

S. Jerzy Dymowski, Wacław Jezierski

WYŁADOWANIA NIEZUPEŁNE W MODELACH WYBRANYCH FRAGMENTÓW
UKŁADU IZOLACJI GŁÓWNEJ TRANSFORMATORÓW OLEJOWYCH

1. Wprowadzenie

Wyładowania niezupełne w układach izolacyjnych transformatorów energetycznych były tematem wielu prac naukowo-badawczych. Wyniki ich doprowadziły do wniosku, że przy napięciu roboczym intensywne wznę w izolacji transformatora nie powinny mieć miejsca. Szczególnie szkodliwe mogą być one w miejscach, gdzie maksymalne natężenie pola elektrycznego są duże, a nierównomierność pola jest niewielka.

Nie ma praktycznej możliwości stwierdzenia czy pomierzone w transformatorze wyładowania są szkodliwe czy nie, gdyż ich destrukcyjne działanie zależy od wielu różnorodnych czynników konstrukcyjnych i technologicznych.

Norma międzynarodowa IEC - Standard 76 - 3 z roku 1980 przewiduje dla transformatorów o maksymalnym napięciu roboczym większym od 300 kV metodykę probierczą polegającą na długotrwałej /35 minutowej/ próbie napięciem indukowanym, wynoszącym 1,3 lub 1,5 najwyższego napięcia roboczego. W trakcie tej próby intensywność wznę nie może przekroczyć odpowiednio 300 lub 500 pC.

Przeprowadzenie próby napięciem wyższym od maksymalnego napięcia roboczego stwarza niezbędny margines dla zapewnienia, że prawdopodobieństwo powstania szkodliwych wyładowań niezupełnych podczas długoletniej eksploatacji będzie bliskie zera [3]. Wyładowania niezupełne o intensy-

mgr inż. S. Jerzy Dymowski, dr inż. Wacław Jezierski - Instytut Energetyki, Oddział Transformatorów w Łodzi.

wności kilkuset i więcej pC mogą najczęściej powstać /wykluczając ewidentne błędy produkcyjne/ w układzie izolacji głównej transformatora, bowiem ten rodzaj izolacji przy napięciu roboczym jest zagrożony bardziej od izolacji wzdłużnej. W związku ze wspomnianą uprzednio tendencją do projektowania transformatorów o niskim poziomie wzn. pomiary wyładowań niezupełnych w trakcie badań modeli różnych fragmentów układu izolacyjnego stają się koniecznością.

Szczególnie istotna jest znajomość zależności intensywności wyładowań niezupełnych od napięcia /czy natężenia pola elektrycznego/ w izolacji głównej transformatorów. Publikacje dotyczące wyładowań niezupełnych tak w układzie izolacyjnym odpływów jak i w układach wielobarierowych /np. izolacja końcowa/ zawierają dużo sprzecznych informacji.

Dane japońskie [3] i radzieckie [4] dotyczące układu samotny odpływ płaszczyzna /walec izolowany papierem - płaszczyzna metalowa/ pokazują, że nawet stosunkowo niewielki wzrost intensywności wyładowań niezupełnych prowadzi do przebicia zupełnego układu izolacyjnego modelu ; wartość napięcia zapłonu wzn. jest tu o kilka procent niższa od napięcia przebicia.

W pracach [1,6,7] dla podobnych układów modelowych charakterystyki wyładowań niezupełnych wyglądają jednak inaczej. Obserwuje się tam nawet przy napięciach o kilkadziesiąt procent niższych od napięcia przebicia wyładowania niezupełne o intensywności rzędu kilkuset, a nawet kilku tysięcy pC, nie powodujące przebicia zupełnego modeli.

Dla układów wielobarierowych /np. izolacja końcowa/ autorzy prac [3, 5] stwierdzają, że przed przebiciem występują wzn. o dużej intensywności /powyżej 10^4 pC/ dodając, że przy napięciach niższych nie obserwuje się stabilnych wyładowań o intensywności przekraczającej kilkaset pC.

W pracach [6,7] zaobserwowano, że wyładowania niezupełne o niewielkiej intensywności pojawiają się już przy napięciu o ok. 50% niższym od napięcia przebicia i ich intensywność sukcesywnie wzrasta ze wzrostem napięcia. Rozbieżności w wynikach można próbować tłumaczyć różnicami technologii przygotowania modeli do badań czy nieco różniącymi się wymiarami geometrycznymi badanych układów.

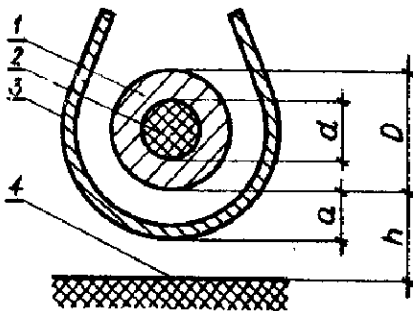
Pokazanie wpływu pewnych zabiegów technologicznych czy zmian w konstrukcji układu izolacyjnego na intensywność rejestrowanych wyładowań jest celem niniejszej pracy.

2. Obiekt badany i metodyka prób

Badano trzy zasadnicze rodzaje modeli :

1 - modele odpływów w postaci walca izolowanego papierem marszczonym umieszczonego w pewnej odległości od gładkiej metalowej płaszczyzny ; 2 - modele odpływów z barierą preszpanową ; 3 - układ wielobarierowy zbliżony w swoich proporcjach geometrycznych do izolacji końcowej transformatora na napięcie znamionowe 220 kV.

Modele odpływów z barierą pokazano schematycznie na rys. 1.



Rys.1. Schematyczny wygląd modeli odpływów : 1. Oplot z papieru marszczonego ; 2. Żyłka metalowa ; 3. Bariera preszpanowa ; 4. Płyta metalowa
 $d/D \approx 1 : 2$
 $D/h \approx 3 : 5$
 $a/h \approx 1 : 5$

Modele odpływów samotnych różniły się od modelu pokazanego na rys. 1 tylko brakiem bariery.

Przygotowane modele poddawane były obróbce termiczno-próżniowej zbliżonej do stosowanej w transformatorach na napięcia 220 kV.

W trakcie badań omawianych w [6,7] tak przygotowane modele odstawały się przez 5 dób /z tego ok. 24 godziny na stanowisku probierczym/. Następnie poddawano je badaniom napięciowym.

W badaniach przedstawionych w niniejszej pracy stosowano dodatkowy zabieg technologiczne zwany "obiegowym uzdatnianiem". Polegał on na wielokrotnym przepompowywaniu oleju z modelu w obiegu zamkniętym przez specjalne urządzenie oczyszczające, odwadniające i odgazowujące. Pozwalało to na usunięcie różnego rodzaju zanieczyszczeń wypłukiwanych podczas przepływu oleju przez model. Po przepompowaniu ilości oleju odpowiadającej 3 - 4 - krotnej pojemności naczynia probierczego proces przerywano i model odstawał się przez ok. 5 dób. Zawartość wody w oleju przygotowanego do prób modelu wynosiła 6 - 10 ppm, a zawartość gazów

0,5 - 0,7%. Konstrukcja naczyńa probierczego zapewniała bardzo małą powierzchnię styku oleju z otaczającą atmosferą. Pochłanianie gazów przez olej w czasie odstawania było z tego powodu minimalne.

Wszystkie modele badano napięciem przemiennym 50 Hz, rozpoczynając próbę od ok. 30% spodziewanego napięcia przebiccia U_p . Napięcie podnoszono stopniami wynoszącymi 4 - 6% U_p i na każdym stopniu utrzymywano wartość napięcia przez 3 minuty. Wyładowania niezupełne mierzono tak w trakcie podnoszenia jak i w czasie utrzymania napięcia.

3. Wyniki badań

Charakterystyki wyładowań niezupełnych dla modeli odpływ - płaszczyzna przedstawiono na rysunku 2.

Obiegowe uzdatnianie oleju w modelu spowodowało znaczne zmniejszenie intensywności wnz.

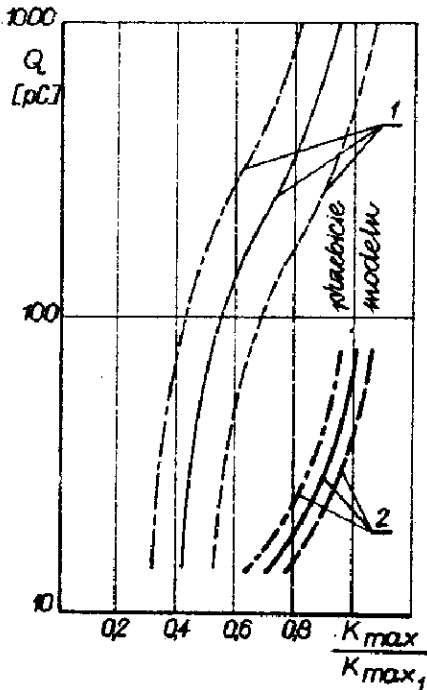
W modelach z olejem nie uzdatnionym obiegowo wyładowania rzędu kilkudziesięciu pC pojawiają się już przy napięciach o ok. 50% niższych od napięcia przebiccia i intensywność ich wzrasta ze wzrostem przyłożonego napięcia do kilkuset i więcej pC, po czym następuje przebiccie układu. W modelach z olejem obiegowo uzdatnionym zapłon wyładowań następuje przy napięciach znacznie wyższych i przed przebicciem nie występują wyładowania o intensywności większej niż 70 - 80 pC. Rozrzuty wyników są też mniejsze.

Podobne, choć mniejsze efekty daje obiegowe oczyszczenie w układach wielobarierowych /patrz rysunek 3/.

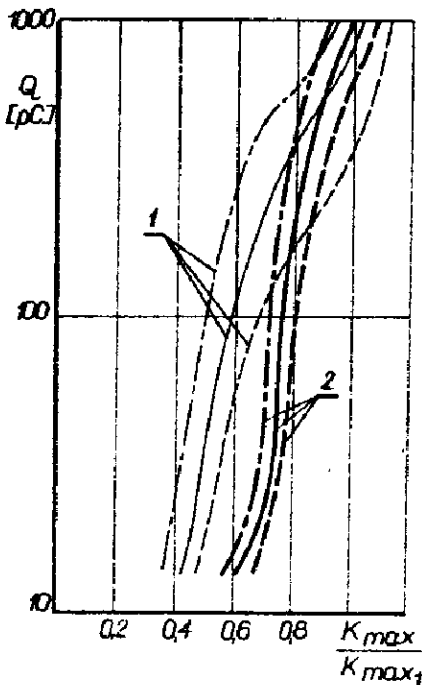
Cechą charakterystyczną takich układów jest fakt, że nawet duże wyładowania niezupełne /kilka czy kilkanaście tysięcy pC/ nie prowadzą do przebiccia układu izolacyjnego. Powiązane to jest ze stosunkowo dużą wytrzymałością dielektryczną stosowanych barier preszpanowych.

Podobnie pod tym względem zachowują się modele odpływów z barierą. Charakterystyki wnz dla modeli odpływów z barierą i takich samych modeli bez bariery przedstawiono na rys. 4 /wszystkie modele były obiegowo uzdatnione/.

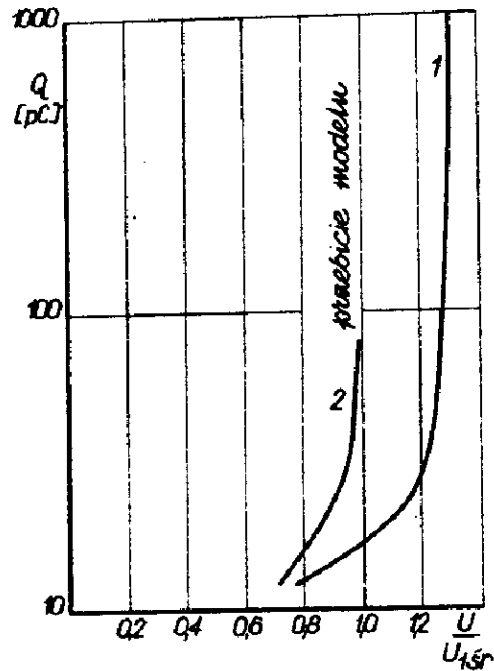
Przedzielenie przerwy olejowej barierą powoduje podwyższenie wartości napięcia przy której pojawiają się wnz.



Rys.2. Zależność intensywności wyładowań niezupełnych od maksymalnego natężenia pola elektrycznego oleju w układzie odpływ - płaszczyna : 1. Średnie, maksymalne i minimalne intensywności wnz w modelach z olejem nieuzdatnionym obiegowo wg [7] ; 2. średnie, maksymalne i minimalne intensywności wnz w modelach z olejem obiegowo uzdatnionym ; K_{max1} - maksymalne natężenie pola w oleju odpowiadające średniemu napięciu przebiccia modeli z olejem obiegowo uzdatnionym

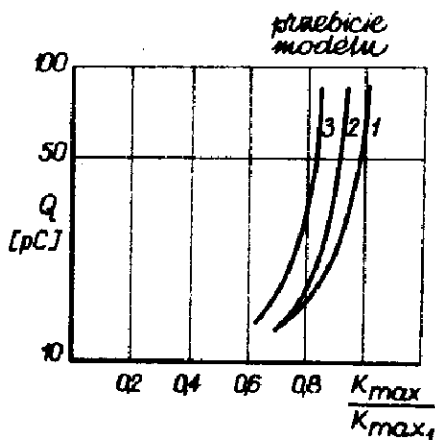


Rys.3. Zależność intensywności wnz od maksymalnego natężenia pola elektrycznego w oleju w układzie wielobarierowym. 1. Średnie, maksymalne i minimalne intensywności wnz w modelach z olejem nieuzdatnionym obiegowo wg [7] ; 2. Średnie, maksymalne i minimalne intensywności wnz w modelach z olejem obiegowo uzdatnionym ; K_{max1} - natężenie pola w oleju odpowiadające średniej intensywności wnz w modelu 1000 pC.



Rys. 4. Zależność intensywności wzn od przyłożonego napięcia w modelach odprawy - płaszczyzna. 1. Model odprawy - płaszczyzna z barierą ;
 2. Model odprawy - płaszczyzna bez bariery ;
 U_{1sr} - średnie napięcie przebicia modeli bez bariery

W układzie samotny odprawy - płaszczyzna charakterystyki wyładowań niezupełnych mają bardzo podobny przebieg dla modeli nawet znacznie różniących się wymiarami geometrycznymi. Pokazuje to rysunek 5.
 Zwiększenie wymiarów geometrycznych modelu powoduje jednak zmniejszenie wartości maksymalnego natężenia pola odpowiadającego napięciu zapłonu wzn podobnie jak to ma miejsce dla napięcia przebicia.



Rys.5. Zależność intensywności wnz od maksymalnego natężenia pola elektrycznego w oleju w układzie odplyw płaszczyzna dla modeli o różnych wymiarach geometrycznych /modele uzdatniane obiegowo/.
 K_{max1} - maksymalne natężenie pola w oleju odpowiadające średniej intensywności wnz w modelu podstawowym ok. 70 pC.

1. średnia intensywność wnz w modelach podstawowych ;
2. średnia intensywność wnz w modelach o wymiarach dwukrotnie większych od modelu podstawowego ;
3. średnia intensywność wnz w modelach o wymiarach czterokrotnie większych od podstawowego

4. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy i wykonanych badań wynikają następujące wnioski :

1. Przeprowadzone badania pokazały, że określenie intensywności wyładowań niezupełnych, którą można by uznać za dopuszczalną, jest zagadnieniem bardzo trudnym, ponieważ w niektórych fragmentach układu izolacyjnego transformatorów przed przebicciem występują wyładowania niezupełne jedynie o niewielkiej intensywności, w innych zaś bardzo duże, nieraz przekraczające 10^4 pC.
2. Obiegowe uzdatnianie oleju powoduje wzrost napięcia zapłonu wyładowań niezupełnych oraz znaczne zmniejszenie rozrzutu wyników.
3. Zastosowanie barier w układzie izolacyjnym podwyższa zarówno napięcie przebiccia, jak i napięcie zapłonu wnz oraz powoduje, że nawet dość

intensywne wyładowania nie prowadzą do natychmiastowego przebiccia.

4. Zwiększenie wymiarów geometrycznych modelu obniża natężenie pola elektrycznego, przy którym następuje zapłon wyładowań niezupełnych.

Literatura

1. Daniszyna A.A., Morozowa T.I. : Volt sekundnaja charakteristika izolacionnoj konstrukcji otwod - płoskost. SNT WEJ 1973, wyp. 159.
2. Dymowski S.J. : Badania wytrzymałości dielektrycznej izolacji głównej, końcowej i odpływów transformatorów na napięcia znamionowe do 400 kV. Dok. IEN 1982. nr OŁ/50/82.
3. Kamata Y., Yamaguchi M. : Corona in Transformer Insulation. Hitachi Review 1973 vol. 22 nr 1.
4. Maruszczenko F.J., Daniszyna A.A. : Issliedowanie dlitielnoj električzeskoj procznosti obrazcow wnutriennej izolacji tipa izolirowannyj otwod-płoskost w siłowych transformatorach wysokowo napriazhenia. SNT WEJ 1982.
5. Morozowa T.I. : Električzeskaja procznost wnutriennej izolacji transformatorow pri dlitielnom wozdejstwiu raboczewo napriazhenia. Elektrotehnika 1976, nr 4.
6. Pilarski H. : Wytrzymałość elektryczna izolacji głównej oraz odpływów. Dok. IEL OŁ 1979. nr OŁ/42/79.
7. Pilarski H. : Wytrzymałość izolacji głównej transformatorów do 220 kV. Dok. IEL OŁ 1980 nr OŁ/52/80.