

WITOLD PAPUŻYŃSKI

Katedra Wysokich Napięć

PRÓBY NAPIĘCIOWE TRANSFORMATORÓW
OBNIŻONYM NAPIĘCIEM PROBIERCZYM *

Streszczenie. W artykule omawia się możliwość przeprowadzenia prób napięciowych (dielektrycznych) transformatorów przy obniżonym napięciu probierczym. Pozwala to na stosowanie transformatorów probierczych o około 2,5 razy mniejszej mocy oraz 1,5 razy niższym napięciu.

Próby napięciowe transformatorów mają na celu sprawdzenie stanu izolacji głównej transformatora tj. izolacji poszczególnych uzwojeń pomiędzy sobą oraz w stosunku do uziemionych części transformatora.

Zgodnie z normą PN-56/06040, próba napięciowa izolacji transformatorów ma być dokonana za pomocą napięcia zmiennego 50 Hz przyłożonego z obcego źródła napięcia. Wartość napięcia probierczego dla transformatorów nowych ma wynosić $2 U_n + 10$ kV.

Rozpatrzmy jak wielka potrzebna jest moc transformatora probierczego do przeprowadzenia próby napięciowej.

Transformator badany stanowi dla transformatora probierczego obciążenie pojemnościowe. Celem uniknięcia zbyt dużych podskoków napięcia na zaciskach transformatora probierczego, spowodowanych jego pojemnościowym obciążeniem, zaleca się np. wg VDE 0442/1933, aby prąd zwarcia transformatora probierczego po stronie wysokiego napięcia był co najmniej trzykrotnie większy od prądu ładowania pojemności obiektu badanego.

x) Artykuł jest próbą odpowiedzi na sugestię p.prof. Z.Gogolewskiego, dotyczącą możliwości pewnych modyfikacji prób dielektrycznych transformatorów.

Przyjmując to założenie dochodzimy do obliczenia mocy zwarciowej transformatora probierczego która wynosi

$$P_z = 3 I_c U_{pr} = 3.314 \cdot C U_{pr}^2 \cdot 10^{-6}$$

$$P_z = 942 C U_{pr}^2 \cdot 10^{-6} \text{ kVA}$$

gdzie C jest pojemnością doziemną uzwojeń transformatora badanego wyrażoną w nF, U_{pr} jest wartością napięcia probierczego w kV

Normy radzieckie podchodzą do zagadnienia mocy znamionowej transformatorów probierczych w sposób nieco odmienny zakładają bowiem, że pojemność obiektów badanych (za wyjątkiem kabli) nie przekracza na ogół 5 nF i uważają, że moc transformatora probierczego będzie dostateczna, jeżeli prąd znamionowy po stronie wyższego napięcia transformatora probierczego będzie wynosił 1A. Jako moc znamionową, podaje się przy tym moc 30-to minutową. Obliczmy obecnie na podstawie podanych wzorów moc transformatora probierczego potrzebnego do przeprowadzenia próby napięciowej transformatora np. o napięciu znamionowym 110 kV. Zakładamy jednocześnie że jest to próba poremontowa, a więc zgodnie z PN-56/E-06040 wartość napięcia probierczego ma wynosić 0,75 U_{pr} przewidzianego dla transformatorów nowych.

$$U_{pr} = (2 U_n + 10) 0,75 = 1,5 U_n + 7,5 \text{ kV}$$

$$U_{pr} = 1,5 \cdot 110 + 7,5 = 172,5 \text{ kV}$$

Moc znamionowa transformatora probierczego potrzebna do przeprowadzenia takiej próby wynosić powinna wg zaleceń norm radzieckich co najmniej $P_{zn} = 172,5 \text{ kVA}$.

Do obliczenia mocy transformatora wg VDE potrzebna jest pojemność doziemna transformatora badanego. Jeżeli założymy że pojemność ta wynosi np. 10 nF to moc zwarciowa transformatora probierczego wyniesie:

$$P_{zw} = 942 \cdot C \cdot U_{pr}^2 \cdot 10^{-6} = 942 \cdot 10 \cdot 172,5^2 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{zw} = 280 \text{ kVA}$$

Obliczenie mocy znamionowej transformatora jest nieco bardziej kłopotliwe wymaga bowiem uwzględnienia parametrów układu zasilającego jak: moc i stosunek prądu zwarciovego do znamionowego generatora, ewentualnie moc i napięcie zwarcia transformatora zasilającego lub regulacyjnego.

Ponieważ do wyciągnięcia wniosków potrzebne będą jedynie stosunki napięć i mocy, wobec tego można zrezygnować z obliczenia mocy znamionowej (dla której obliczenia należy założyć pewne dodatkowe parametry) i poprzestać na obliczeniu już mocy zwarciovowej.

Powyższe przeliczenia potwierdzają fakt, że przeprowadzanie prób napięciowych transformatorów (szczególnie wyższych napięć i większych mocy) wymaga stosowania specjalnych transformatorów probierczych, o dużych mocach i wysokich napięciach.

Transformatory takie ze względu na specjalne wykonanie i wysoką cenę, nie mogą stanowić wyposażenia każdego zakładu nie specjalizującego się w produkcji lub remontach transformatorów. W zakładach takich wynika czasem potrzeba przeprowadzenia próby napięciowej transformatora. Uzyskanie wówczas odpowiedniego transformatora probierczego następuje zazwyczaj poważne trudności.

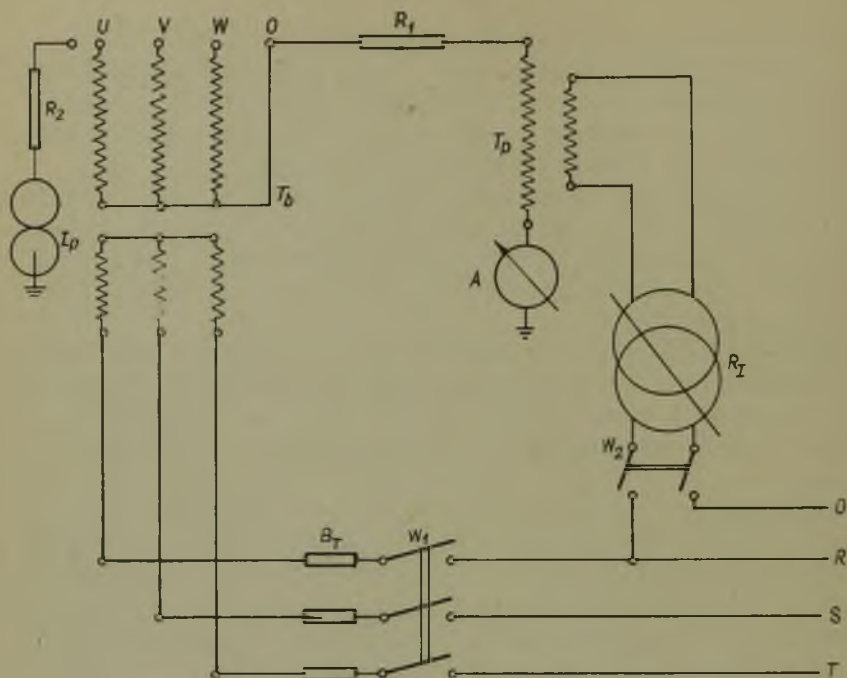
Tematem niniejszego artykułu jest rozpatrzenie możliwości przeprowadzania prób napięciowych transformatorów za pomocą transformatorów probierczych o niższym napięciu oraz mniejszej mocy, a więc tańszych i bardziej dostępnych

Rozpatrzmy poniżej przedstawiony układ połączeń (rys.1) Układ ten wyjaśnia proponowaną metodę badania izolacji transformatorów.

Działanie układu jest następujące: po włączeniu wyłącznika W_1 transformator badany T_b zostaje włączony na napięcie robocze i w izolacji jego występują naprężenia robocze. Ponieważ punkt zerowy transformatora jest połączony z ziemią po przez R_1 oraz uzwojenie transformatora probierczego T_p (transformator T_p jest jeszcze w stanie beznapięciowym) wobec tego potencjał zacisków wejściowych uzwojeń górnego napięcia badanego transformatora względem ziemi równy jest napięciu fazowemu, a zatem punkty te są naprężone napięciem $U_n/\sqrt{3}$.

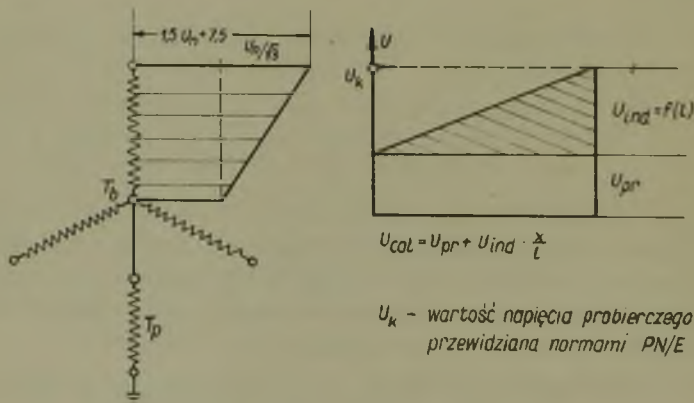
Jeżeli transformator probierczy T_p , przyłączony do punktu zerowego transformatora badanego, da nam napięcie

$$1,5 U_n - \frac{U_n}{\sqrt{3}} + 7,5 \text{ kV,}$$



Rys.1. Układ do badania izolacji transformatorów obniżonym napięciem

T_b - transformator badany T_p - transformator probierczy W_1 ,
 W_2 - Wyłączniki RI - regulator indukcyjny, R_1 , R_2 - opory
 A - amperomierz, I_p - Iskiernik pomiarowy B_T - bezpieczniki
 topikowe



Rys.2. Rozkład naprężeń w jednej z faz transformatora badanego

to potencjał jednego z zacisków wejściowych, dla którego wektory napięcia (wyindukowanego) roboczego i napięcia probierczego będą zgodne co do kierunku, wyniesie w stosunku do ziemi $1,5 U_n + 7,5 \text{ kV}$, czyli będzie równy wymaganemu napięciu probierczemu. Punkt zerowy transformatora będzie naprężony jedynie napięciem probierczym $= 1,5 U_n - \frac{U_n}{\sqrt{3}} + 7,5 \text{ kV}$.

Pozostałe dwie fazy będą naprężone różnicą geometryczną napięcia roboczego i napięcia probierczego. Zasilając kolejno transformator probierczy T_p z faz R S T uzyskamy obracanie się wektora napięcia probierczego o 120° , co da w efekcie występowanie pełnych naprężeń probierczych kolejno we wszystkich fazach badanego transformatora.

Możliwe jest też zastosowanie przesuwnika fazowego po stronie zasilania transformatora probierczego. Za pomocą przesuwnika można uzyskiwać zgodność faz napięć roboczych i napięcia probierczego w poszczególnych fazach, bez wyłączania napięcia i przełączeń po stronie niskiego napięcia.

Obliczmy obecnie zgodnie z poprzednio przyjętymi założeniami moc transformatora probierczego dla omawianego układu probierczego.

$$U_{pr} = 1,5 U_n - \frac{U_n}{\sqrt{3}} + 7,5 \text{ kV} = 109 \text{ kV}$$

Moc zwarciova transformatora probierczego wg VDE dla przyjętej uprzednio pojemności doziemnej obiektu badanego wyniesie

$$P_{zw} = 942 \cdot 10 \cdot 109^2 \cdot 10^{-6} = 112 \text{ kVA}$$

Porównując obecnie obliczoną moc transformatora z mocą obliczoną poprzednio (dla próby zgodnej z PN/E) widzimy że moc transformatora potrzebna do przeprowadzenia próby proponowaną metodą jest dwu i pół krotnie mniejsza ($280:112 = 2,5$).

Rozpatrzmy obecnie jakie uwagi nasuwają się co do wad i zalet proponowanej metody. Rozpocznijmy od wad:

- a) Omawiana metoda jest niezgodna z obowiązującymi normami.
- b) Badania dają się przeprowadzić jedynie na transformatorach z wyprowadzonym punktem zerowym po stronie górnego napięcia.

- c) Konieczność stosowania oporników ochronnych o dużej mocy i znacznej oporności, celem ograniczenia prądu zwarcia w chwili pomiaru napięcia iskiernikiem kulowym lub w przypadku przebicia izolacji.
- d) Konieczność stosowania odgromników zaworowych po stronie dolnego napięcia, celem ochrony od ewentualnych przebiegów w przypadku przebicia izolacji.

Cechy dodatnie proponowanej metody są następujące:

- a) Napięcie znamionowe transformatora probierczego jest prawie 1,6 razy niższe.
- b) Moc znamionowa transformatora probierczego jest 2,5 razy mniejsza.
- c) Ze względu na mniejszą moc i napięcie, transformator probierczy jest znacznie mniejszy, tańszy, łatwiej dostępny i wygodniejszy w transporcie.

Wnioski końcowe:

Dużą wadą proponowanej metody wydaje się być niezgodność z obowiązującymi normami PN/E, wynikająca z niejednakowego naprężenia poszczególnych punktów izolacji badanego transformatora. Jak widzieliśmy wartość napięcia probierczego malała od wartości $1,5 U_n + 7,5 \text{ kV}$ (pełna wartość napięcia probierczego) dla zacisków wejściowych do $1,5 U_n = \frac{U_n}{\sqrt{3}} + 7,5 \text{ kV} = 0,92 U_n + 7,5 \text{ kV}$ dla zacisku zerowego.

Biorąc jednak pod uwagę rozkład naprężeń powstających w izolacji transformatora (z uziemionym punktem zerowym) pod wpływem przebiegów atmosferycznych, stwierdzamy dość dużą zgodność rozkładu naprężeń w obu przypadkach, a więc wada ta staje się nie tak istotna. Omawiana metoda nie pretenduje do zastąpienia przewidzianej normami próby izolacji, może być jednak traktowana jako próba zastępcza, np. przy braku odpowiedniego transformatora probierczego.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОНИЖЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

В статье толкуется возможность диэлектрических испытаний посредством пониженного напряжения. Это дает возможность применения испытательных трансформаторов 2,5 раза меньшей мощности при 1,5 раза низшем напряжении.

LES ESSAIS DIÉLECTRIQUES DES TRANSFORMATEURS À L'AIDE D'UNE TENSION D'ESSAIS RÉDUITE

L'auteur suggère les essais diélectriques à l'aide d'une tension réduite des transformateurs d'essais. Il propose la possibilité d'utiliser les transformateurs d'essais d'une puissance 2,5 fois plus faible et une tension 1,5 plus basse en comparaison avec les conditions classiques.