



Paweł PYDYSZEWSKI, Józef WROCLAWSKI

ABB Sp.z o.o.

Wytrzymałość izolacji transformatorów rozdzielczych na bardzo strome udary napięciowe

Streszczenie. W artykule przedstawiono problemy związane z wykonaniem transformatorów rozdzielczych odpornych na bardzo szybkie udary napięciowe o stromości $2MV/\mu s$. Omówiono również sposoby wytwarzania takich przebiegów oraz metodykę wykonywania prób oraz detekcji uszkodzeń.

Abstract. (The electrical strength of distribution transformers to very steep voltage impulses). The paper describes issues connected with construction of distribution transformers resistant to very fast voltage impulses with steepness $2MV/\mu s$. There is also presentation of creation methods such impulses as well as methodology of tests execution and damage detection.

Słowa kluczowe: transformator rozdzielczy, napięcie probiercze, udar napięciowy, próby napięciowe.

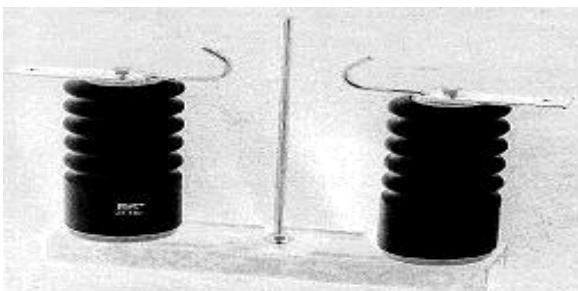
Keywords: distribution transformer, test voltage, impulse voltage, voltage tests.

Wprowadzenie

Każdy nowy transformator rozdzielczy musi mieć sprawdzoną wytrzymałość dielektryczną. Zgodnie z wymaganiami norm, transformatory rozdzielcze poddawane są próbie napięciem przemiennym, jako próbie wyrobu (każdy egzemplarz). Jako próbę typu stosuje się próbę napięciem piorunowym o kształcie $1.2/50\mu s$. Jest to w zasadzie udar piorunowy pełny (w zakresie prób specjalnych występuje jeszcze udar pełny ucięty po $2.5\mu s$). Taki sposób badania wytrzymałości dielektrycznej transformatorów rozdzielczych był akceptowany przez klientów już od wielu lat.

Ostatnio jednak wielu klientów stawia dodatkowe warunki odnośnie do sprawdzania wytrzymałości dielektrycznej nowych transformatorów rozdzielczych. Niektórzy z klientów ABB wymagają, aby każdy wysłany do nich transformator przeszedł próbę napięciem piorunowym. Inni wymagają wykonywania pomiaru wyładowań niezupełnych. Są również klienci, którzy wymagają badania izolacji transformatora udarem napięciowym o stromości $2MV/\mu s$. Okazuje się, że izolacja zwykłego transformatora nie wytrzymuje takich obciążeń napięciowych. Dodatkowym utrudnieniem jest połączenie uzwojeń w trójkąt. Wówczas początek i koniec uzwojenia musi posiadać jednakową wytrzymałość napięciową.

Po serii badań opracowano konstrukcję transformatora, który przechodzi z wynikiem pozytywnym taką specjalną próbę, dotychczas nie ujętą w żadne ramy normalizacyjne. Próba ta polega na doprowadzeniu do każdego zacisku transformatora, napięcia o stromości $2MV/\mu s$, uciętego przez specjalny iskiernik (rys.1). Zastosowanie trójelektrodowego iskiernika zapewnia uzyskanie większej powtarzalności ucięcia napięcia po takim czasie, aby uzyskane wartości napięcia mieściły się w dopuszczalnych granicach.



Rys.1. Iskiernik trójelektrodowy

Wytwarzanie napięcia

Uzyskanie stromości napięcia rzędu $2MV/\mu s$ nie jest proste i wymaga pewnych szczególnych zabiegów. Można użyć wielostopniowego generatora napięć piorunowych, rezystorami wyłączonymi rezystorami szeregowymi. Wówczas czas narastania napięcia zależy od indukcyjności obwodu, a więc indukcyjności kondensatorów i konfiguracji przestrzennej generatora. Innym sposobem jest zastosowanie generatora napięć piorunowych z włączonym w szereg dławikiem wysokonapięciowym. Następuje wówczas zwiększenie szybkości narastania napięcia. Na kształt napięcia bardzo silnie wpływa konfiguracja obwodu zewnętrznego. Połączenia, sposób i miejsca uziemień muszą być dobrane szczególnie starannie.

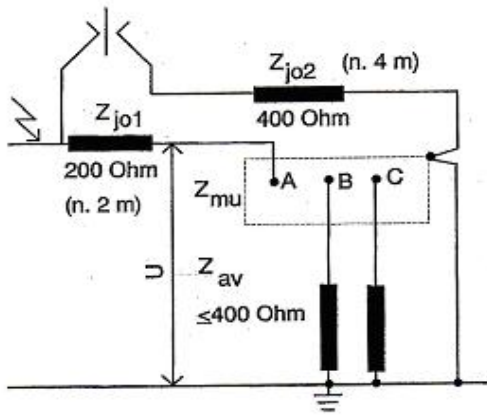
Metodyka prób

Próba polega na doprowadzeniu do każdego zacisku górnego napięcia transformatora pięciu przebiegów o stromości $2MV/\mu s$. Rejestruje się tylko przebieg napięcia, ponieważ przebiegów prądu, z względu na silne zakłócenia, nie można identyfikować.

Generalnie na przebiegach napięcia nie można zaobserwować zmian wynikających z uszkodzenia izolacji. Przypuszczalnie wyładowania w izolacji rozwijają się później i nie są zarejestrowane. Przebiegi napięciowe służą głównie do określenia stromości napięcia. Dodatkowo przebiegi napięciowe są znacznie zniekształcone w zależności od wielu czynników takich jak: sposób wytworzenia napięcia, konfiguracja układu, konfiguracja połączeń, sposób uziemień, miejsca uziemień. W sumie wszystkie te czynniki uniemożliwiają ocenę wyniku próby.

W związku z tym, po zakończeniu tej próby, doprowadza się do zacisków standardowe udary piorunowe. Ten sposób wykrywania uszkodzeń izolacji podczas omawianej wyżej próby, sprawdza się dobrze w praktyce. Połączenia między generatorem, iskiernikiem, zaciskiem transformatora i uziemieniem powinny być tak dobrane, aby ich impedancje odwzorowywały impedancje falowe sieci w pobliżu miejsca zainstalowania transformatora (rys.2). Na rysunku 3 przedstawiono rzeczywisty układ połączeń.

Poniżej przytoczone są przebiegi zarejestrowane w trzech laboratoriach wysokich napięć: w Łodzi (rys.4), w Vassa – Finlandia (rys.5) i w Warszawie (rys.6).



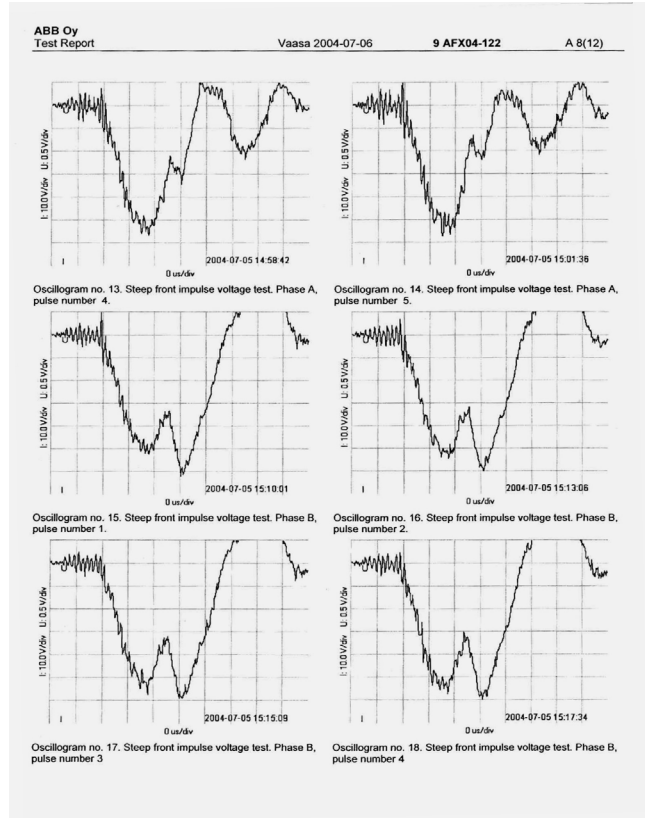
Rys.2. Schemat układu połączeń



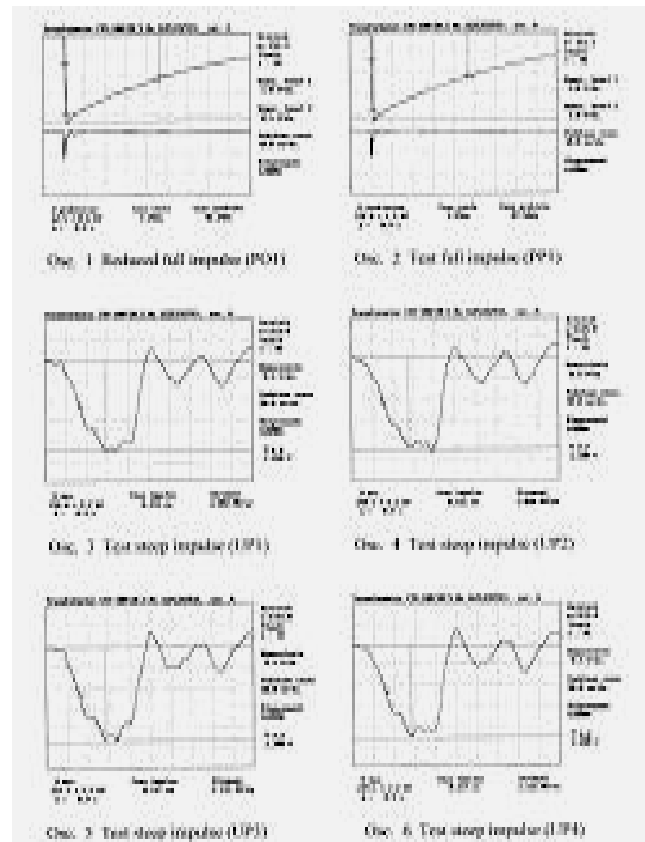
Rys.3. Układ rzeczywisty



Rys.4. Przebiegi z laboratorium w Łodzi



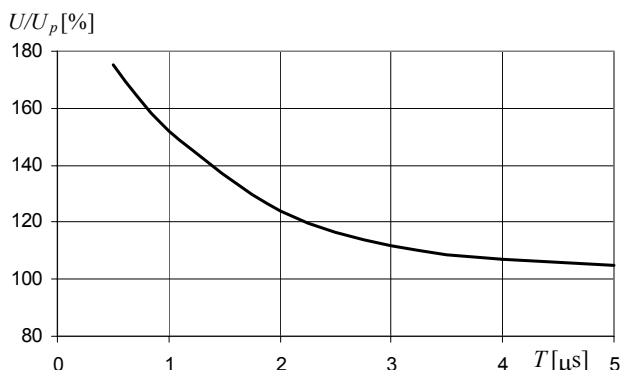
Rys.5. Przebiegi z laboratorium w Vaasa



Rys.6. Przebiegi z laboratorium w Warszawie

Ocena wytrzymałości

Generalnie dla transformatorów rozdzielczych określa się dwa punkty wytrzymałości izolacji na charakterystyce napięciowo-czasowej: dla 50Hz i dla udaru normalnego 1,2/50 μ s. Spotyka się nieraz punkty dla udaru normalnego uciętego po 2,5 μ s oraz dla udaru normalnego uciętego na czole (rys.7).



Rys.7. Charakterystyka udarowa

W USA [4] transformatory rozdzielcze poddawane są tym ostatnim próbom odpowiednio napięciami równymi 115% i 175% piorunowego poziomu izolacji.

Podane wyżej wymagania odnośnie do izolacji transformatora rozdzielczego były w zupełności wystarczające dla zapewnienia właściwej koordynacji izolacji (wytrzymałość napięciowa transformatora – poziom ochrony).

Z przeprowadzonych badań na transformatorze wyprodukowanym przez ABB uzyskano następujące wartości napięć, które izolacja wytrzymała w czasie prób:

- 270kV,
- 250kV,
- 250kV.

Uśredniając otrzymujemy wytrzymałość 260kV, a więc 200% udarowego poziomu izolacji.

Po konfrontacji wymagań amerykańskich z wytrzymałością transformatorów z ABB widać, że transformatory z ABB spełniają dość ostre wymagania amerykańskie.

Układ izolacyjny

Dla napięć wolnozmiennych (50Hz) rozkład napięcia między zwojami i warstwami jest liniowy. W miarę zwiększania stromości napięcia, rozkład staje się silnie wykładniczy. Na początkowych zwojach i na pierwszej warstwie, występuje nieproporcjonalnie wysokie napięcie. Zwykły układ izolacyjny, normalnie stosowany, wytrzymały próbie napięciem piorunowym, staje się dla takich stromych napięć niewystarczający. Zwiększenie izolacji powoduje zmniejszenie pojemności wzajemnych i zwiększenie nierównomierności rozkładu napięcia, ale i zwiększenie wytrzymałości. Obie te zmiany następują według innych zależności. Często napięcie wzrasta szybciej niż wzrost wytrzymałości. Działania muszą więc zmierzać w kierunku zwiększenia pojemności (zwojowej i międzywarstwowej) aby rozkład napięcia stawał się bardziej płaski. Spowoduje to zmniejszenie napięć na poszczególnych elementach izolacji.

Wybrany przez nas rozwiązaniem było zastosowanie ekranu międzywarstwowego. Jest to cienka, izolowana folia metalowa nawijana na uzwojenie. Występuje tu kilka problemów konstrukcyjnych: uniknięcie zwoju zwartego, izolowanie krawędzi folii, sposób połączenia ekranu z uzwojeniem, które zostały skutecznie rozwiązane.

LITERATURA

- [1] Test Report No EWN/72/E/04-b High Voltage Laboratory Instytut Energetyki 08.2004
- [2] Test report No 9AFX04-122 ABB Electrotest Stromberg Park Vassa Finland 07.2004
- [3] Test report No 25/2004 High Voltage Laboratory ABB Łódź 07.2004
- [4] Hasterman Z., Mosiński F., Maliszewski A. Wytrzymałość elektryczna transformatorów WNT Warszawa 1983

Autorzy: mgr inż Paweł Pydyszewski ABB Sp. z o.o., E-mail: pawel.pydyszewski@pl.abb.com, ul.Aleksandrowska 67/93, 91-205 Łódź, mgr inż. Józef Wrocławski, E-mail: wroclawski@lodz.mm.pl