczasem - jak wiadomo - na terenach zabudowanych bardzo rzadko stosuje się pionowe uziomy pojedyncze. Najczęściej stosowane są uziomy poziome o kształcie rozległych bednarek o różnym konturze, często otokowych, czy też wielokrotnych pionowych połączonych bednarką. Dla rozległych uziomów poziomych i wielokrotnych pionowych, połączonych bednarką, ziemia odniesienia jest silnie skorelowana z kształtem konturu uziemienia i długością uziomu poziomego i może wynosić nawet kilkaset metrów. Rodzi się więc pytanie, czy wobec opisanego wyposażenia mierników w takiej sytuacji wyniki pomiarów wiarygodnie odzwierciedlają rzeczywistą wielkość rezystancji uziemienia i jak należy ocenić dokładność tych pomiarów?

Odpowiedź:

Czytelnik dotyka kwestii szczególnie trudnej i delikatnej. Odpowiedź w miarę wyczerpująca miałaby objętość broszury, a zapewne i tak nie wyjaśniałaby w szczegółach wszelkich złożonych sytuacji spotykanych w praktyce.

Instrukcje przeprowadzania pomiarów, dołączane do mierników, ograniczają się do przedstawiania zaleceń dla najprostszych przypadków uziomów skupionych, usytuowanych w terenie nieuzbrojonym, w gruncie jednorodnym, chociaż wymieniania tych ograniczeń wytwórcy mierników unikają ze względów marketingowych.

Żadnej wartości nie przedstawiają wskazówki na temat „pomiaru rezystancji uziemienia” zamieszczone w zeszytach 34 Biuletynu INPE (s. 55-56). Są one bezkrytycznym powtórzeniem tekstu załącznika C z normy PN-IEC 60364-6-61:2000, łącznie z mylną sugestią, że potencjał ziemi odniesienia znajduje się w połowie odległości między uziomem badanym T a uziomem pomocniczym prądowym T₁. Jeśli potencjału ziemi odniesienia szukać na odcinku prostym łączącym oba uziomy (T oraz T₁), to raczej w miejscu wynikłym z podziału tego odcinka w stosunku proporcjonalnym do wymiarów charakterystycznych¹ obu uziomów.

Od dziesiątków lat są publikowane studia i zalecenia poświęcone problemowi najważniejszego rozstawienia uziomów pomocniczych [1, 2, 3, 5], a odpowiednie wskazówki można znaleźć w podręcznikach i poradnikach na temat uziemień [6, 7]. Większość z nich omija trudny temat uziomów na terenie uzbrojonym (z uziomami nie połączonymi galwanicznie z uziomem rozpatrywanym), chociaż są opracowania poświęcone tej sprawie [4], ale rozważając tylko wybraną konfigurację. Wielu autorów wykazuje, że nie są potrzebne aż tak duże oddalenia uziomów pomocniczych od uziomu badanego, jak to się zwykle uważa, że ważniejsze jest poprawne ich wzajemne rozmieszczenie. Już dawno Tagg wykazał [6], że w czysto teoretycznym przypadku uziomu półkulistego w gruncie jednorodnym wystarczy uziom pomocniczy napięciowy umieścić w odległości $0,618 \cdot L$ od uziomu badanego, w kierunku przeciwnym do uziomu pomocniczego prądowego, aby uzyskać poprawny wynik pomiaru w gruncie jednorodnym, niezależnie od odległości L między uziomem badanym T a uziomem pomocniczym prądowym. Podobny sposób rozumowania można odnieść do innych konfiguracji uziomów otrzymując inaczej sformułowane wnioski, pozwalające jednak odejść od wymagania oddalenia uziomów pomocniczych przekraczającego co najmniej 3÷5-krotnie wymiar charakterystyczny uziomu. Wnioski takie dotyczą wszakże znanej i dość regularnej konfiguracji uziomów w gruncie jednorodnym pozbawionym obcych uziomów sztucznych bądź naturalnych.

Czytelnik zapewne wolałby uniknąć studiowania obszernych i trudno dostępnych opracowań tym bardziej, że po gruntownym ich zgłębieniu mógłby mieć więcej wątpliwości niż ma ich teraz. Im więcej się wie o trudnych problemach, tym więcej wątpliwości.

Istota problemu dręczącego Czytelnika jest następująca. Jeśli w obszarze leja potencjału jakiegoś uziomu umieści się inny nie połączony z nim galwanicznie uziom, to jednak występuje między nimi **sprężenie rezystancyjne** poprzez pole elektryczne w przewodzącym gruncie. Przy przepływie prądu uziomowego przez jeden z uziomów na drugim występuje napięcie względem ziemi odniesienia, mimo iż prąd przezeń nie płynie. Odwzorować to można schematem zastępczym, jak na rys. 1, na którym dwa uziomy o rezystancji uziemienia odpowiednio R_1 i R_2 (względem ziemi odniesienia) mają rezystancję sprzężenia R_s , tym większą, im mniejsza jest ich wzajemna odległość.

Skutki sprzężenia dwóch niepołączonych galwanicznie uziomów (rys. 1) są między innymi następujące:

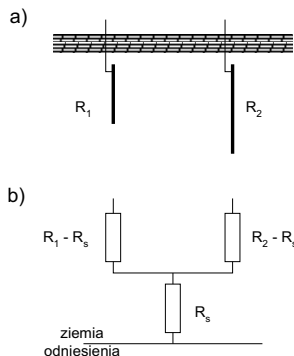
- Jeżeli jeden z uziomów odprowadza do ziemi prąd I powracający innym odległym uziomem (nie przedstawionym na rysunku), to na drugim z rozpatrywanych uziomów występuje napięcie $I \cdot R_s$ względem ziemi odniesienia.
- Jeżeli przyłoży się napięcie między obydwa uziomy przedstawione na rys. 1, to płynący prąd napotyka rezystancję $(R_1 + R_2 - 2 \cdot R_s)$.

Gdyby te dwa uziomy tworzyły zamknięty obwód prądu zwarcia doziemnego, to wprowadzałyby do niego rezystancję $(R_1 + R_2 - 2 \cdot R_s)$, a nie rezystancję $(R_1 + R_2)$.

Sytuacja podobna występuje na przykład wtedy, kiedy uziom skupiony R_1 znajduje się na terenie zajęтым przez uziom rozległy R_2 , nie będąc z nim połączony galwanicznie.

Sprężenie może występować między uziomami na stałe umieszczonymi w ziemi i od czasu do czasu objawiać się trudnymi do wyjaśnienia zakłóceniami. Sprężenie może też występować przejściowo, np. podczas pomiarów, między uziomem badanym a jednym z uziomów pomocniczych lub nawet z obydwoma. Wynikiem pomiaru jest wtedy nie rezystancja uziemienia (uziomu względem ziemi odniesienia), lecz wartość mniejsza, czyli popelnia się błąd ujemny, błąd w kierunku niebezpiecznym.

1. Wymiar charakterystyczny uziomu jest to wymiar geometryczny uziomu mający największy wpływ na wartość rezystancji uziemienia: długość prostego uziomu pionowego lub poziomego, średnica uziomu otokowego o kształcie pierścienia, średnica zastępczego koła o polu powierzchni takim, jak rozległy uziom poziomy (np. uziom kratowy stacji najwyższego napięcia).



Rys. 1. Ilustracja sprzężenia dwóch uziomów: a) stan rzeczywisty; b) schemat zastępczy
 R_1 , R_2 - rezystancja uziemienia każdego z uziomów mierzona względem ziemi odniesienia

Bywa, że sprzężenie rezystancyjne występuje między uziomami (np. roboczym stacyjnym i ochronnym w instalacji odbiorczej) zamykającymi obwód prądu zwarcia doziemnego, np. w układzie TT. Dla oceny skuteczności ochrony, tzn. dla sprawdzenia, czy jest spełniony warunek

$$RA \leq \frac{UL}{I_a}$$

nie jest wtedy istotna prawdziwa wartość rezystancji uziemienia przewodu ochronnego względem ziemi odniesienia, wystarczy wartość pomniejszona o rezystancję sprzężenia R_s , przez którą w rozważanej sytuacji rzeczywistego uszkodzenia prąd zwarcia doziemnego nie płynie. Ale jak wykonać pomiar, aby odrzucona wartość rezystancji sprzężenia R_s była jednakowa dla obu sytuacji: pomiaru i rzeczywistego zwarcia doziemnego? Nie ma prostej odpowiedzi na to pytanie. Jak wobec tego postępować?

Po pierwsze, można unikać pomiaru rezystancji uziemienia, jeśli nie jest on konieczny. Stan ochrony przeciwporażeniowej w każdym układzie (TN, TT, IT) można oceniać na podstawie pomiaru napięć dotykowych, które po przeliczeniu na wartości występujące przy prądzie wyłączającym zabezpieczenia porównuje się z napięciem dotykowym dopuszczalnym długotrwale (Biuletyn INPE, nr 41, s. 84). W tym celu wywołuje się zwarcie pomiarowe, przy którym prąd pomiarowy o stosunkowo niedużej wartości płynie w takim samym obwodzie (bez udziału rezystancji sprzężenia R_s), jak prąd przy rzeczywistym zwarcu.

Po drugie, bez potrzeby wykonywania uziomów pomocniczych można mierzyć impedancję pętli zwarcia poprzez ziemię (w układzie IT z oddzielnymi uziemieniami lub w układzie TT) wywołując zwarcie pomiarowe L-PE z prądem płynącym w takim obwodzie, jak przy rzeczywistym zwarcu doziemnym. Wynikiem pomiaru jest suma rezystancji uziemienia dwóch uziomów: uziomu badanego R_i oraz drugiego uziomu lub zespołu uziomów, zamykającego obwód prądu zwarcia doziemnego. Jeśli wynik pomiaru jest mniejszy niż wymagana wartość R_{i0} , to stan jest zadowalający. W przeciwnym razie od wyniku pomiaru trzeba odjąć rezystancję uziemienia tego drugiego uziomu lub zespołu uziomów, ale jej określenie może być niełatwe.

Pomiar rezystancji uziemienia może też być potrzebny z innych powodów niż ochrona przeciwporażeniowa. Dla celów ochrony ogromowej bardziej miarodajny jest raczej wynik pomiaru miernikiem udarowym. W sposób naturalny uwzględnia on nieekwipotencjalność uziomu w następstwie indukcyjnych spadków napięcia i ogranicza bądź nawet eliminuje udział

dalszych odcinków uziomu w odprowadzaniu prądu uziomowego oraz udział sprzężeń rezystancyjnych z sąsiednimi uziomami. Niestety, pomiar miernikiem udarowym nie uwzględnia korzystnych efektów dużej wartości prądu udarowego I_u , zwłaszcza w gruncie o dużej rezystywności ρ , co niekiedy wyraża się zależnością udarowej rezystancji uziemienia od iloczynu $I_u \cdot \rho$. Zresztą żaden popularny miernik nie uwzględnia nieliniowości rezystancji uziemienia, jej zależności od wartości prądu uziomowego. Czynniki ten po prostu każdorazowo wprowadza nieokreślony błąd przypadkowy pomiaru.

Pomiar rezystancji uziemienia należy do mniej dokładnych pomiarów elektrycznych. Graniczny **błąd miernika**, gwarantowany przez wytwórcę, jest tylko jednym z cząstkowych **błędów pomiaru**. Dochodzą dalsze błędy, niejednokrotnie znacznie większe niż błąd miernika, zwłaszcza wspomniany błąd z tytułu nieliniowości rezystancji uziemienia i błędy wynikające ze sprzężeń rezystancyjnych, związane z niewłaściwym rozmieszczeniem uziomów pomocniczych. Pomiaru porównawcze różnymi miernikami i różnymi metodami wykonywane chociażby w ramach prac dyplomowych w Politechnice Gdańskiej uczą pokory i ostrożności przy wykonywaniu pomiarów i interpretacji ich wyników.

Literatura

1. Labini M. S.: Nuovi metodi per determinare resistività, resitenza di terra e stratificazione del terreno. L'Energia Elettrica, 1991, nr 11, s. 457-466.
2. Markiewicz H.: Optymalne rozstawienie uziomów pomocniczych przy pomiarach rezystancji uziemienia. Energetyka, 1968, nr 12, s. 412-417.
3. Markiewicz H.: Nowe poglądy dotyczące metod pomiarów rezystancji uziemienia uziomów. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, Elektryka XXXV, nr 196, 1968, s. 145-186.
4. Popovic Lj. M.: Proximity effect between an earthing grid and external electrodes in an earthing system of high-voltage installations. IEE Proc. Pt C, 1986, nr 6, s. 346-352.
5. Szczepański Z.: Modelowe badania technicznej metody pomiaru oporności rozległych uziomów stacyjnych. Energetyka, 1959, nr 9, s. 252-253.
6. Tagg G. F.: Earth resistances. George Newnes Ltd, London, 1964.
7. Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa, 1967.

Edward Musiał

WARTO MIEĆ TAKŻE ARCHIWALNE NUMERY BIULETYNU INPE

W bieżących numerach Biuletynu INPE - jak zapewne Państwo zauważyli - nie drukujemy wcześniej zamieszczonych informacji, ograniczając się do publikowania zmian do nich wprowadzonych. Opisujemy je i przytaczamy teksty wprowadzonych zmian do aktów prawnych, zbiorów norm czy też komentarzy wcześniej opublikowanych, powołując się na odpowiednie numery i strony biuletynu. Posiadanie więc kompletu wydanych numerów Biuletynu INPE przesądza o zapewnieniu sobie pełnej i ciągle aktualnej wiedzy o obowiązujących normach i przepisach w zakresie szeroko rozumianej elektryki.

Wychodząc naprzeciw takim potrzebom nowych i wcześniejszych prenumeratorów oferujemy możliwość nabycia brakujących numerów biuletynu.

Promocyjna cena numerów archiwalnych:

od nr 1 do Nr 18 po 3 zł za 1 numer; od Nr. 19 do Nr. 30 po 4 zł i od Nr. 31 do Nr. 36 po 6 zł z wyjątkiem numerów wyczerpanych: Nr Nr 6, 28, 31 i 32. Numery wyczerpane (z dodruku) kosztują po 6 zł. Oferta ważna do czasu wyczerpania nakładu.

Redakcja