

Przemysław FATYGA*

ZMIANY ODPOWIEDZI DIELEKTRYCZNEJ PRESZPANU SYCONEGO OLEJEM MINERALNYM PO WYMIANIE CIECZY IZOLACYJNEJ NA ESTER SYNTETYCZNY

Jedną z metod oceny zawilgocenia izolacji stałej transformatorów energetycznych jest metoda FDS. Bazuje ona na wzorcach odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego o znanych parametrach. Konsekwencją wymiany cieczy izolacyjnej z oleju mineralnego na ester syntetyczny są duże problemy interpretacyjne zmierzonej odpowiedzi dielektrycznej transformatora w kontekście oceny zawilgocenia jego izolacji stałej. Artykuł prezentuje wyniki badań modelowych odpowiedzi dielektrycznej próbek preszpanu wysyczonego olejem mineralnym, który następnie wymieniono na ester syntetyczny.

SŁOWA KLUCZOWE: odpowiedź dielektryczna, olej mineralny, ester syntetyczny

1. WSTĘP

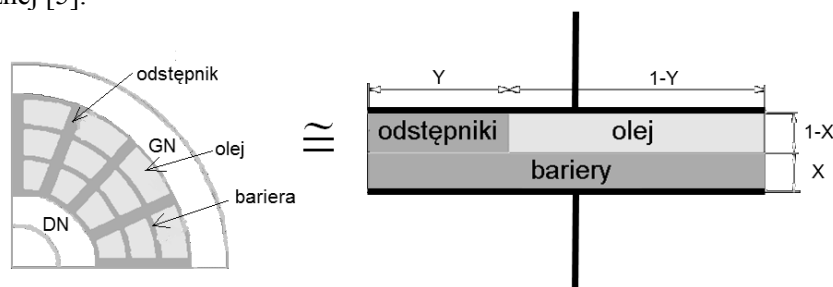
O wytrzymałości elektrycznej izolacji papierowej transformatorów energetycznych decyduje, między innymi, stopień jej zawilgocenia. Wzrost zawilgocenia izolacji powoduje: rozpoczęcie generowania lub intensyfikację wyładowań niezupełnych oraz obniżenie temperatury inicjacji „bubble effect” [1]. Najdokładniejszą i najbardziej wiarygodną metodą oceny stopnia zawilgocenia izolacji jest laboratoryjna metoda miareczkowania (Karla Fischera, KFT). Metoda ta wymaga pobrania próbek izolacji celulozowej transformatora, co najczęściej jest niemożliwe. W związku z tym zawilgocenie izolacji wyznacza się z wykorzystaniem metod polaryzacyjnych. Należą do nich: spektroskopia dielektryczna w dziedzinie częstotliwości (FDS) [2], spektroskopia dielektryczna w dziedzinie czasu (RVM) [3] oraz pomiar prądu polaryzacji i depolaryzacji (PDC) [4].

Spektroskopia dielektryczna w dziedzinie częstotliwości jest najczęściej stosowaną metodą oceny zawilgocenia izolacji stałej transformatorów. Pomiar polega na pomiarze pojemności C' i C'' lub strat dielektrycznych $\tan\delta$ w zakresie częstotliwości od 10^{-4} do 10^3 Hz. Następnie wynik pomiarów dopasowuje się do posiadanych charakterystyk wzorcowych odpowiedzi dielektrycznej próbek modelowych o znanej temperaturze i zawilgoceniu. Gdy odpowiedź dielektrycz-

* Politechnika Poznańska.

na obiekty badań jest taka sama jak wzorca to uznaje się, że zawilgocenie izolacji transformatora odpowiada zawilgoceniu wzorca.

Pomiar z wykorzystaniem metody FDS oparty jest na tzw. modelu XY izolacji (rysunek 1) i bazie charakterystyk wzorcowych, uzyskanych na próbach o znanych wartościach parametrów celulozy i napełniającej ją cieczy dielektrycznej [5].



Rys. 1. Model XY izolacji transformatora

Dokładność wyznaczania zawilgocenia izolacji zależy od liczby i jakości posiadanych wzorców zawilgocenia.

2. CEL BADAŃ

Producent jednego z estrów syntetycznych twierdzi, że bez żadnych negatywnych skutków dla transformatora, można wymienić olej mineralny na jego produkt.

Dokonując takiego zabiegu należy rozważyć szereg zjawisk towarzyszących procedurze wymiany cieczy elektroizolacyjnej. Olej mineralny oraz ester syntetyczny posiadają różne właściwości fizyczne, elektryczne, cieplne i środowiskowe, co powoduje powstanie wielu pytań, na które jeszcze nie znamy jednoznacznej odpowiedzi.

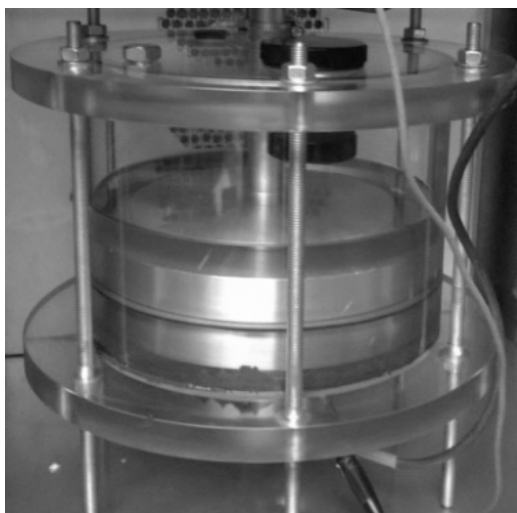
Przeprowadzony rekonesans pomiarowy dotyczył oceny dynamiki wymiany oleju mineralnego na ester syntetyczny w układzie izolacyjnym preszpan-dielektryk ciekły. Do oceny tej wykorzystano spektroskopię dielektryczną w dziedzinie częstotliwości.

3. OBIEKT BADAŃ

Badanie przeprowadzono na próbce preszpanu o gęstości $1,2 \text{ g/cm}^3$, zawilgoconej do poziomu 4,07 % (wg metody KFT). Próbkę nasycono olejem mineralnym, a następnie kondycjonowano przez trzy dni w komorze klimatycznej. Drugą cieczą wykorzystaną w badaniach był ester syntetyczny. Przed użyciem był on poddany suszeniu suszonym próżniowo papierem.

4. PROCEDURA BADAŃ

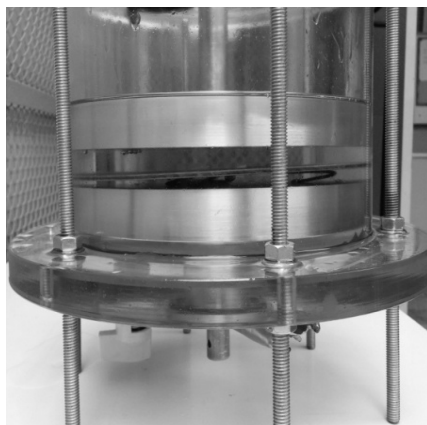
Badana próbka preszpanu została umieszczona między elektrodami w szczelnym naczyniu wypełnionym cieczą elektroizolacyjną (rysunek 2). Próbka przez cały okres badania (47 dni) znajdowała się w cieplarni (rysunek 3) o stałej temperaturze 30⁰C. Między pomiarami FDS elektrody były rozsunięte względem siebie (rysunek 4), w celu umożliwienia swobodnego przepływu cieczy wokół badanej próbki.



Rys. 2. Szczelne naczynie wraz z próbką preszpanową umieszczoną między elektrodami – widok podczas pomiarów



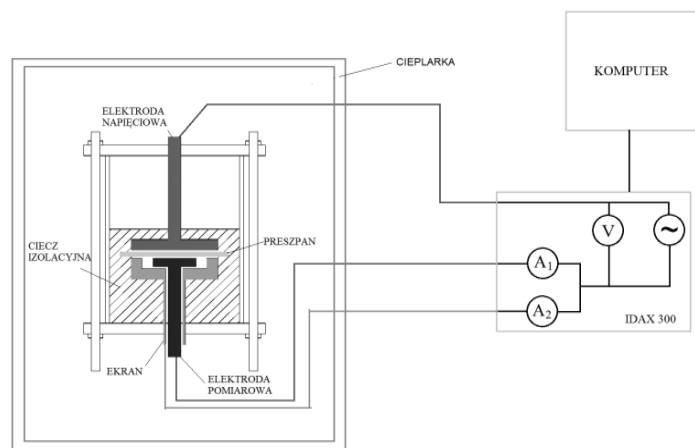
Rys. 3. Komora klimatyczna



Rys. 4. Szczelne naczynie wraz z próbką preszpanową i rozsuniętymi elektrodami – położenie elektrod między pomiarami

Prace badawcze przeprowadzono według następującej procedury:

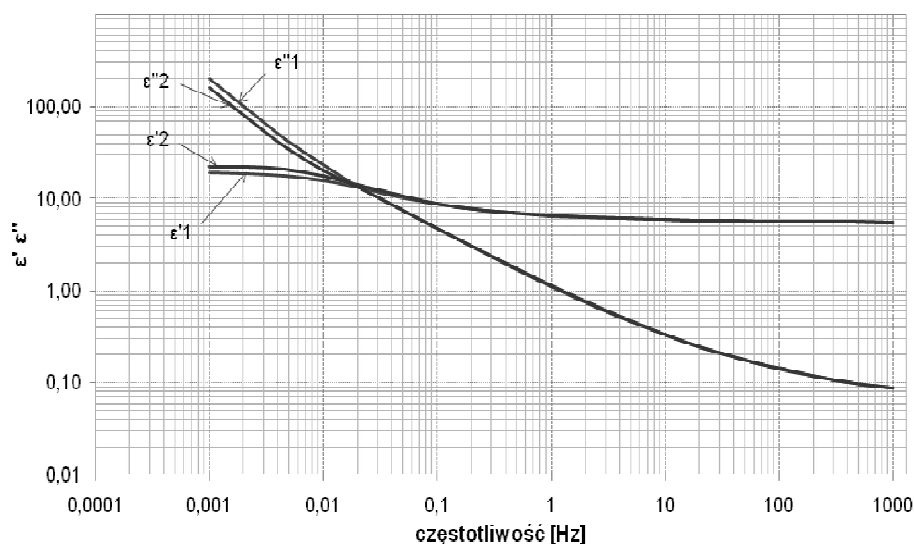
- przygotowanie próbki preszpanowej i cieczy izolacyjnych
- kondycjonowanie próbki zanurzonej w oleju – 3 dni
- wyznaczenie zawilgocenia próbki preszpanowej metodą KFT
- umieszczenie próbki preszpanowej na stanowisku badawczym
- badanie odpowiedzi dielektrycznej preszpanu zanurzonego w oleju mineralnym (zgodnie ze schematem systemu pomiarowego przedstawionego na rysunku 5)
- wymiana oleju mineralnego na ester syntetyczny
- badanie odpowiedzi dielektrycznej próbki – powtarzane co kilka dni.



Rys. 5. Schemat systemu pomiarowego

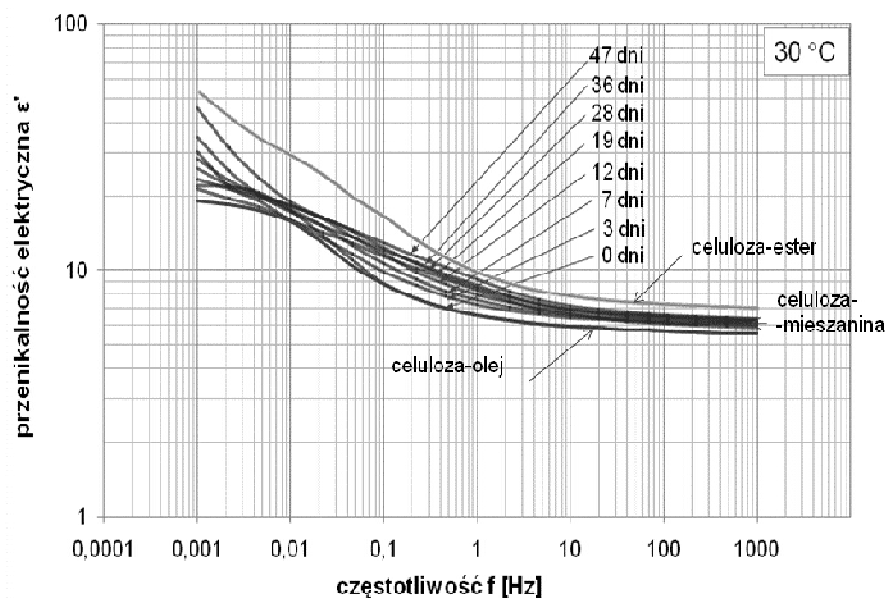
5. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 6 przedstawiono charakterystyki odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego preszpan-dielektryk ciekły – część rzeczywistą ϵ' oraz urojoną ϵ'' . Przebiegi te uzyskano przed i tuż po wymianie oleju mineralnego na ester syntetyczny. Z rysunku wynika, że odpowiedź dielektryczna układu izolacyjnego preszpan-olej mineralny minimalnie różni się od odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego preszpan-ester syntetyczny. Zaobserwowane różnice nie występują jedynie w zakresie częstotliwości od 0,001 do 0,01 Hz, a ich niewielka wartość wynika z tego, że ester syntetyczny jeszcze nie zdążył wyprzeć oleju z próbek preszpanowej.

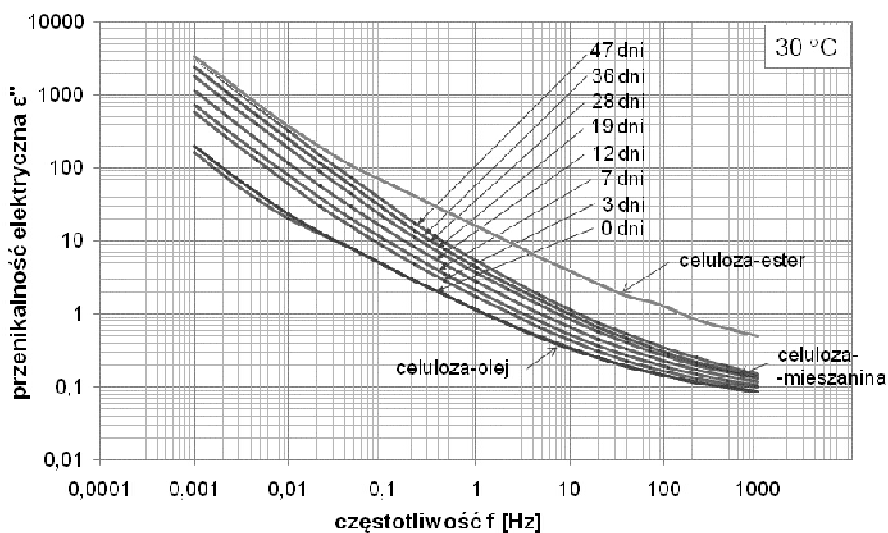


Rys. 6. Charakterystyki ϵ' i ϵ'' preszpanu zanurzonego w oleju (1) oraz bezpośrednio po wymianie oleju na ester (2)

Na rysunkach 7 i 8 zestawiono odpowiedzi dielektryczne układu izolacyjnego papier-ester syntetyczny dla różnych wartości czasu od zamiany cieczy. Można na nich zauważyć sukcesywne przechodzenie krzywych od charakterystyki typowej dla układu izolacyjnego preszpan-olej mineralny do charakterystyki typowej układu izolacyjnego preszpan-ester syntetyczny. Należy zauważyć, że na zmianę kształtu charakterystyk miała wpływ także, choć w niewielkim stopniu, zmiana w czasie zawilgocenia próbki. Z wykresów wynika, że nawet po 47 dniach eksperymentu w próbce jeszcze nie nastąpiła całkowita wymiana wysycającego ją oleju mineralnego na ester syntetyczny.



Rys. 7. Charakterystyki ϵ' od częstotliwości dla różnych wartości czasu od chwili zamiany oleju mineralnego na ester syntetyczny



Rys. 8. Charakterystyki ϵ'' od częstotliwości dla różnych wartości czasu liczonego od chwili zamiany oleju mineralnego na ester syntetyczny

6. WNIOSKI

Po wymianie oleju mineralnego na ester syntetyczny, charakterystyki zdejmowane w odstępach czasu sukcesywnie przechodzą od charakterystyki wzorcowej celuloza-olej mineralny do charakterystyki wzorcowej celuloza-ester syntetyczny.

Wymiana oleju mineralnego na ester syntetyczny w preszpanie jest procesem długotrwałym – po 47 dobach jeszcze nie wystąpiła całkowita wymiana cieczy nasycającej próbkę.

Wiarygodna ocena zawilgocenia układu izolacyjnego w którym wymieniono olej mineralnego na ester syntetyczny, z wykorzystaniem metody FDS i wzorców zawilgocenia, dla układu izolacyjnego celuloza-ester syntetyczny, będzie możliwa prawdopodobnie dopiero po upływie co najmniej kilku miesięcy.

W dalszych badaniach skutków wymiany oleju mineralnego na ester syntetyczny należy także mieć na uwadze, znany z literatury, efekt osuszania celulozy przez ester syntetyczny.

LITERATURA

- [1] Gielniak J., Morańda H., Neumann S., Ossowski M., Przybyłek P., Walczak K., Moscicka-Grzesiak H., Warunki wystąpienia „bubble effect” w transformatorze o izolacji papierowo-olejowej, Konferencja naukowo-techniczna „Transformatory w eksploatacji”, Kołobrzeg-Dźwirzyno, 20 – 22. 04. 2005, Energetyka, Zeszyt tematyczny nr VI, ss. 120 – 122.
- [2] Bugajny K., Dałek J., Pinkiewicz I., Diagnostyka stanu zawilgocenia izolacji transformator z modyfikowaną metodą C_2/C_{50} , Przegląd Elektrotechniczny-Konferencje, nr 1'2004, s. 38 – 41.
- [3] Dolta B., Shayegani A., Badanie procesów starzenia układów izolacyjnych papier-olej, Przegląd Elektrotechniczny – Konferencje, nr 1'2004 s. 54 – 56.
- [4] Zengel W.S., Applications of Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain for HV Power Equipment, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 19, No 6 (2003).
- [5] Morańda H., Koch M., Program do analizy odpowiedzi częstotliwościowej (FDS) dielektryków, Przegląd Elektrotechniczny - Konferencje, nr 1/2006 s. 162 – 165.

DIELECTRIC RESPONSE CHANGE OF PRESSBOARD SATURATED WITH MINERAL OIL AFTER REPLACING INSULATING LIQUID WITH SYNTHETIC ESTER

One of the methods to estimate the power transformers solid insulation moisture is frequency domain spectroscopy (FDS). FDS is based on the patterns of dielectric insulation system's responses. The consequence of the insulating liquid exchange (from mineral oil to synthetic ester) are enormous interpretation problems of the measured

transformers dielectric response in the context of solid isolation moisture estimating. The article presents the results of model responses of the dielectric pressboard sample filled with mineral oil which is afterwards changed for synthetic ester.

(Received: 26. 01. 2016, revised: 2. 03. 2016)