

# pomiary współczynnika strat dielektrycznych tg delta

Tomasz Koczorowicz – TOMTRONIX

**Pogarszający się stan izolacji jest jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń aparatury elektrycznej. Wielu awariom można zapobiec dzięki systematycznym badaniom profilaktycznym. Jednym z takich badań jest pomiar pojemności i współczynnika strat dielektrycznych. W artykule omówiono zagadnienia związane z tym rodzajem diagnostyki. Teorię uzupełniono informacjami o przyrządzie pomiarowym Delta 2000 produkowanym przez amerykański oddział firmy Megger Limited.**

Większość urządzeń elektrycznych można przedstawić w dwu- lub trójbiegunowym układzie zastępczym (rys. 1). Pojemność między zaciskami W i N można oznaczyć jako C<sub>WN</sub>, natomiast pojemności między zaciskami i ziemią jako C<sub>WZ</sub> oraz C<sub>NZ</sub>. W układzie zastępczym z dwoma zaciskami zacisk N jest podłączony do ziemi. Przykładem kondensatora dwuzaciskowego jest przepust aparatury. Środkowy przewód jest jednym (W), natomiast kołnierz montażowy – drugim zaciskiem (N). Przykładem kondensatora trójzaciskowego jest przepust aparatury, który wyposażono w odczep pomiarowy współczynnika strat dielektrycznych. Środkowy przewód jest jednym (W), odczep pomiarowy drugim (N), a kołnierz montażowy – trzecim zaciskiem (Z – ziemia). W idealnym systemie izolacji podłączonym do źródła napięcia przemiennego

wektory napięcia U i prądu I są wzajemnie prostopadłe. Przez izolację płynie wyłączny prąd o charakterze pojemnościowym I<sub>C</sub>. W praktyce idealna izolacja nie występuje, a prądowi pojemnościowemu towarzyszy prąd upływowy o charakterze rezystancyjnym I<sub>R</sub> o fazie zgodnej z napięciem (rys. 2). Do określenia relacji między dwoma składowymi prądu, czyli oceny stanu oraz jakości materiałów izolacyjnych, służą współczynniki mocy (1) i strat dielektrycznych (2).

$$\cos\varphi = \sin\delta = P/S = I_R/I \quad (1)$$

gdzie:

P – moc czynna,

S – moc pozorna,

I<sub>R</sub> – składowa prądu o charakterze rezystancyjnym,

I – prąd całkowity,

$$\operatorname{tg}\delta = \arctg\varphi = I_R/I_C \quad (2)$$

gdzie:

I<sub>R</sub> – składowa prądu o charakterze rezystancyjnym,I<sub>C</sub> – składowa prądu o charakterze pojemnościowym.

## przyrząd Delta 2000

Urządzenie Delta 2000 (fot. 1) mierzy współczynnik strat dielektrycznych, współczynnik mocy oraz pojemność izolacji elektrycznej kabli oraz aparatury wysokonapięciowej, takiej jak izolatory, wyłączniki, transformatory, maszyny wirujące, ograniczniki przepięć itp. Przyrząd mierzy również prąd magnesowania transformatora i stałą dielektryczną. Pracą miernika steruje mikroprocesor. Funkcjonowanie urządzenia jest w pełni zautomatyzowane. Po każdym uruchomieniu zasilania włącza się procedura samokontroli i autokalibracji. Delta 2000 ma wbudowany układ automatycznego tłumienia i monitorowania interferencji elektrycznych, który gwarantuje bezproblemową pracę w rozdzielniach do 765 kV. Napięcie pomiarowe regulowane jest płynnie w zakresie do 12 kV, a maksymalny prąd ciągły płynący przez obciążenie wynosi 83 mA przy 12 kV. Przyrząd wyposażono w złącze transmisji szeregowej, pamięć pomiarów oraz zewnętrzną drukarkę. Zasada działania przyrządu polega na kompensowaniu reakcji w układzie pomiarowym. Reakcja pojemnościowa badanego obiektu

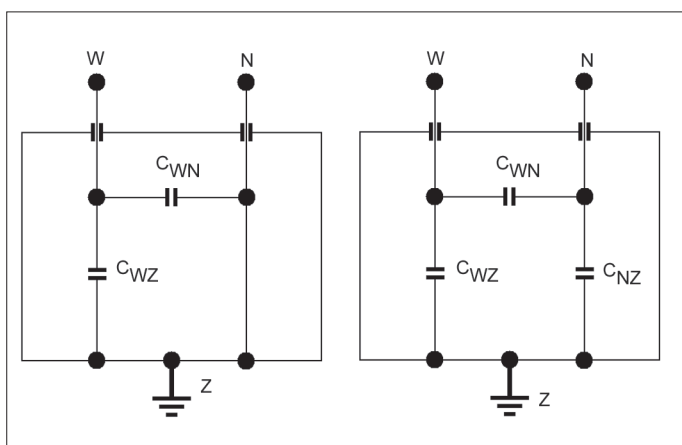


Fot. 1 Megger Delta 2000

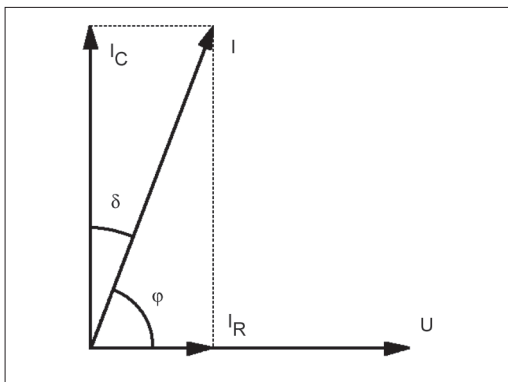
tu jest równoważona przez reakcję indukcyjną układu pomiarowego miernika. Na podstawie wartości indukcyjności, przy zrównoważonym układzie, obliczana jest pojemność obiektu. Po zrównoważeniu reakcji w układzie pomiarowym płynie wyłącznie prąd rezystancyjny, który po wymnożeniu przez napięcie pomiarowe daje w wyniku moc czynną, traconą w systemie izolacji badanego obiektu. Delta 2000 może pracować w trybie GST (badany obiekt uziemiony) i UST (badany obiekt nieziemiony), dzięki czemu pozwala wykonać badanie między dowolnymi zaciskami badanego obiektu.

## dlaczego mierzymy pojemność i współczynnik strat dielektrycznych?

Pomiar pojemności i współczynnika strat dielektrycznych wchodzi w zakres programu badań profilaktycznych przedsięwzięcia eksploatacyjnych sieci, instalacje i uzrą-



Rys. 1 Dwu- i trójbiegunowy układ zastępczy



Rys. 2 Wykres wskazowy prądu i napięcia badanej izolacji

dzenia elektroenergetyczne. Badanie to, z uwagi na warunki, w jakich jest wykonywane, należy do tych, które najlepiej charakteryzują stan izolacji obiektu. Zmiana pojemności lub współczynnika strat dielektrycznych informuje o procesach starzenia izolacji oraz jej degradacji pod wpływem oddziaływania temperatury (np. miejscowego przegrzania). Wskazuje również na zawilgocenie, obecność brudu, węgla i innych substancji chemicznych. Informuje o pęknięciach, upływności powierzchniowej izolatora oraz obecności procesów jonizacji.

Diagnostyka ta wymaga od operatora dużego doświadczenia, a także konsekwentnego oraz planowanego działania. Najlepsze efekty uzyskuje się obserwując różnice wyników pomiarów tego samego urządzenia po upływie kolejnych przedziałów czasu (trend) lub porównując wyniki testów urządzeń tego samego typu uzyskane w tych samych warunkach i czasie. Jeżeli np. zwiększeniu współczynnika strat dielektrycznych towarzyszy wzrost pojemności obiektu, oznacza to zawilgocenie izolacji. Jeżeli natomiast obserwowany jest wyłącznie wzrost współczynnika strat dielektrycznych – powodem może być termiczna degradacja lub obecność zanieczyszczeń chemicznych. Można także badać urządzenia przy różnych napięciach. Jeżeli uzyskana w ten sposób krzywa współczynnika strat dielektrycznych w funkcji napięcia próby (rys. 3) zmienia swój kąt nachylenia, oznacza to, że przy określonej wartości napięcia ujawnia się zjawie-

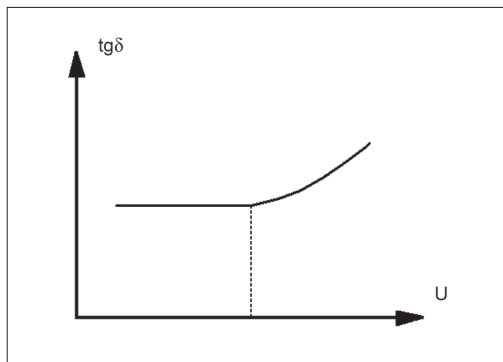
sko jonizacji. Jeżeli wartość napięcia progowego jest mniejsza od znamionowego napięcia pracy danego obiektu, wówczas procesy jonizacji występują w sposób ciągły powodując degradację izolacji.

### wpływ czynników zewnętrznych na pomiar

Osoba wykonująca badanie musi uwzględniać wpływ czynników zewnętrznych na pomiar, takich jak temperatura, wilgotność, brud czy interferencje elektryczne. Największy wpływ na wynik pomiaru mają zmiany temperatury i wilgotności.

#### ■ wpływ temperatury

Straty dielektryczne większości izolatorów rosną wraz ze wzrostem temperatury. Zdarza się, że obserwowany jest efekt lawinowy, tzn. wzrost temperatury powoduje wzrost prądu upływowego o charakterze rezystancyjnym, w wyniku czego następuje dalszy wzrost temperatury, co w konsekwencji prowadzi do awarii. Pomiaru powinno się wykonywać przy tej samej temperaturze, aby uzyskane wyniki można było wykorzystać podczas analizy porównawczej. Można uniezależnić się od wpływu temperatury wykonując serię pomiarów i kreśląc charakterystykę zależności współczynnika strat dielektrycznych badanej izolacji od temperatury. Chcąc porównać wartości współczynnika strat dielektrycznych otrzymane dla tego samego lub podobnego urządzenia przy różnych temperaturach, należy odnieść uzyskane wyniki do określonej temperatury, np. 20°C. Wpływ tempera-



Rys. 3 Zależność współczynnika strat dielektrycznych od napięcia próby w obecności zjawiska jonizacji

tura na wynik próby jest szczególnie istotny w przypadku pomiaru transformatorów, ma natomiast mniejsze znaczenie np. w przypadku badania wyłączników powietrznych, przepustów, ograniczników przepięć. W przypadku wyłączników olejowych i transformatorów zakłada się, że temperatura pomiaru jest taka sama, jak temperatura oleju. Jeżeli transformatory były wyłączone z pracy przez około 12 godzin, przyjmuje się, że temperatura pomiaru jest taka sama jak temperatura otoczenia. Zmiana temperatury szczególnie wpływa na wynik badania zawilgoconej izolacji, gdyż w takiej sytuacji znacznie zmienia się pojemność obiektu. Ciekawe zjawiska obserwowane są w przypadkach różnych stanów skupienia wody. Pęknięcie izolatora jest łatwo wykrywalne, jeżeli

do szczeliny dostanie się woda. Gdy woda zamarza, rośnie jej rezystancja i to samo uszkodzenie może nie zostać wykryte przez badanie, gdyż lód ma rezystywność około 100 razy większą od wody.

#### ■ wpływ wilgotności

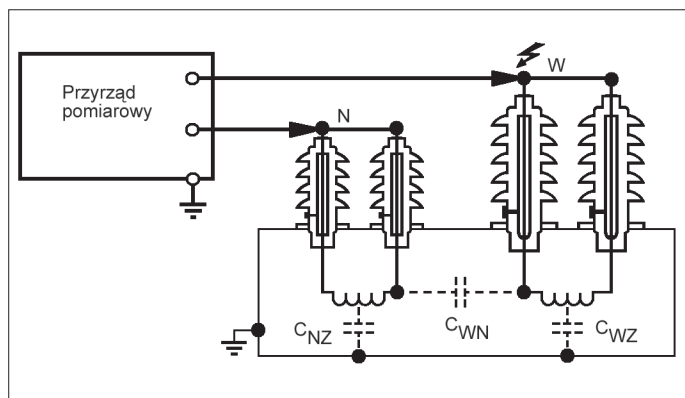
Na odsłoniętych powierzchniach obiektów, np. przepustów, w warunkach dużej wilgotności względnej, może gromadzić się wilgoć powierzchniowa. Taki proces występuje wówczas, kiedy powierzchnia izolatora znajduje się w temperaturze niższej od temperatury otoczenia (poniżej punktu rosy). Zawilgocenia znacząco wpływają na wartość prądu upływowego płynącego po powierzchni izolatora, a w konsekwencji na wartość współczynnika strat dielektrycznych. Okazuje się, że wzrost wilgotności względnej o 15% powoduje zmniejszenie rezystywności czystej powierzchni o jeden rząd wielkości. W warunkach silnych chemicznych zanieczyszczeń obecność wilgoci i zanieczyszczeń na powierzchni izolatora może istotnie wpływać na wynik pomiaru współczynnika strat dielektrycznych już przy wilgotności względnej poniżej 50%. Wpływ wilgotności na pomiar jest w większości przypadków pomijalny w warunkach słonecznej pogody i małej wilgotności względnej powietrza.

reklama



**TOMTRONIX**  
**APARATURA POMIAROWA**  
 TEL.FAX.(42) 6747455  
 TEL.(42) 6760633  
 tomtronix@tomtronix.com.pl  
 www.tomtronix.com.pl

## Tangens delta - najbliżej prawdy o systemie izolacji



Rys. 4 Sposób podłączenia przyrządu pomiarowego do transformatora z dwoma uzwojeniami

■ **wpływ upływności powierzchniowej**

Upływność po powierzchni badanego obiektu dodaje się do prądu skrośnego płynącego przez izolację – w wielu sytuacjach może być to przyczyną złej oceny stanu izolacji urządzenia. Bardzo ważne jest, aby powierzchnie głowic, przepustów i izolatorów były czyste i suche. Dlatego zaleca się czyszczenie i suszenie powierzchni przed wykonaniem pomiarów, a także pokrywanie powierzchni cienką powłoką smaru izolacyjnego. Pomiar współczynnika strat dielektrycznych może okazać się niestabilny przy zmiennych warunkach pogodowych, kiedy duże powierzchnie badanego urządzenia poddane są oddziaływaniu zmiennych warunków zewnętrznych, np. promieni słonecznych lub wiatru zmieniającego swoją prędkość i kierunek.

■ **wpływ interferencji elektrycznej**

Interferencja elektryczna może wpływać na wyniki badania wówczas, gdy pomiary są przeprowadzane w pracujących podstacjach lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Główną przyczyną interferencji są sprzężenia pojemnościowe między badanym obiektem a szynami i liniami znajdującymi się pod napięciem. O ile w rozdzielniach niskiego napięcia wpływ interferencji elektrycznej można neutralizować, wykonując dwa badania przy wzajemnie odwróconych sygnałach pomiarowych, o tyle w podstacjach wysokiego napięcia wpływ interferencji elektrycznej na wynik eliminuje się stosując układy tłumiące.

Najbardziej skuteczną metodą przeciwdziałania interferencjom elektrycznym pozostaje separacja obiektu od odłączników i szyn. Wszelkie znajdujące się w pobliżu odłączniki, przewody i szyny, które nie znajdują się pod napięciem, należy uzemieć, aby zneutralizować sprzężenia pojemnościowe. Szczególnie kłopotliwe mogą okazać się pomiary w warunkach występowania interferencji elektrycznej obiektów o małej pojemności i małym współczynniku strat dielektrycznych.

Na wartość interferencji oraz jej zmienność w czasie mają wpływ także warunki atmosferyczne. Chcąc uzyskać najbardziej dokładne wyniki należy odseparować się od połączeń elektrycznych, uzemieć odłączone połączenia oraz wykonywać badanie największym możliwym napięciem. Jeżeli przyrząd pomiarowy jest zasilany z przenośnego generatora, wówczas częstotliwość sygnału pomiarowego nie będzie zsynchronizowana z częstotliwością pola elektromagnetycznego podstacji, co może stanowić dodatkowe źródło błędów.

Pomiar pojemności i współczynnika strat dielektrycznych powinien być wykonywany w sprzyjających warunkach pogodowych, przy niedużej wilgotności, mniejszej od 80%. Przed przystąpieniem do badania należy upewnić się, czy powierzchnia urządzenia jest czysta i sucha oraz usunąć wszelkie przedmioty znajdujące się w pobliżu obiektu, które mogą być źródłem interferencji elektrycznej.

**typowe zastosowania**

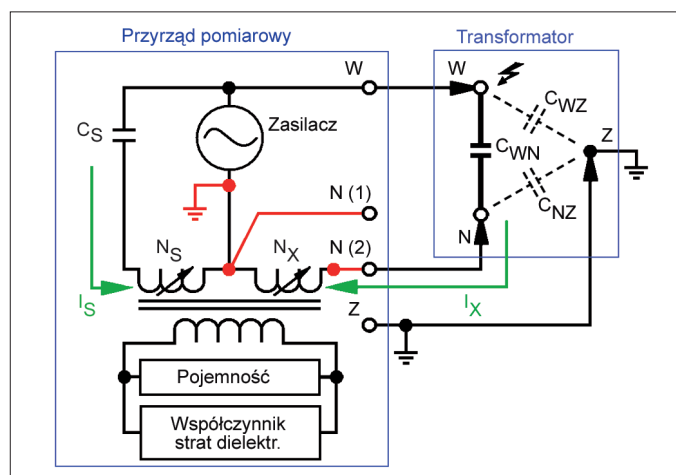
Prawidłowa interpretacja wyników pomiarów pojemności i współczynnika strat dielektrycznych wymaga wiedzy o konstrukcji urządzeń, również znajomości charakterystyk poszczególnych rodzajów zastosowanych izolatorów.

■ **transformatory**

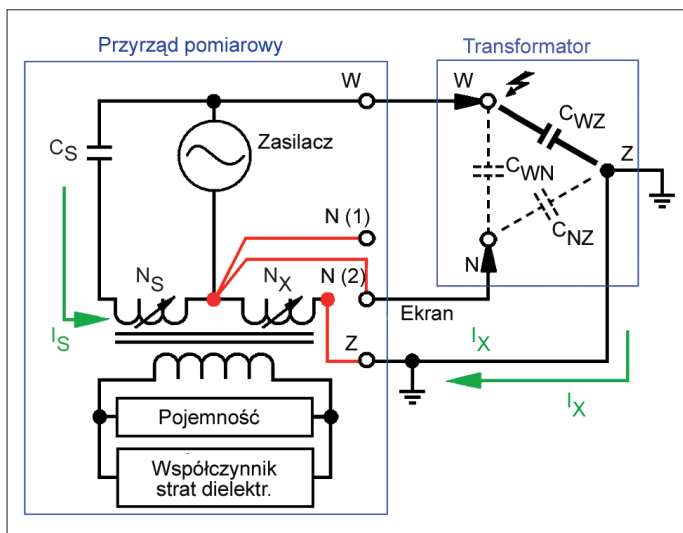
Wartość napięcia próby musi uwzględniać wartości napięć nominalnych poszczególnych uzwojeń. Badania są wykonywane dla każdej kombinacji uzwojeń wewnętrznych, a także między każdym uzwojeniem (lub zestawem trzech uzwojeń w transformatorze trójfazowym) a wszystkimi pozostałymi uzwojeniami połączonymi z ziemią (uziemiaoną kadzią) oraz we wszystkich kombinacjach między uzwojeniem (lub zestawem trzech uzwojeń w transformatorze trójfazowym) a ziemią przy wszystkich pozostałych uzwojeniach podłączonych do ekranu. W transformatorach trójfazowych powinno się również przeprowadzać badanie między każdym z uzwojeń i ziemią przy jednym z uzwojeń podłączonych do ekranu a drugim podłączonym do uziemienia. W ten sposób osiągamy separację między uzwojeniami. Na koniec sekwencji badania wykonuje się pomiar między wszystkimi uzwojeniami połączonymi ze sobą i uziemioną kadzią. Na rysunku 4 przedstawiono sposób połączenia przyrządu z transformatorem dwuuzwo-

jeniowym, natomiast na rysunkach 5 i 6 – uproszczone schematy układów pomiarowych odpowiednio dla trybów pracy UST i GST.

Układ mostka pomiarowego zawiera trójuzwojeniowy różnicowy transformator prądowy. Amperozwoje od prądu  $I_x$  płynącego przez badany obiekt  $C_{WN}$  (rys. 5) lub  $C_{WZ}$  (rys. 6) są równoważone przez amperozwoje od prądu  $I_s$  płynącego przez kondensator wzorcowy  $C_s$ . Zrównoważenie amperozwojów dla składowej pojemnościowej prądu następuje automatycznie przez dobór liczby zwojów  $N_x$  i  $N_s$ . W wyniku zbalansowania układu na wyświetlaczu przyrządu pojawia się wartość pojemności badanego obiektu. Prąd płynący przez obiekt zawiera również składową rezystancyjną, więc szczytkowy prąd różnicowy będzie także występował w trzecim uzwojeniu transformatora prądowego po zbalansowaniu układu pomiarowego. Składowa ta jest również automatycznie zrównoważona w celu uzyskania współczynnika strat dielektrycznych. Na rysunku 5 pokazano, w jaki sposób w układzie pomiarowym UST eliminowane są pojemności pasozytne. Mostek mierzy wyłącznie pojemność  $C_{WN}$ . Wszystkie zewnętrzne i wewnętrzne pojemności pasozytne między zaciskiem wysokiego napięcia W oraz ziemią bocznikuje zasilacz przyrządu pomiarowego. Dzięki temu nie mają one wpływu na wynik pomiaru. Wszystkie pasozytne pojemności między zaciskiem N oraz ziemią bocznikuje uzwojenie  $N_x$  mostka.



Rys. 5 Schemat układu pomiarowego w trybie pracy UST (pomiar między uzwojeniami)



Rys. 6 Schemat układu pomiarowego w trybie pracy GST (pomiar między uzwojeniem i ziemią przy pozostałych uzwojeniach podłączonych do ekranu)

W układzie pomiarowym GST pokazanym na **rysunku 6** mierzona jest pojemność  $C_{WZ}$ . Wszystkie zewnętrzne i wewnętrzne pojemności pasytywne między zaciskiem wysokiego napięcia  $W$  oraz zaciskiem ekranu bocznikuje zasilacz przyrządu pomiarowego. Wszystkie pasytywne pojemności między zaciskiem ekranu oraz ziemią bocznikuje uzwojenie  $N_X$  mostka. Zwiększona wartość współczynnika strat dielektrycznych w stosunku do wyników pomiarów uzyskanych wcześniej lub wyników pomiarów identycznych transformatorów może oznaczać zanieczyszczenie oleju. Jeżeli jednocześnie większe są również pojemności, wówczas powodem jest zanieczyszczenie oleju wodą. Olej transformatorowy podlega procesowi utleniania, podczas którego tworzy się osad. Osad znacząco wpływa na wartość współczynnika strat dielektrycznych. Pomiar współczynnika strat może dać odpowiedź, czy wymiana oleju i wypłukanie osadu było efektywne i przywróciło pierwotną sprawność transformatora. Należy wziąć pod uwagę to, że wyniki pomiarów poszczególnych uzwojeń nie będą identyczne ze względu na różnice w materiałach izolacyjnych i geometrii warstw, jakkolwiek duże różnice między uzyskanymi rezultatami będą sygnalizowały uszkodzenie lub degradację izolacji.

#### ■ wyłączniki

Badanie wyłączników średnich i wysokich napięć wykonuje się między każdym zaciskiem przepustu a obudową podłączoną do ziemi przy otwartym wyłączniku oraz między każdą parą zacisków (jedna faza) a obudową podłączoną do ziemi przy zamkniętym wyłączniku. Jeżeli wyłącznik jest otwarty, drugi zacisk jest ekranowany. Dla wyłączników wprowadzono specjalny parametr tzw. „wskaźnik strat w kadzi”. Oblicza się go dla każdej fazy jako różnicę mocy w watach zmierzoną przy zamkniętym i otwartym wyłączniku, przy czym moc przy otwartym wyłączniku stanowi sumę dwóch wyników pomiarów dla obu zacisków. Najwięcej wniosków można uzyskać porównując wartość „wskaźnika strat w kadzi” dla badanego i nowego wyłącznika.

#### ■ przepusty

Wszystkie współczesne przepusty o wartości nominalnej wyższej od 23 kV wyposażone są w odczep pomiarowy, który pozwala wykonać pomiar współczynnika strat, gdy jest on umieszczony w aparacie, bez odłączania przewodów od przepustu. Współczynnik strat przepustu mierzy się w układzie pomiarowym UST (**rys. 7**). W ten sposób eliminuje się wpływ obecności uzwojeń transformatora, komory gaszeniowej wyłącznika, konstrukcji wsporczej przepustu oraz pojemności między zaci-

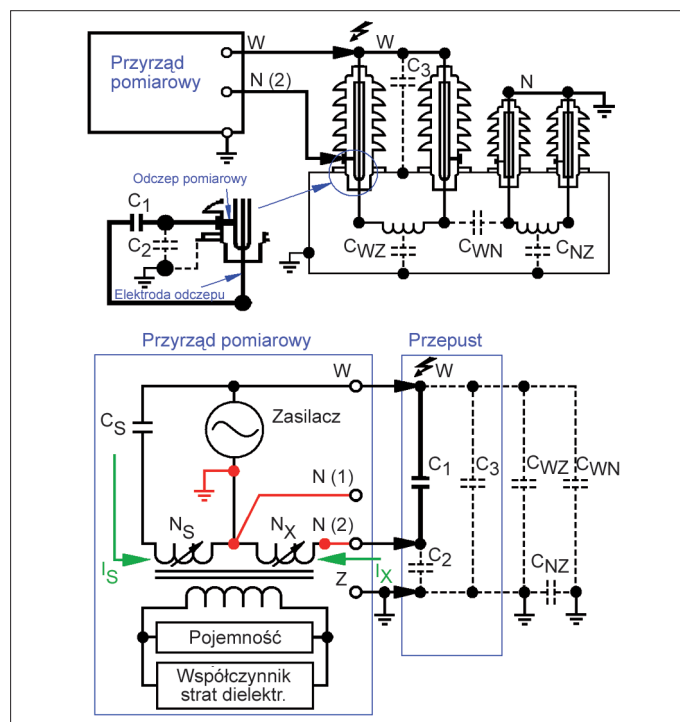
skiem przepustu i ziemią, a także upływności powierzchniowej izolatora na wynik badania. Przewód pomiarowy wysokiego napięcia podłącza się do zacisku na górze przepustu, natomiast przewód pomiarowy niskiego napięcia – do odczepu pomiarowego. Uziemiana jest każdą urządzenie. W tym samym układzie pomiarowym można również mierzyć przepusty, które zostały wyposażone w zewnętrzny kołnierz. W takich konstrukcjach kołnierz jest izolowany od pokrywy aparatu uszczelnkami izolacyjnymi, natomiast połączenie kołnierza z pokrywą wykonane jest pojedynczą metalową śrubą. W warunkach normalnej pracy kołnierz jest uziemiony przez tę śrubę, ale podczas pomiaru to połączenie jest usuwane. W tym przypadku kołnierz przepustu pełni rolę odczepu pomiarowego.

Interpretacja wyników pomiarów przepustów wymaga znajomości o ich konstrukcji, gdyż każdy typ przepustu ma swoje charakterystyki. Powodem wzrostu współczynnika strat przepustu wypełnionego olejem mogą być zanieczyszczenia oleju. Jeżeli jednocześnie obserwujemy

wzrost pojemności, wówczas prawdopodobną przyczyną będzie obecność wody w oleju.

#### ■ maszyny wirujące

Głównym celem pomiaru współczynnika strat dielektrycznych w maszynach wirujących jest ocena skali występowania szczelin wypełnionych gazem wewnątrz izolacji uzwojeń, które są miejscem występowania zjawisk jonizacji oraz wyładowań niezupełnych powodujących uszkodzenia izolacji. Wynik badania stanowi również informację o stanie izolacji uzwojenia ujawniając potencjalne problemy spowodowane jej degradacją, obecnością zanieczyszczeń lub wilgoci. W celu wykrycia procesów jonizacji wykonuje się dwa pomiary współczynnika strat dielektrycznych przy różnych napięciach próby: niższym, przy którym zazwyczaj procesy jonizacji nie występują (z reguły 25% wartości znamionowej napięcia), i wyższym, równym lub nieco wyższym od wartości nominalnej napięcia. Jeżeli współczynnik strat dielektrycznych wzrasta znacząco przy wyższym napięciu próby, to, że powodem takiego stanu rzeczy jest zjawisko jonizacji. Wykonując pomiary przy róż-



Rys. 7 Sposób podłączenia przyrządu pomiarowego podczas pomiaru przepustu transformatora oraz schemat układu pomiarowego w trybie pracy UST

nych napięciach próby można określić wartość progową napięcia, przy której nieliniowo zaczyna wzrastać składowa czynna prądu płynącego przez izolację (rys. 3). Najczęściej jonizacja występuje w pobliżu zwojów znajdujących się blisko zacisków wysokiego napięcia, czyli tam, gdzie potencjał poszczególnych zwojów względem ziemi jest największy.

Mierząc współczynnik strat dla poszczególnych uzwojeń można tak skonfigurować podłączenia z maszyną, aby zwoje z mniejszą wartością współczynnika strat dielektrycznych tych uzwojeń, które są najbardziej podatne na procesy jonizacji, znajdowały się bliżej zacisku wysokiego napięcia. W wielu innych przypadkach korzystne efekty osiąga się zamieniając podłączenia przewodu fazowego i neutralnego. Pomiar uzwojenia wirnika lub stojana wykonuje się między uzwojeniem i ziemią. W przypadku uzwojeń trójfazowych stojana, tam, gdzie połączenia między uzwojeniami faz i przewodem neutralnym można rozewrzeć, należy wykonać badania między uzwojeniami poszczególnych faz i ziemią oraz między uzwojeniami poszczególnych faz. Jeżeli poszczególne uzwojenia nie zostaną wzajemnie odseparowane, a przewód pomiarowy będzie podłączony do wszystkich uzwojeń fazowych, wówczas wynik badania uzyskany w takim układzie pomiarowym będzie stanowił wartość wypadkową współczynnika strat dielektrycznych. W tej sytuacji wyniki negatywne, które moglibyśmy uzyskać dla poszczególnych kombinacji połączeń miernika i maszyny z odseparowanymi uzwojeniami, mogą być niewiarygodne.

#### ■ kable

Kable jednożyłowe o napięciu pracy wyższym od 5 kV są zwykle ekranowane przez metalowy pancerz kabla. Tego typu kable mierzone są w układzie pomiarowym GST. Przewód wysokiego napięcia podłącza się do żyły kabla natomiast pancerz kabla do systemu uzziemienia, do którego podłącza się również przyrząd. Jeżeli badane są

kable trójżyłowe w zewnętrznym metalowym pancerzu, wówczas wykorzystuje się układ pomiarowy UST. Przewód wysokiego napięcia podłącza się do żyły kabla, pancerz kabla do ziemi, natomiast pozostałe dwie żyły do ekranu. Dodatkowo wykonuje się badanie w układzie pomiarowym GST między wszystkimi zwartymi żyłami i ziemią. Należy wziąć pod uwagę to, że mierzona jest wartość wypadkowa współczynnika strat dielektrycznych kabla. Jeżeli poszczególne sekcje (fragmenty) kabla mają wysoki współczynnik strat dielektrycznych, wówczas w przypadku długiego kabla złe wyniki poszczególnych odcinków mogą być niewiarygodne. W takim przypadku najlepsze wyniki daje metoda porównawcza (na przykład porównanie z wynikami pomiarów tego samego kabla wykonanymi wcześniej lub takiego samego odcinka innego kabla tego samego typu).

#### ■ ograniczniki przepięć

Kompletne badania ograniczników wymagają testów sygnałem impulsowym o dużej amplitudzie. Tego typu badania wykonuje się specjalistycznym sprzętem pomiarowym o dużych gabarytach i dlatego nie przeprowadza się ich w terenie. Praktyka pokazuje, że pomiar współczynnika strat dielektrycznych pozwala w sposób efektywny ocenić stan izolacji ogranicznika, zlokalizować stany, które decydują o sprawności ogranicznika, takie jak zawilgocenia, korozja, obecność osadów chemicznych, pęknięcia porcelany, uszkodzenia elementów zapobiegających jonizacji, uszkodzenia szczelin. Pomiary ograniczników wykonuje się zawsze tym samym, zalecanym napięciem pomiarowym, a to dlatego, że konstrukcja ogranicznika może zawierać elementy nieliniowe. Odsłonięta powierzchnia izolatora ogranicznika powinna być czysta i sucha. Najlepsze rezultaty osiąga się porównując uzyskane wyniki z tymi, które otrzymano wcześniej na tych samych obiektach lub porównując je z wynikami pomiarów innych ograniczników tego samego typu.

## podsumowanie

Pomiar współczynnika strat dielektrycznych jest jednym z najstarszych sposobów badania stanu izolacji. Wyniki pomiarów, z uwagi na warunki badania zbliżone do realnych warunków pracy urządzeń, są bardzo wiarygodne. Opisany w artykule przyrząd firmy Megger Delta 2000 spełnia wymagania dyrektyw: niskonapięciowej LVD i kompatybilności elektromagnetycznej EMC, obowiązujących w Unii Europejskiej. Miernik został oznaczony symbolem zgodności CE.