

## **Sposób oznaczenia zawartości wilgoci w elementach stałych układu izolacji ciekło-stałej transformatorów energetycznych**

Przedmiotem wynalazku jest sposób oznaczenia zawartości wilgoci w elementach stałych układu izolacji ciekło-stałej, transformatorów energetycznych, wykorzystujący analizę zależności przenikalności dielektrycznej względnej.

Dotychczas z artykułu *T.V. Oommen*, „Moisture Equilibrium In Paper – Oil Systems”. Proceedings of the 16th Electrical/Electronics Insulation Conference, Chicago, October 3 – 6, 1983, znany jest sposób oznaczenia zawartości wilgoci w izolacji papierowo - olejowej transformatorów energetycznych na podstawie pomiaru temperatury oleju oraz oznaczenia zawartości wody w próbce oleju pobranej z transformatora energetycznego i oznaczenia zawartości wody w papierze za pomocą opracowanego przez *T.V. Oommen*'a nomogramu zamieszczonego w wyżej wymienionym artykule. W tym rozwiązaniu uzyskiwana jest niska dokładność oznaczenia zawartości wilgoci w izolacji papierowo – olejowej, która wynika z długiego czasu ustalenia równowagi termodynamicznej pomiędzy zawartością wilgoci w papierze i oleju oraz z faktu zmian rozpuszczalności wody w olejach zestarzonych.

Znane są również techniki oznaczania stopnia zawilgocenia izolacji transformatorów energetycznych z izolacją papierowo-olejową oparte na analizie procesów polaryzacyjnych. Są to metody FDS (frequency dielectric spectroscopy) oraz RVM (return voltage method). Metoda FDS posługuje się analizą częstotliwościowych zmian współczynnika

strat dielektrycznych  $\tan\delta$  oraz pojemności układu izolacyjnego z zastosowaniem modelu X-Y izolacji wg CIGRE, DIRANA, Dielectric Response Analysis and Moisture in Oil-Paper Dielectrics – OMICRON, L204, April 2011. Metoda RVM wykorzystuje pomiar napięcia powrotnego podczas wielokrotnego cyklu ładowania i rozładowywania układu izolacyjnego napięciem stałym. Opisana w artykułach:

- *Bognar A., Kalocsai L., Csepes G., Németh E., Schmidt J.: “Diagnostic Tests of High Voltage Oil-Paper Insulating Systems (In Particular Transformer Insulation) using DC Dielectrometrics”, CIGRE'90, Paris, France, 1990, 15/33–08.,*
- *Patsch R., Kouzmine O.: “Return Voltage Measurements – a good Tool for the Diagnosis of Paper-Oil-Insulations”, IEEE Power Tech, St. Petersburg, Russia, 27-30 June 2005, p.1-7. ,*
- *Saha, T.K., Zheng Tong Yao: “Experience with return voltage measurements for assessing insulation conditions in service-aged transformer”: IEEE Trans. on Power Delivery, vol.18, No 1, (2003), p. 128-135.*

W małym zakresie stosowana jest ponadto metoda PDC (polarization, depolarization currents) polegająca na analizie kształtu czasowych charakterystyk prądów ładowania i rozładowania. Opisana w artykułach:

- *Shayegani A.A., Hassan, O., Borsi H., Gockenbach. E., Mohseni, H.: “PDC measurement evaluation on oil-pressboard samples”: Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, (2004), 5-9 July 2004, Vol.1, p. 51 - 54 ,*

- *PDC-ANALYSER-1MOD, Determination of the moisture content in the pressboard and of the oil conductivity in power transformers*”, ALFF ENGINEERING, Switzerland, [www.alff-engineering.ch](http://www.alff-engineering.ch).

We wszystkich tych metodach zależności uzyskane z pomiarów procesów polaryzacyjnych porównywane są z krzywymi wzorcowymi otrzymanymi laboratoryjnie dla różnych temperatur zaimpregnowanej i zawilgoconej w różnym stopniu celulozy. Na tej podstawie oznacza się ilość wody w zgromadzonej izolacji. Praktyka stosowania tych sposobów wykazała, że w przypadkach izolacji zestarzonej, o bardzo dużym zawilgoceniu lub wykazującej brak równowagi termodynamicznej stężenia wilgoci w elementach stałych i cieczy izolująco-chłodzącej obserwuje się nadmierne błędy w oznaczeniu ilości wody zgromadzonej w preszpanie. Drugą wadą wymienionych powyżej metod wykorzystujących pomiary elektryczne jest długi czas pomiarów niezbędny do uzyskania parametrów izolacji, na podstawie których określany jest stopień zawilgocenia. Tak wyznaczenie charakterystyki metodą FDS wymaga czasu ok. 6h, natomiast metodami RVM oraz PDC również do 6h.

Istotą sposobu oznaczania zawartości wilgoci w elementach stałych układu izolacji ciekło-stałej transformatorów energetycznych, polegającego na pomiarze temperatury oraz przenikalności dielektrycznej względnej w funkcji częstotliwości izolacji ciekło stałej transformatorów energetycznych według wynalazku jest to, że odczytuje się przenikalność dielektryczną względną dla częstotliwości 1000 Hz, na podstawie której określa się wartość częstotliwości dla której przenikalność dielektryczna względna jest

o 1.4 razy większa, a następnie na podstawie uzyskanej wartości częstotliwości oznacza się, z charakterystyki odniesienia dla temperatury izolacji przy której dokonano pomiaru względnej przenikalności dielektrycznej, procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest znaczące skrócenie czasu potrzebnego do wykonania pomiaru, oraz uzyskanie jednoznacznego wyniku zawartości wilgoci w izolacji ciekło-stałej transformatorów na podstawie odczytu z charakterystyki odniesienia.

Sposób według wynalazku został przedstawiony na rysunku, który prezentuje charakterystyki odniesienia umożliwiające odczytanie zawartości wilgoci w izolacji ciekło-stałej transformatorów energetycznych dla różnych temperatur izolacji.

Przykład: Wykonano pomiar temperatury izolacji, której wartość wyniosła  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Następnie zmierzono przenikalność dielektryczną względną izolacji w funkcji częstotliwości. Po czym ze zmierzonych wartości odczytano jej wartość dla częstotliwość 1000 Hz, która wyniosła  $\epsilon = 4,88$ . Po pomnożeniu uzyskanej wartości razy 1.4 uzyskano wartość 6,83, częstotliwość dla której przenikalność dielektryczna względna osiąga wartości 6,83 wynosi  $f = 0,07 \text{ Hz}$ . Na podstawie pomiaru temperatury wybrano charakterystykę odniesienia dla  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Następnie na podstawie określonej częstotliwości  $f$  odczytano z wybranej charakterystyki odniesienia procentową zawartość wilgoci zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej, która wyniosła  $x = 3 \text{ \%}$  wagowe.