

Przemysław FATYGA *

ODPOWIEDŹ DIELEKTRYCZNA W DZIEDZINIE CZĘSTOTLIWOŚCI UKŁADU IZOLACYJNEGO PRESZPAN – MIESZANINA 98,3% ESTRU SYNTETYCZNEGO I 1,7% OLEJU MINERALNEGO W WYBRANYCH TEMPERATURACH

Jednym z czynników decydujących o wymianie w transformatorze oleju mineralnego na ester syntetyczny jest chęć zwiększenia bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Jednakże wymiana taka nigdy nie będzie całkowita, w efekcie czego w kadzi transformatora otrzymujemy mieszaninę obu cieczy. W tej sytuacji analiza odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie częstotliwości (DFR) izolacji transformatora, prowadzona w celu oceny zawilgocenia tej izolacji, jest utrudniona. Trudność ta wynika z faktu, że metoda DFR bazuje na wzorcach odpowiedzi izolacji celulozowej zanurzonej w czystym dielektryku, najczęściej oleju mineralnym albo estrze syntetycznym, a nie w ich mieszaninie.

Słowa kluczowe: odpowiedź dielektryczna DFR, olej mineralny, ester syntetyczny.

1. WSTĘP

W ostatnich latach można było zaobserwować znaczący wzrost wykorzystania estrów jako izolacji ciekłej transformatorów energetycznych [1]. Estry, zarówno syntetyczne jak i naturalne, cechuje wiele pozytywnych cech (wysoka wytrzymałość elektryczna, wysoka graniczna rozpuszczalność wody, wysoka temperatura zapłonu, nietoksyczność, biodegradowalność, wydłużanie czasu życia izolacji celulozowej, bardzo dobra mieszalność z olejem mineralnym i inne). Ich największą wadą jest wciąż jeszcze stosunkowo wysoka cena – około pięciokrotnie wyższa niż oleju mineralnego.

W związku z zaletami estrów, w wielu krajach w eksploatowanych transformatorach energetycznych wymieniono olej mineralny na ester. W efekcie spowodowało to zmniejszenie zawilgocenia izolacji celulozowej tych transformatorów, przez co wzrosło ich bezpieczeństwo pożarowe i ekologiczne [1, 2].

Wymiana oleju mineralnego na ester w transformatorze nigdy nie będzie całkowita. Ilość pozostałej cieczy może zawierać się w przedziale 1,7-9,7% masowo [3], co utrudnia ocenę zawilgocenia izolacji celulozowej.

* Politechnika Poznańska

Analiza odpowiedzi dielektrycznej w dziedzinie częstotliwości (DFR) polega na pomiarze pojemności zespolonej C' i C'' lub strat dielektrycznych $tg\delta$ w zakresie częstotliwości od 10^{-4} do 10^3 Hz. Otrzymane wyniki pomiarów zestawia się następnie z charakterystykami wzorcowymi odpowiedzi dielektrycznej próbek modelowych o dokładnie znanej temperaturze i zawilgoceniu [4, 5].

2. CEL BADAŃ

Celem przeprowadzonych prac było zbadanie wpływu pozostałości oleju mineralnego w estrze syntetycznym na odpowiedź dielektryczną układu izolacyjnego transformatora. Wiedza o tym umożliwia bardziej precyzyjne ustalenie poziomu zawilgocenia izolacji transformatora.

Badanie jest kontynuacją rozpoczętych prac nad wyznaczeniem maksymalnej zawartości oleju mineralnego w mieszaninie z estrem, umożliwiającą stosowanie „estrowych” charakterystyk wzorcowych do oceny zawilgocenia układu izolacyjnego [6].

W niniejszym artykule zaprezentowano odpowiedź dielektryczną próbek preszpanu zanurzonego w mieszaninie estru syntetycznego i oleju mineralnego (ES 98,3% i OM 1,7%) dla trzech wartości temperatury: 35°C, 50°C i 70°C.

3. OBIEKT BADAŃ

Badania przeprowadzono na próbkach preszpanu o gęstości $1,2 \text{ g/cm}^3$, czystego oleju mineralnego, czystego estru syntetycznego oraz mieszaniny estru syntetycznego i oleju mineralnego (ES 98,3% i OM 1,7%).

Badania rozpoczęto od przygotowania próbek preszpanu i cieczy elektroizolacyjnych. próbki najpierw poddano procesowi suszenia w komorze próżniowej, następnie kondycjonowano je w komorze klimatycznej, w której panowała stała temperatura (35°C, 50°C, 70°C) i wilgotność, aż do momentu osiągnięcia przez nie zawilgocenia względnego na poziomie około 2,7%.

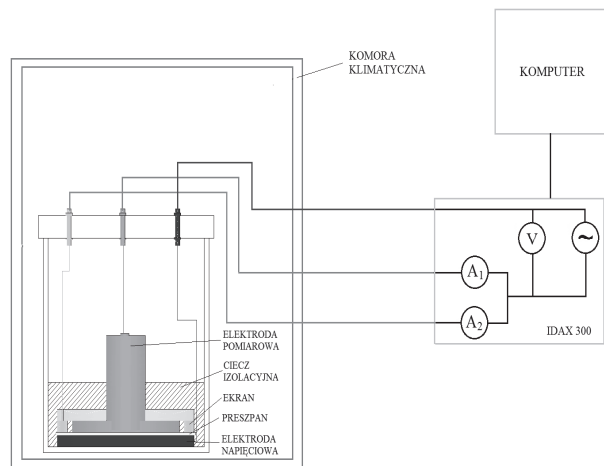
4. PROCEDURA BADAŃ

Badana próbka preszpanowa została umieszczona między elektrodami, w naczyniu napełnionym cieczą elektroizolacyjną. Naczynie podczas badania znajdowało się w komorze klimatycznej, w której panowała ustalona wilgotność i temperatura. Schemat systemu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1.

Prace badawcze realizowano zgodnie z następującą procedurą:

- przygotowanie próbek preszpanu i cieczy elektroizolacyjnych,
- kondycjonowanie próbek,
- umieszczenie próbki preszpanowej na stanowisku badawczym,

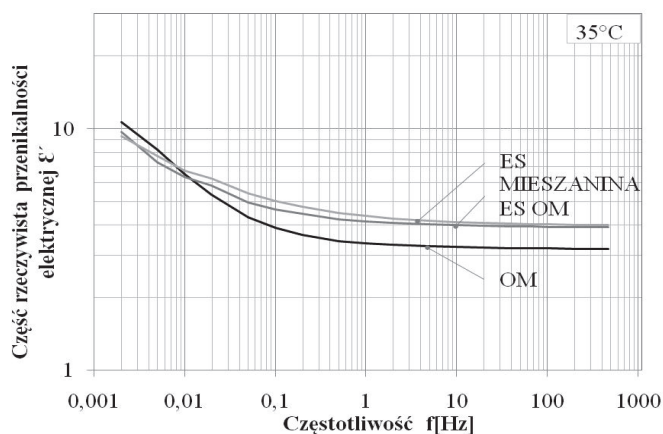
- zbadanie odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego preszpan - czysty olej mineralny,
- zbadanie odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego preszpan-mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego,
- zbadanie odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego preszpan-ester syntetyczny.



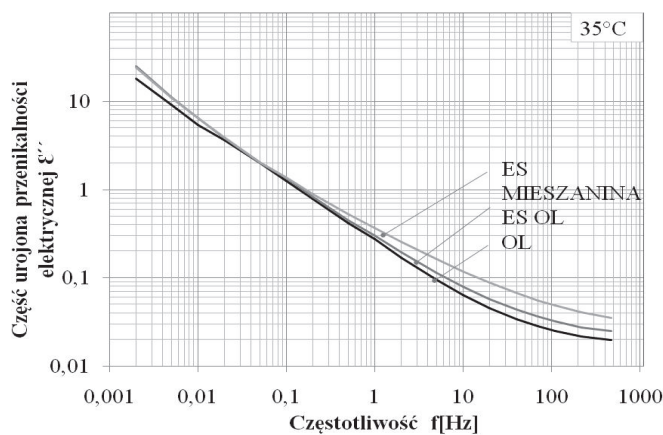
Rys. 1. Schemat systemu pomiarowego

5. WYNIKI BADAŃ

Na rysunkach 2 i 3 zestawiono odpowiedź dielektryczną układów izolacyjnych preszpan-ciecz elektroizolacyjna w temperaturze 35°C. Najmniejsze różnice w przebiegach między układem izolacyjnym preszpan-ester syntetyczny i układem preszpan-mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego, występują w przedziale częstotliwości od 0,001 Hz do 1000 Hz – dla części rzeczywistej przenikalności elektrycznej ϵ' , a także w przedziale częstotliwości od 0,001 do 1 Hz – dla części urojonej przenikalności elektrycznej ϵ'' . Natomiast największe różnice występują w przedziale częstotliwości od 1 Hz do 1000 Hz – dla części urojonej przenikalności elektrycznej ϵ'' .



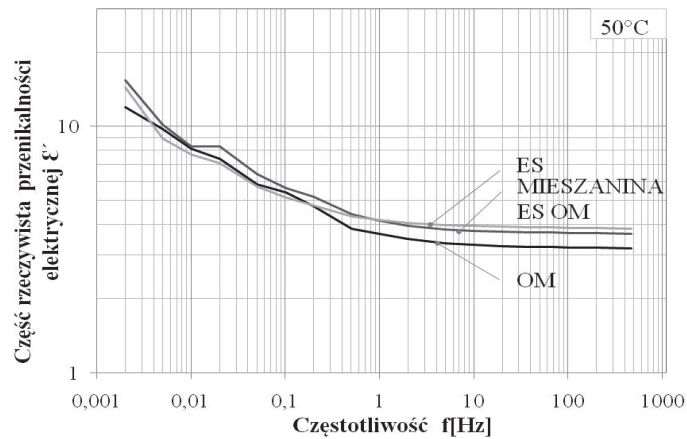
Rys. 2. Odpowiedź dielektryczna układów izolacyjnych preszpan-dielektryk ciekły w temperaturze 35°C – część rzeczywista ϵ'



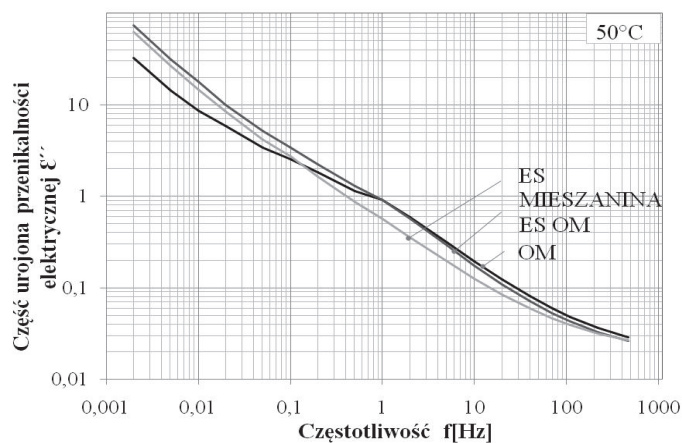
Rys. 3. Odpowiedź dielektryczna układów izolacyjnych preszpan-dielektryk ciekły w temperaturze 35°C – część urojona ϵ''

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono odpowiedź dielektryczną układów izolacyjnych preszpan-mieszanina cieczy elektroizolacyjnych w temperaturze 50°C.

Najmniejsze różnice pomiędzy odpowiedzią układu izolacyjnego preszpan-ester syntetyczny a układem preszpan-mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego występują w zakresie częstotliwości od 0,1 Hz do 1000 Hz – dla części rzeczywistej przenikalności elektrycznej ϵ' , oraz w zakresie częstotliwości od 0,001 Hz do 0,1 Hz – dla części urojonej przenikalności elektrycznej ϵ'' .

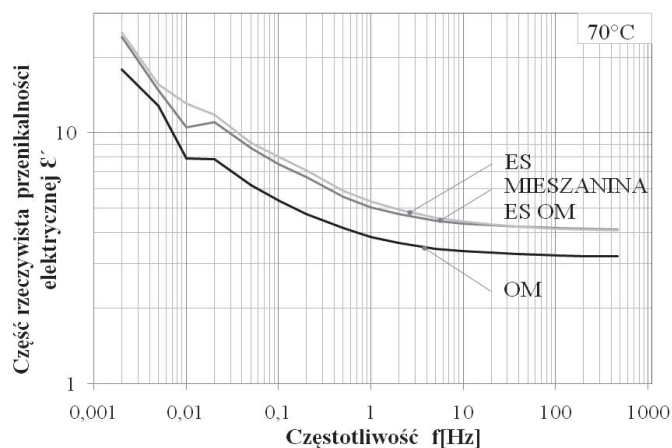


Rys. 4. Odpowiedź dielektryczna układów izolacyjnych preszpan-dielektryk ciekły w temperaturze 50°C – część rzeczywista ϵ'

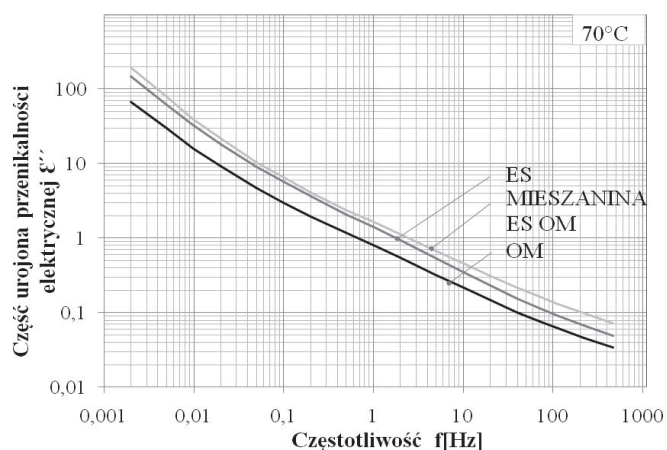


Rys. 5. Odpowiedź dielektryczna układów izolacyjnych preszpan-dielektryk ciekły w temperaturze 50°C – część urojona ϵ''

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono odpowiedź dielektryczną układów izolacyjnych preszpan-ciecz elektroizolacyjna w temperaturze 70°C. Dokonując analizy wykresów widzimy, że najmniejsze różnice w przebiegach odpowiedzi dielektrycznej między układem izolacyjnym preszpan-ester syntetyczny, a układem preszpan-mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego występują dla częstotliwości od 0,001 Hz do 1000 Hz – zarówno dla części rzeczywistej przenikalności elektrycznej ϵ' , jak i części urojonej ϵ'' .



Rys. 6. Odpowiedź dielektryczna układów izolacyjnych preszpan-dielektryk ciekły w temperaturze 50°C – część rzeczywista ϵ'



Rys. 7. Odpowiedź dielektryczna układów izolacyjnych preszpan-dielektryk ciekły w temperaturze 50°C – część urojona ϵ''

Na podstawie charakterystyk wzorcowych, bazujących na wzorcach odpowiedzi dielektrycznej układu izolacyjnego, odpowiednio, celuloza-olej mineralny oraz celuloza-ester syntetyczny, dokonano oceny zawilgocenia badanych próbek. Wyniki analiz przedstawiono w tabelicy 1. Niewielka zawartość oleju mineralnego (1,7%) w mieszaninie z estrem syntetycznym ma bardzo niewielki wpływ (do 0,1 punktu procentowego) na wynik oceny zawilgocenia izolacji stałej transformatora, bazującej na wykorzystywaniu krzywych wzorcowych układu izolacyjnego celuloza-czysty ester. Prawidłowość ta została wykazana w zakresie temperatury od 35°C do 70°C

Tablica 1. Zawilgocenia układów izolacyjnych w temperaturze 35°C, 50°C i 70°C, wyznaczone na podstawie krzywych wzorcowych odpowiedzi dielektrycznej z użyciem programu IDAX 5.0.1691.

Rodzaj układu izolacyjnego	Zawilgocenie [%]		
	35°C	50°C	70°C
preszpan-olej mineralny	2,8	2,6	2,0
preszpan-mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego (98,3% ES i 1,7% OM)	2,8	2,5	2,1
preszpan-ester syntetyczny	2,7	2,5	2,1

6. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że dodatek oleju mineralnego do estru syntetycznego, na poziomie 1,7% masowo, powoduje niewielką zmianę odpowiedzi układu izolacyjnego preszpan-mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego, w odniesieniu do odpowiedzi układu izolacyjnego preszpan-czysty ester syntetyczny. W związku z tym oceny zawilgocenia układu izolacyjnego preszpan-mieszanina estru syntetycznego o niewielkim stężeniu oleju mineralnego, do 1,7%, można dokonywać z użyciem jedynie charakterystyk wzorcowych, wykonanych dla układu modelowego preszpan-czysty ester syntetyczny.

7. LITERATURA

- [1] CIGRE Brochure nr 436, Experiences in service with new insulating liquid, 2010.
- [2] MIDEL 7131 synthetic ester transformer fluid – Product guide, M&I Materials, www.midel.com z dnia 12.05.2016.
- [3] Fatyga P., Morańda H., Ocena składu procentowego mieszaniny oleju mineralnego i estru syntetycznego po wymianie oleju na ester w transformatorze energetycznym, Międzynarodowa konferencja transformatorowa Transformator'17, Toruń, 09-11.05.2017.
- [4] Morańda H., Koch M., Program do analizy odpowiedzi częstotliwościowej (FDS) dielektryków, Przegląd Elektrotechniczny – Konferencje, nr 1/2006.
- [5] Gielniak J. i Morańda H., Dynamika zawilgocenia izolacji transformatorów energetycznych w zależności od konstrukcji, Przegląd Elektrotechniczny, Nr 10 (2014).
- [6] Fatyga P., Morańda H., Odpowiedź dielektryczna w dziedzinie częstotliwości układu izolacyjnego celuloza - mieszanina estru syntetycznego i oleju mineralnego, Przegląd Elektrotechniczny Nr 10/2016.

**DIELECTRIC RESPONSE IN THE FREQUENCY DOMAIN
OF AN INSULATING SYSTEM PRESSBOARD-MIXTURE OF 98.3%
SYNTHETIC ESTER AND 1.7% MINERAL OIL AT SELECTED
TEMPERATURES**

One of the reasons determining the replacement of a synthetic ester in a mineral oil in transformer is the willingness to increase fire safety. However, this exchange will never be complete, resulting in a mixture of both liquids in the transformer tank. In this situation, the analysis of the dielectric response in the frequency domain (DFR) of the transformer insulation, to determine the moisture cellulose insulation, is difficult. This difficulty results from the fact that the DFR method is based on the cellulose insulation immersed in a pure dielectric response patterns, most often mineral oil or synthetic ester, not in their mixture.

(Received: 05.02.2018, revised: 02.03.2018)