

Józef Wrocławski

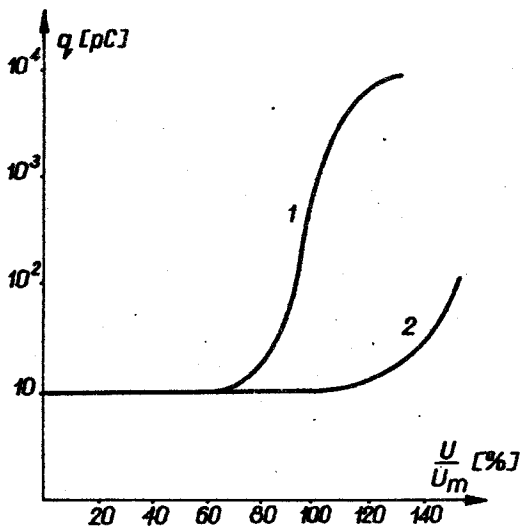
CHARAKTERYSTYKI WYŁADÓW NIEZUPEŁNYCH
PROSTYCH UKŁADÓW IZOLACJI PAPIEROWO-OLEJOWEJ
STOSOWANYCH W TRANSFORMATORACH ENERGETYCZNYCH

Wprowadzenie

Ze względów ekonomicznych przesyłanie wielkich energii wymaga budowy transformatorów wysokonapięciowych o dużej mocy. W celu uniknięcia awarii układu energetycznego, która z zasady pociąga za sobą duże straty materialne, niezbędne jest osiągnięcie wysokiej niezawodności urządzeń pracujących w takim układzie, a więc i zainstalowanych tam transformatorów. Jednym z czynników, któremu przypisuje się możliwość przyspieszenia procesu starzenia się transformatora, a więc i obniżenie niezawodności, jest występowanie w transformatorze wyładowań niezupełnych /wnz/. Poglądy na temat korelacji między intensywnością wnz a ich szkodliwością dla izolacji nie są jednoznaczne, tak że trudno jest obecnie określić dopuszczalną intensywność wnz, która może występować w czasie pracy transformatora. Trudność tę powodują m.in.: skomplikowana budowa układu izolacyjnego transformatora, brak możliwości pomiaru wnz w miejscu ich występowania, brak pełnych danych o odporności materiałów izolacyjnych na wnz. Wiadomo, że wnz mogą być tylko szkodliwe, dlatego też wiele firm produkujących transformatory

Mgr inż. Józef Wrocławski, Instytut Elektrotechniki - Oddział w -
Łodzi

proceedzi badania na temat ograniczenia, a nawet zlikwidowania wnz. Doświadczenia tych firm wykazały, że znaczne ograniczenie wnz można uzyskać dzięki właściwej konstrukcji układu izolacyjnego, eliminującej warunki sprzyjające występowaniu krytycznych nateżeń pól elektrycznych, zastosowaniu odpowiednich materiałów, wykonaniu poprawnej obróbki termiczno-próżniowej. Spełniając podane warunki, można zbudować transformator, którego charakterystykę podano na rysunku 1 - krzywa 2.



Rys.1. Charakterystyki wnz w transformatorach energetycznych
1 - trafo o silnych wnz; 2 - trafo o słabych wnz.

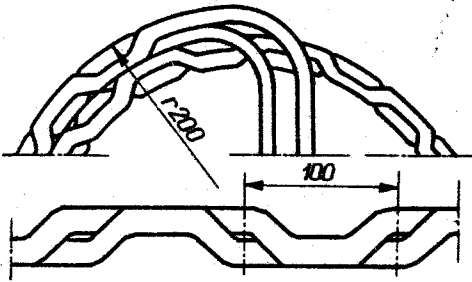
Niestety, w naszej praktyce produkcyjnej często spotyka się transformatory z charakterystyką przedstawioną krzywą 1. Dlatego też w IELOŁ podjęto działanie w kierunku zebrania materiału badawczego i ustalenia kryteriów, które w przyszłości pozwolą zmniejszyć wnz występujące w transformatorach.

1. Budowa modeli

Układ izolacyjny transformatora jest skomplikowany i prowadzenie badania zjawisk wnz w kompletnym obiekcie jest niecelowe. Dlatego też badania prowadzi się na modelach prostych, łatwych do wykonania, dających w miarę przejrzyste i powtarzalne wyniki. Nasze badania

objęły dwa proste fragmenty izolacji transformatora:

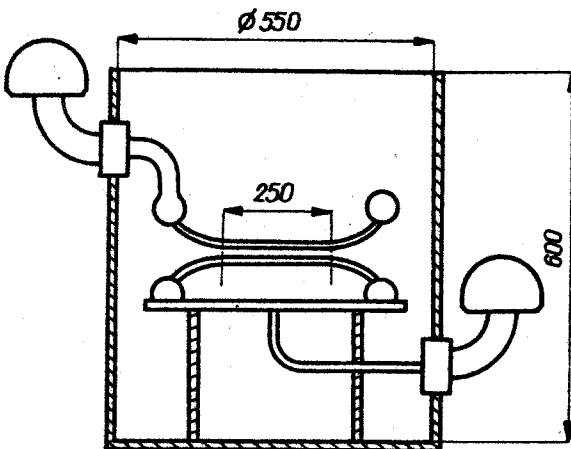
- izolację zwojową /dwa płaskie druty aluminiowe 10 x 2 izolowane dwustronnie papierem 1 i 3 mm, wygięte co 100 mm dwukrotnie, w celu uzyskania równoległego przesunięcia osi przewodu i osadzone jeden w drugim dla otrzymania układu przypominającego przeplecenia stosowane przy nawijaniu uzwojeń transformatora - rys.2/,



Rys.2. Model izolacji zwojowej

- izolację odpływu /drut okrągły o średnicy 8 i 10 mm izolowany papierem do średnicy 16 i 25 mm, usytuowany równoległe do płyty metalowej oraz równoległe lub prostopadłe do takiego samego przewodu - rys. 3/.

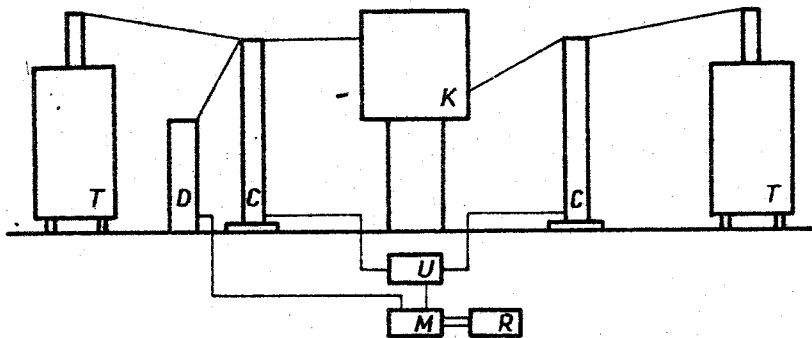
Modele były umieszczone w naczyniu z olejem transformatorowym.



Rys.3. Model izolacji odpływu w kadzi probierczej

2. Układ probierczy

Badanie modeli wykonywano w układzie symetrycznym podanym na rysunku 4. Układ umożliwiał wytworzenie na zaciskach kadzi probierczej napięcia 200 kV. Zakłócenia wynosiły 2 pC do 100 kV, a powyżej rosły wykładniczo, osiągając przy 200 kV – 20 pC. Zakłócenia te nie utrudniały prowadzenia badań, ponieważ pojawienie się wzn. w modelu zawsze powodowało wyraźny wzrost wskazań miernika wzn. Źródłem napięcia były dwa transformatory probiercze 110 kV. Stosowano różnicowy układ pomiarowy. Układ ten zmniejszał zakłócenia, zwłaszcza zewnętrzne. Połączenia wysokiego napięcia stanowiły przewody o średnicy 20 mm, izolowane PCW. Ostre elementy układu chroniono od wyładowań ulotowych kołpakami metalowymi. W mierniku ERA-4 stosowano wkładkę o pasmie pomiarowym 40-220 kHz.



Rys.4. Schemat układu probierczego

Oznaczenia: T - transformator 110 kV, C - kondensator sprzęgający 350 pF, D - oporowy dzielnik napięcia, K - kadź probiercza, U - układ wejściowy, M - miernik wyładowań niezupełnych ERA-4, R - rejestrator X-Y.

3. Przygotowanie modeli do badań

W skład izolacji modeli wchodził papier, który wymaga impregnacji olejem transformatorowym. Impregnację tę wykonywano podobnie jak w transformatorach na napięciu 220 kV. Modele podgrzewano w kotle

próżniowym do 110°C , wytwarzając równocześnie ciśnienie $0,1\text{ hPa}$, następnie wewnątrz kotła zalewano olejem podgrzany do 70°C . Cały proces trwał ok. 70 godzin. Przed badaniami model przenoszono do kadzi probierczej i całość umieszczano na 4 godziny w kotle próżniowym, w którym wytwarzano ciśnienie 2 hPa . Następnie wewnątrz kadzi zalewano olejem, utrzymując przez 2 godziny podane ciśnienie. Później kadź probierczą z modelem wyjmowano z kotła próżniowego i pozostawiano na 12 godzin w celu całkowitego przesycenia izolacji papierowej olejem i rozpuszczenia się ewentualnych pęcherzy gazowych w oleju. Wytrzymałość dielektryczna oleju wynosiła ok. 180 kV/cm .

4. Prowadzenie badań

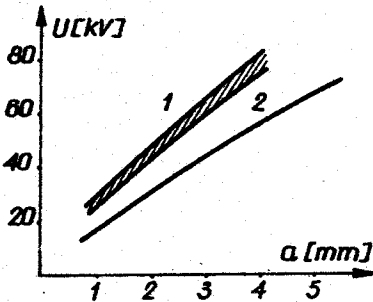
Przygotowano po trzy modele izolacji zwojowej i odpływu, różniące się wymiarami drutu i grubością izolacji papierowej, a dla izolacji odpływu dodatkowo przerwą olejową /10, 20, 40, 80 mm/. Każdy model badano pięciokrotnie w odstępach 5 minut. Napięcie podnoszono z szybkością 5% oczekiwanego napięcia zapłonu na sekundę do 75%, a dalej z szybkością 1%/s. Po pojawieniu się stabilnych wnz, rzędu kilkuset pC, napięcie obniżano.

5. Wyniki badań

5.1. Izolacja zwojowa

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 5. Określenie napięcia zapłonu nie było trudne. Wnz pojawiały się nagle, osiągając intensywność kilkuset pC. Przy piątej próbie nie przerywano podnoszenia napięcia po pojawieniu się wnz. Intensywność ich rosła z napięciem, osiągając wartość kilkudziesięciu tysięcy pC. W krótkim czasie dochodziło do przebicia izolacji. Napięcie przebicia wynosiło ok. 110% napięcia zapłonu. Jak z tego wynika, nie można dopuścić do pojawienia się wnz w izolacji zwojowej, gdyż ten fakt może spowodować przebicie izolacji i uszkodzenie transformatora. Na rysunku 5 podano rezultaty badań

w postaci obszaru zakreskowanego - 1. Średnie odchylenie standardowe wynosiło 10 %. Krzywa 2 obrazuje 1% prawdopodobieństwa pojawienia się wnz.



Rys.5. Napięcie zapłonu wnz w izolacji zwójowej
1 - wyniki pomiarów
2 - kryterium doboru grubości izolacji

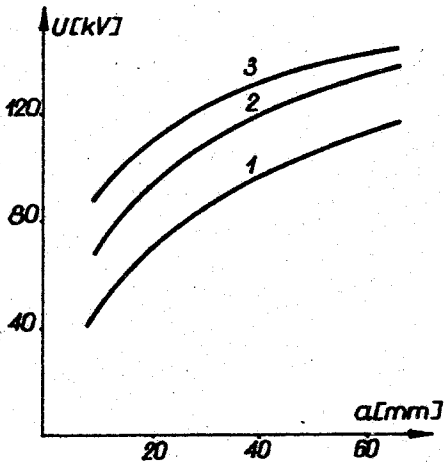
5.2. Izolacja odpływu

Zbadano trzy układy izolacji odpływu:

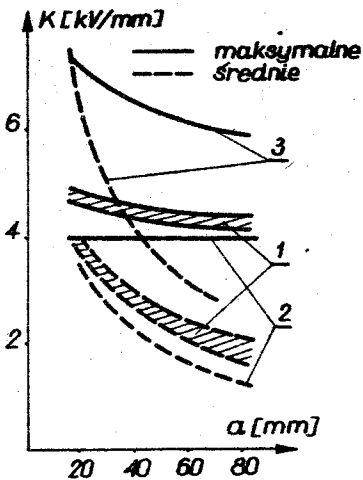
- przewód - płyta metalowa,
- dwa przewody równoległe,
- dwa przewody prostopadle.

Wyniki pomiarów napięcia zapłonu podano na rysunku 6, przy czym są to wartości średnie i odnoszą się do przewodu 8/16. Dla małych przerw olejowych / < 40 mm/ nie było trudności z określeniem napięcia zapłonu - intensywność wnz zmieniała się skokowo. Dla odległości dużych / > 60 mm/ intensywność rosła ze wzrostem napięcia. Jako wynik pomiaru przyjmowano napięcie, przy którym wnz przekraczały zakłócenia. Dla badanych modeli obliczono maksymalne natężenie pola elektrycznego na powierzchni papieru, które powoduje powstawanie wnz. Obliczono również średnie natężenie pola elektrycznego w oleju, biorąc do obliczeń zredukowaną odległość między elektrodami. Wyniki obliczeń przedstawia rysunek 7, przy czym zakreskowane obszary odnoszą się do wyników pomiarów i obliczeń. Natężenie pola elektrycznego powodujące pojawienie się wnz nie zależy od wymiarów poprzecznych przewodów /przypuszczalnie w pewnych granicach/, a zależy wyłącznie od grubości przerwy

olejowej - a, maksymalne w małym stopniu, a średnie dość wyraźnie. Na podstawie wykonanych badań, dla badanych modeli można określić kryterium doboru izolacji odpływu w celu uniknięcia wzn - krzywa 2. Ciekawe wyniki uzyskano badając odpływ izolowany papierem marszczonym - krzywa 3. Fakt uzyskania prawie dwukrotnie większego natężenia pola wynika prawdopodobnie z braku ostrej granicy między papierem a olejem.



Rys. 6. Napięcie zapłonu wzn dla izolacji odpływu
 1 - przewód - płyta
 2 - dwa przewody równoległe
 3 - dwa przewody prostopadłe



Rys. 7. Natężenie pola elektrycznego powodujące zapłon wzn w izolacji odpł.
 1 - wyniki pomiarów
 2 - kryterium doboru izol.
 3 - izolacja z papieru marszczonego

6. Wnioski

1. W izolacji zwojowej nie można dopuścić do powstawania wnz, gdyż może to spowodować przebicie izolacji.

2. W zbadanych modelach izolacji odpływu maksymalne natężenie pola elektrycznego, powodujące powstanie wnz, nie zależy od wymiarów układu izolacyjnego. Średnie natężenie pola zależy tylko od grubości przerwy olejowej.

Summary

DISCHARGE CHARACTERISTICS OF OIL-PAPER INSULATION SIMPLE ARRANGEMENTS USED IN POWER TRANSFORMERS

Paper describes the results of low-voltage tests of oil-paper insulation simple models used in the power transformer insulation. Discharge characteristics in a coil and lead insulation are discussed. In tested models the criteria of insulation designing for partial discharge occurring are given.