



# pomiar napięcia krokowego i dotykowego

Tomasz Koczorowicz – TOMTRONIX

**W artykule opisano system pomiarowy HT2050 włoskiej firmy HT Italia przeznaczony do pomiarów napięć rażeniowych. Pomiary napięcia krokowego i dotykowego wchodzi w zakres czynności mających na celu sprawdzenie bezpieczeństwa w systemie elektroenergetycznym. Służby techniczne zakładów energetycznych i przemysłowych borykają się bowiem z problemem braku specjalistycznego sprzętu pomiarowego, który w sposób nieskomplikowany, a przede wszystkim rzetelny, umożliwi wykonanie takiego badania.**

Osoby trudniące się pomiarami wiedzą, jak bardzo uciążliwe bywa korzystanie ze stanowisk pomiarowych konfigurowanych z elementów o uniwersalnym przeznaczeniu. Towarzyszą temu trudności w ustaleniu rzeczywistego błędu rezultatu próby, a także skomplikowane i długotrwałe procedury, każdorazowo związane z budową stanowiska pomiarowego.

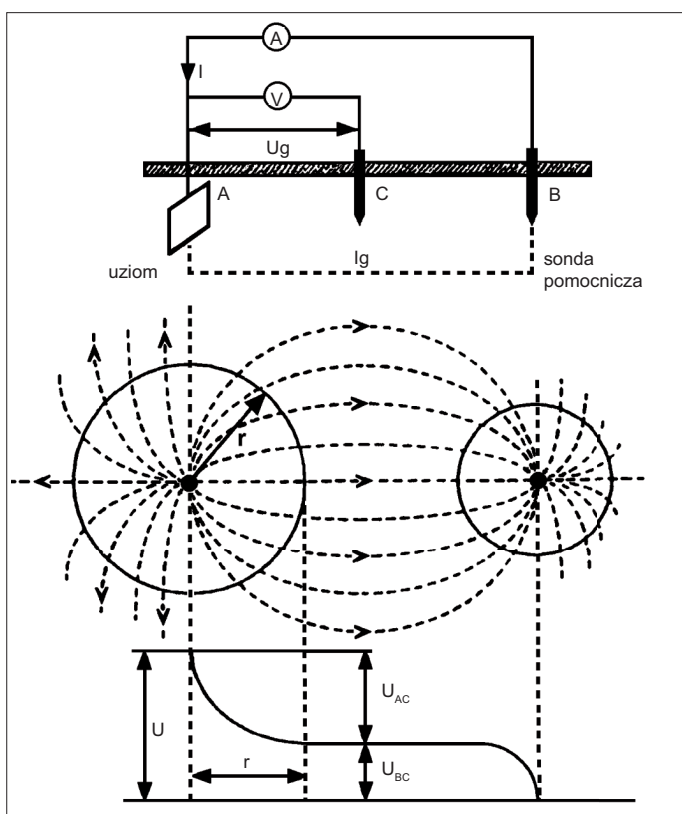
## cel pomiaru

Uziemienie stanowi ważną część każdego układu zasilania. Ma ono decydujący wpływ na bezpieczeństwo użytkownika i obsługi instalacji. Dobre połączenie z ziemią umożliwia właściwe funkcjonowanie zabezpieczeń oraz redukuje różnicę potencjałów w gruncie, w pobliżu elektrod.

Rozkład potencjału wokół uziomu symetrycznego jest jednakowy we wszystkich kierunkach i tworzy „potencjałowy lejek” (rys. 2). Napięcie  $U_g$  zmierzone między uziomem a oddalonym punktem, tzw. ziemią, której potencjał elektryczny w każdym punkcie przyjmuje się umownie jako równy zero, jest napięciem uziemienia. Taka odległość od uziomu oznacza, że różnica między wynikami pomiarów napięcia uziemienia uzyskanymi w dwóch różnych miejscach jest bliska zero.

Zagrożenie porażeniem elektrycznym ludzi, którzy przebywają w pobliżu miejsca przebicia (rys. 2), obrazuje napięcie krokowe i dotykowe. Część napięcia uziemienia, która zostaje niejako zmostkowana przez człowieka, nazywana jest napięciem krokowym  $U_s$ . Napięcie krokowe stanowi różnicę potencjałów występującą między stopami osoby (stopy w odległości 1 m od siebie). Napięcie to zmienia się proporcjonalnie do zmian rezystancji gruntu wokół uziemienia. Napięcie dotykowe  $U_c$  stanowi zmostkowaną przez człowieka część napięcia uziemienia w sytuacji, kiedy dotyka on uziemionego obiektu stojąc w odległości 1 m od niego, a prąd rażenia płynie przez rękę, tułów i nogi do ziemi.

Ważnym elementem jest również napięcie dotykowe, które jest różnicą potencjałów między uziemionym obiektem a punktem w odległości 1 m od uziomu. Napięcie to zmienia się proporcjonalnie do zmian rezystancji gruntu wokół uziemienia. Napięcie dotykowe  $U_c$  stanowi zmostkowaną przez człowieka część napięcia uziemienia w sytuacji, kiedy dotyka on uziemionego obiektu stojąc w odległości 1 m od niego, a prąd rażenia płynie przez rękę, tułów i nogi do ziemi.



Rys. 1. Rozkład pola elektrycznego i potencjału w układzie pomiarowym

## metoda pomiaru

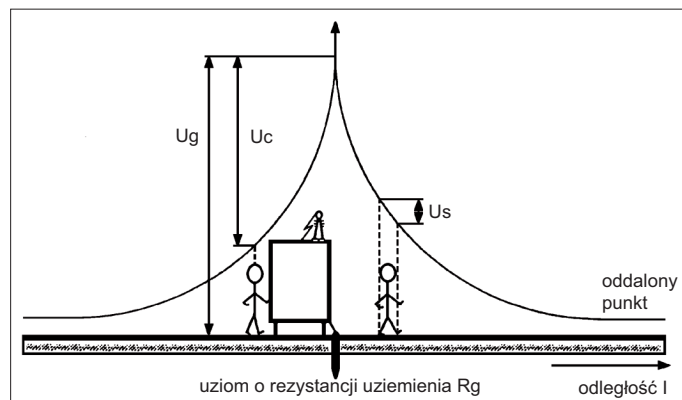
Metoda badania polega na forsowaniu przepływu prądu przez uzie-

tość rezystancji modeluje rezystancję ciała człowieka, a jej wartość wynika z właściwych norm. Układ pomiarowy przedstawiono na **rysunku 3**. Do wykonywania pomiarów używa się odważników, których zadaniem jest imitowanie stóp człowieka. Powierzchnia styku odważników z gruntem wynosi 400 cm<sup>2</sup> (po 200 cm<sup>2</sup> dla każdego odważnika). Odważniki dociskane są do gruntu siłą o wartości co najmniej 500 N (każdy odważnik 250 N). Przy braku odważników pomiarowych o takich wymiarach można stosować sondy zakopane w gruncie na głębokości 20 cm.

Sonda pomocnicza zamyka obwód dla przepływu prądu pomiarowego. Musi być umieszczona w takiej odległości od badanego uziomu, aby obszary oddziaływania uziomu i sondy nie zachodziły na siebie, tzn. aby pomiędzy nimi występował obszar, na którym nie występuje spadek potencjału w gruncie. Najbardziej właściwym sposobem określenia miejsca lokalizacji sondy pomocniczej jest uwzględnienie rozmiaru „lejka potencjałowego”, czyli obszaru oddziaływania badanego uziomu. Sonda pomocnicza powinna być umieszczona w odległości około 20 m od granicy obszaru oddziaływania uziomu. Inaczej na-

leży postępować podczas sprawdzania systemu uziemienia stacji energetycznej lub dużej stacji transformatorowej, gdyż w takich przypadkach obszar oddziaływania systemu uziemienia jest bardzo duży i może wynosić nawet 1 km lub więcej. Ze względu na to, że do skonfigurowania układu pomiarowego w takiej sytuacji byłby wymagany bardzo długi przewód, można zamiast tego skorzystać z systemu uziemienia innego dużego, przylegającego obiektu. Jeżeli dany uziom, będący częścią systemu uziemienia pełniącego funkcję pomocniczą, nie jest przystosowany do przepływu dużych prądów pomiarowych, można zmniejszyć rezystancję jego przejścia do ziemi umieszczając obok, w gruncie, rury o średnicy 10-20 cm. Należy to zrobić w ten sposób, aby tworzyły one równoboczny wielokąt i były oddalone jedna od drugiej na odległość 3 m. Jeżeli nie można umieścić sondy pomocniczej poza obszarem oddziaływania badanego systemu uziemienia, należy powtórzyć kilka razy procedurę pomiaru, a największy uzyskany rezultat wpisać do protokołu.

Zmierzone wartości napięcia krokowego oraz dotykowego są wynikiem przepływu prądu pomiarowego. Aby określić rzeczywiste wartości tych napięć w stanach awaryjnych,



**Rys. 2.** Rozkład potencjału wokół uziomu z zaznaczonym napięciem krokowym i dotykowym

należy je pomnożyć przez współczynnik korekcji „k”. Współczynnik ten jest stosunkiem maksymalnego możliwego prądu zwarciego do prądu pomiarowego:

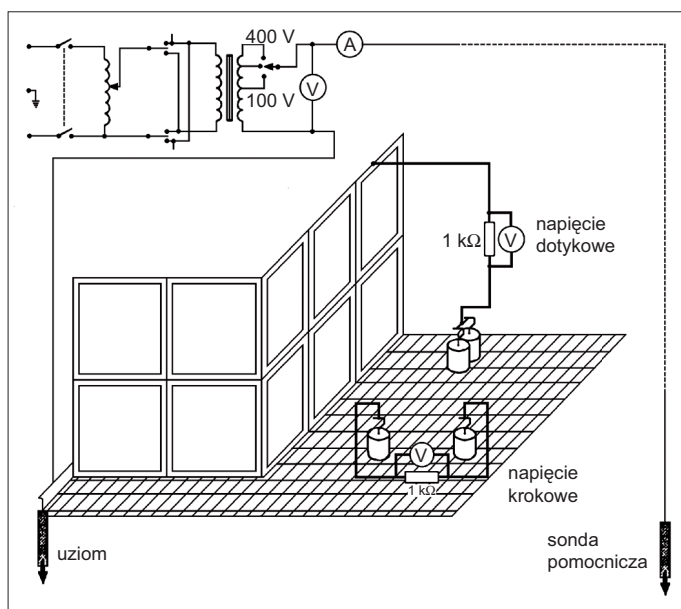
$$k = \frac{\text{maksymalny możliwy prąd zwarcioy}}{\text{prąd pomiarowy}}$$

### system pomiarowy HT2050

Zestaw przyrządów firmy HT Italia (**foto. 1.**) służy do automatycznego pomiaru napięcia krokowego i dotykowego. W jego skład wchodzi stacja bazowa HT2051 oraz mikroprocesorowy woltomierz HT2052 z drukarką. Stacja bazowa wymusza przepływ prądu w gruncie. Woltomierz mierzy spadek napięcia oraz zapisuje wyniki pomiarów w pamię-

ci. Pojemność pamięci wynosi 350 wyników. Wyniki pomiarów można wydrukować lub przesłać łączem RS-232 do komputera. W wyposażeniu zestawu znajduje się oprogramowanie w języku polskim, które pozwala zapisać rezultaty badań w pliku, drukować protokoły oraz przeglądać dane w celu ich analizy. Wraz z zestawem jest dostarczany komplet przewodów pomiarowych z zaczeplami, sondy oraz młotek do wbijania sond.

Stacja bazowa funkcjonuje w układzie mikroprocesorowym. Urządzenie ma rozbudowane układy samokontroli, które monitorują poziom temperatury wewnątrz obudowy oraz ciągłość połączeń w obwodzie prądowym. W przypadku wykrycia nieciągłości lub nadmier-



**Rys. 3.** Układ pomiarowy

reklama

**TOMTRONIX**  
APARATURA POMIAROWA

www.tomtronix.com.pl  
tomtronix@tomtronix.com.pl  
tel. fax. (42) 6747455  
tel. (42) 6760633

**HT2050**  
**SYSTEM DO AUTOMATYCZNEGO**  
**POMIARU NAPIĘĆ RAŻENIOWYCH**  
**WIELU UŻYTKOWNIKÓW W KRAJU**



Fot. 1. System HT2050 do pomiaru napięcia krokowego i dotykowego

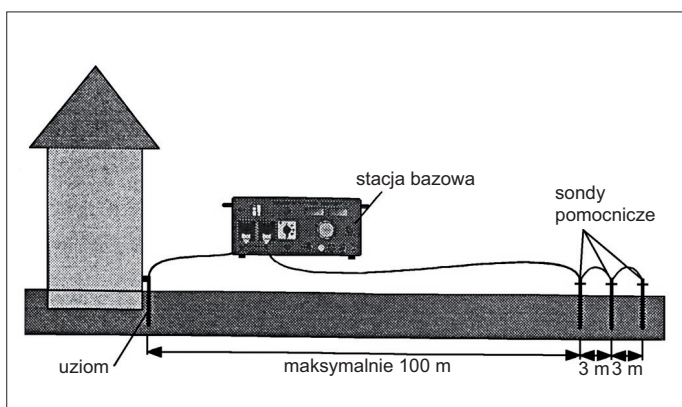
nego nagrzania sygnał nie dochodzi do wyprowadzeń przyrządu. Na płycie czołowej HT2051 znajduje się cyfrowy amperomierz oraz woltomierz. Wskaźniki te podają informację o aktualnych parametrach układu wyjściowego. Stacja bazowa dysponuje mocą wyjściową 3,5 kVA oraz trzema zakresami parametrów wyjściowych: 100 V (maks. obciążalność 35 A), 200 V (maks. obciążalność 17,5 A) oraz 400 V (maks. obciążalność 8,75 A). Wyposażona jest w pamięć, w której są przechowywane informacje o wartości generowanych prądów powiązane z czasem ich występowania. Woltomierz HT2052 ma możliwość wprowadzenia współczynnika korekcji, dzięki któremu przy obliczaniu napięcia dotykowego i krokowego uwzględniana jest wymagana wartość spodziewanego prądu zwarciovego (stacja bazowa nie

może wygenerować prądów większych od 35 A). Ponadto operator ma możliwość ustalenia wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale, np. 25 lub 50 V, oraz wyboru jednej z dwóch wartości rezystancji wejściowej woltomierza 1 kΩ lub 1 MΩ.

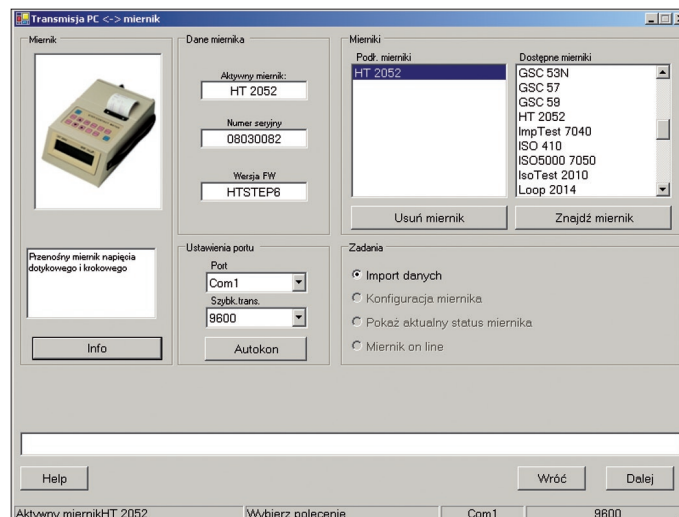
### tryby pracy HT2050

Połączenie stacji bazowej w układzie pomiarowym pokazano na **rysunku 5**. System pomiarowy może pracować w trybie ręcznym lub automatycznym.

W trybie ręcznym są do wyboru dwie opcje pracy. Pierwsza z nich pozwala na współpracę woltomierza HT2052 z dowolnym zadajnikiem prądu. W tym przypadku zaleca się, aby pomiary wykonywały dwie osoby, gdyż jedna z nich przez cały czas badania powinna



Rys. 5. Sposób podłączenia stacji bazowej do układu pomiarowego



Rys. 4. Program Topview do sporządzania protokołów

kontrolować wartość generowanego prądu tak, aby była ona zgodna z wartością prądu pomiarowego zapisaną w pamięci woltomierza, natomiast druga osoba powinna obsługiwać woltomierz. Druga opcja trybu ręcznego wymaga użycia kompletnego zestawu pomiarowego. Stosuje się ją wówczas, gdy w gruncie występują interferencje napięciowe. Poziom napięć interferencyjnych jest często taki sam lub nawet wyższy od napięcia dotykowego lub krokowego będącego wynikiem przepływu prądu pomiarowego, co w rezultacie może całkowicie zniekształcić rezultaty badań. W zakładkach przemysłowych napięcia interferencyjne występują zawsze i charakteryzują się zmiennością w czasie. Przyrząd kompensuje zakłócenia korzystając z metody Erbachera. W tym celu wykonuje sekwencję trzech pomiarów. Pierwsze badanie prądem pomiarowym o fazie zgodnej z napięciem, drugie prądem przesuniętym w fazie o 180° względem napięcia oraz trzecie bez prądu pomiarowego. Na podstawie tych trzech wyników mikroprocesor woltomierza oblicza napięcie krokowe lub dotykowe ze wzoru:

$$U_{\text{krokowe(dotykowe)}} = k\sqrt{U_1^2/2 + U_2^2/2 - U_0^2}$$

gdzie:

$U_0$  – wynik badania bez prądu pomiarowego.

$U_1$  – wynik badania prądem pomiarowym o fazie zgodnej z napięciem.

$U_2$  – wynik badania prądem pomiarowym o fazie przesuniętej względem napięcia o 180°.

$k$  – współczynnik korekcji.

W tym przypadku również zaleca się, aby pomiary wykonywały dwie osoby, gdyż jedna z nich przez cały czas badania powinna kontrolować wartość generowanego prądu oraz przełączać tryb pracy stacji bazowej, natomiast druga obsługiwać woltomierz.

Tryb automatyczny najefektywniej wykorzystuje możliwości systemu pomiarowego. Co do zasady nie różni się on od poprzednio opisanego. W tym trybie wpływ zakłóceń jest także eliminowany metodą Erbachera. Różnica polega na tym, że wszystkie czynności wykonywane są automatycznie. Przed rozpoczęciem pomiarów woltomierz i stację bazową łączy się kablem transmisyjnym szeregowym w celu przeprowadzenia synchronizacji. Następnie wprowadza się do pamięci woltomierza wartość prądu pomiarowego ustawioną w stacji bazowej. Dzięki temu operator otrzymuje zgrubną informację o poziomie rzeczywistego napięcia dotykowego (krokowego) natychmiast po wykonaniu pomiaru. Proces pomiaru nie wymaga ręcznego prze-

łączania parametrów wyjścia stacji bazowej (prąd o fazie zgodnej z napięciem, prąd w fazie przeciwnej do napięcia, brak prądu pomiarowego). Woltomierz automatycznie wykrywa zmianę sygnału wyjściowego zadajnika i synchronicznie zapisuje w swojej pamięci zmierzone napięcia, a następnie dokonuje obliczeń zgodnie ze wzorem w metodzie Erbachera. Po zakończeniu badań oba urządzenia łączy się ponownie ze sobą kablem transmisji szeregowej w celu przetransmitowania wartości prądów zapisanych w pamięci stacji bazowej do pamięci woltomierza. Woltomierz porównuje te dane z odpowiadającymi im w czasie wartościami zarejestrowanych napięć. Precyzyjne wyniki pomiarów, które uwzględniają rzeczywisty prąd pomiarowy, można następnie wydrukować bezpośrednio na drukarce lub przetransmitować do komputera w celu sporządzenia protokołu z badań. Sporządzanie protokołów ułatwia program Topview (rys. 4.).

Zestawy przyrządów do pomiaru napięcia dotykowego i krokowego HT2050 zaopatrzone w indywidualne świadectwa sprawdzenia sporządzone przez laboratorium akredytowane przez włoski urząd miar i pracujące w systemie ISO 9001. Świadectwo to potwierdza zgodność parametrów urządzenia z podanymi w instrukcji obsługi i jest istotne z punktu widzenia wszystkich tych użytkowników, którzy funkcjonują na podstawie systemu kontroli jakości ISO. System pomiarowy HT2050 spełnia wymagania dyrektyw Unii Europejskiej i został oznaczony symbolem zgodności CE. Systemy są oferowane w naszym kraju od 2000 r. W tym okresie znalazły praktyczne wykorzystanie w wielu zakładach z branży energetycznej oraz firmach świadczących usługi pomiarowe.