

Czujnik i sposób wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji
celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego

Przedmiotem wynalazku jest czujnik do wyznaczania zawilgocenia w
5 składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora
elektroenergetycznego i sposób wyznaczenia zawilgocenia w składowej stałej
izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego.

Dotychczas z artykułu T.V. Oommen, „Moisture Equilibrium In Paper – Oil
Systems”, Proceedings of the 16th Electrical/Electronics Insulation Conference,
10 Chicago, October 3–6, 1983, znany jest sposób oznaczenia zawartości wilgoci w
izolacji papierowo-olejowej izolatorów przepustowych na podstawie pomiaru
temperatury oleju oraz oznaczenia zawartości wody w próbce oleju pobranej
z izolatora przepustowego i oznaczenia zawartości wody w papierze za pomocą
nomogramu. W tym rozwiązaniu uzyskiwana jest niska dokładność oznaczenia
15 zawartości wilgoci w składowej celulozowej izolacji, 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 sposoby oznaczania stopnia zawilgocenia składowej
20 celulozowej izolacji izolatorów przepustowych z izolacją papierowo-olejową
oparte na analizie procesów polaryzacyjnych, zachodzących w układzie
szeregowo-równoległym izolacji transformatorów, składającej się z celulozy oraz
oleju izolacyjnego. Są to metody FDS – Frequency Dielectric Spectroscopy oraz
RVM – Return Voltage Method. Metoda FDS posługuje się analizą
25 częstotliwościowych zmian współczynnika strat dielektrycznych $\tan\delta$ oraz
pojemności układu izolacyjnego z zastosowaniem modelu X-Y izolacji według
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
30 układu izolacyjnego napięciem stałym. Opisana jest 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”, CI-GRE'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, która jest 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.

- We wszystkich tych metodach zależności uzyskane z pomiarów procesów polaryzacyjnych porównywane są z zależnościami wzorcowymi otrzymanymi laboratoryjnie dla zawilgoconej w różnym stopniu zaimpregnowanej celulozy oraz oleju izolacyjnego dla różnych temperatur izolacji. Na tej podstawie oznaczają 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. Układ izolacji transformatorów jest szeregowo-równoległy, składający się z celulozy oraz oleju izolacyjnego. Pod wpływem zmian temperatury zachodzi w nim wymiana wilgoci pomiędzy olejem a celulozą, co w sposób niekontrolowany wpływa na zmiany parametrów oleju izolacyjnego. W tym przypadku powstaje różnica pomiędzy

przebiegami wzorcowymi, określonymi metodami laboratoryjnymi a rzeczywistymi parametrami elektrycznymi oleju w badanym transformatorze. Przyczynia się to do powstawania dużych niepewności pomiędzy rzeczywistym a szacowanym poziomem zawilgocenia izolacji celulozowej. Metody

5 wykorzystujące pomiary elektryczne charakteryzują się długim czasem pomiarów niezbędnym do uzyskania parametrów izolacji, na podstawie których określany jest stopień zawilgocenia. Takie wyznaczenie charakterystyki metodą FDS w stosowanym do pomiarów zakresie częstotliwości od 0,0001 Hz do 5000 Hz wymaga czasu ok. 6 h, natomiast metodami RVM oraz PDC również do 6 h.

- 10 W polskim opisie patentowym nr PL231824 przedstawiono sposób określania zawartości wilgoci w elementach stałych układu izolacji ciekło-stałej izolatorów przepustowych, którego metoda polega na odczytaniu częstotliwości, dla której wartość tangensa kąta strat układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego jest równa 0,1 a następnie na podstawie uzyskanej
- 15 wartości częstotliwości oznacza się, z charakterystyki odniesienia dla temperatury izolacji, przy której dokonano pomiaru tangensa kąta strat, procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

- Tego typu rodzaj izolacji wykorzystywany jest również w transformatorach energetycznych. Znane są metody określania zawartości wilgoci w izolacji ciekło-stałej transformatorów energetycznych według polskich opisów patentowych.
- 20

- W polskim opisie patentowym nr PL231823 wykorzystuje się pomiary konduktancji układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego dla częstotliwości 0,001 Hz, pojemności dla częstotliwości 1000 Hz oraz temperatury izolacji ciekło-stałej transformatora energetycznego i na podstawie
- 25 wartości ilorazu uzyskanych konduktancji i pojemności oraz otrzymanej temperatury izolacji, określa się procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej, którą odczytuje się z charakterystyki odniesienia.

- W polskim opisie patentowym nr PL231825 wykorzystuje się sposób
- 30 polegający na wyznaczeniu częstotliwości, dla której wartość tangensa kąta strat

układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego jest równa 0,1
a następnie na podstawie uzyskanej wartości częstotliwości oznacza się,
z charakterystyki odniesienia dla temperatury izolacji, przy której dokonano
pomiaru tangensa kąta strat, procentową zawartość wody zgromadzonej
5 w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

W polskim opisie patentowym nr PL231826 wykorzystuje się metodę
polegającą na odczytaniu przenikalności dielektrycznej względnej układu
szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego dla częstotliwości
1000 Hz, na podstawie której wyznacza się wartość częstotliwości, dla której
10 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.

15 W polskim opisie patentowym nr PL231882 wykorzystuje się metodę
polegającą na pomiarze konduktancji przy prądzie stałym oraz pojemności układu
szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego dla częstotliwości
1000 Hz oraz temperatury izolacji ciekło-stałej transformatora energetycznego i
na podstawie wartości ilorazu uzyskanych konduktancji i pojemności oraz
20 temperatury izolacji, określa się procentową zawartość wody zgromadzonej
w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej, którą odczytuje się z
charakterystyki odniesienia.

W polskim opisie patentowym nr PL234947B1 wykorzystuje się metodę
polegającą na pomiarze temperatury oraz pojemności elektrycznej w funkcji
25 częstotliwości układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego
izolacji ciekło-stałej izolatorów przepustowych poprzez odczytanie pojemności
elektrycznej dla częstotliwości 1000 Hz, na podstawie której wyznacza się
wartość częstotliwości dla której pojemność elektryczna jest o 1,3 razy większa,
a następnie na podstawie uzyskanej wartości częstotliwości odczytuje się,
30 z charakterystyki odniesienia wyznaczonych dla izolatora przepustowego dla

temperatury izolacji przy której dokonuje się pomiaru pojemności elektrycznej, procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

W polskim opisie patentowym nr PL423879 wykorzystuje się metodę polegającą na pomiarze konduktancji przy prądzie stałym, pojemności dla częstotliwości 1000 Hz oraz temperatury układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego izolacji ciekło-stałej transformatora energetycznego, a następnie na podstawie wartości ilorazu konduktancji i pojemności oraz temperatury izolacji, określa się procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

W polskim opisie patentowym nr PL423881 wykorzystuje się metodę polegającą na pomiarze konduktancji przy prądzie przemiennym dla częstotliwości 0,001 Hz, pojemności dla częstotliwości 1000 Hz i temperatury układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego izolacji ciekło-stałej transformatora energetycznego, a następnie na podstawie wartości ilorazu konduktancji i pojemności oraz temperatury izolacji, określa się procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

W polskim opisie patentowym nr PL423882 wykorzystuje się metodę polegającą na pomiarze temperatury izolacji ciekło-stałej izolatora przepustowego oraz częstotliwości, dla której wartość tangensa kąta strat układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego jest równa 0,1 a następnie na podstawie uzyskanej wartości częstotliwości, uwzględniając charakterystykę odniesienia dla temperatury izolacji ciekło-stałej izolatora przepustowego, oznacza się procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

W polskim opisie patentowym nr PL423883 wykorzystuje się metodę polegającą na pomiarze temperatury izolacji ciekło-stałej transformatora energetycznego oraz częstotliwości, dla której wartość tangensa kąta strat układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego jest równa 0,1 a

następnie na podstawie uzyskanej wartości częstotliwości, uwzględniając charakterystykę odniesienia dla temperatury izolacji ciekło-stałej transformatora, oznacza się procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

- 5 W polskim opisie patentowym nr PL423883 wykorzystuje się metodę polegającą na pomiarze temperatury izolacji ciekło-stałej transformatora energetycznego oraz przenikalności dielektrycznej względnej układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego dla częstotliwości 1000 Hz, na podstawie której określa się wartość częstotliwości dla której przenikalność
- 10 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.
- 15 W polskim opisie patentowym nr PL430337 wykorzystuje się metodę polegającą na pomiarze temperatury izolacji ciekło-stałej izolatora przepustowego oraz pojemności elektrycznej układu szeregowo-równoległego celulozy oraz oleju izolacyjnego dla częstotliwości 1000 Hz, na podstawie której określa się wartość
- 20 częstotliwości dla której pojemność elektryczna jest o 1,3 razy większa, a następnie na podstawie uzyskanej wartości częstotliwości wyznacza się, z charakterystyki odniesienia wyznaczonych dla izolatora przepustowego dla temperatury izolacji przy której dokonano pomiaru pojemności elektrycznej, procentową zawartość wody zgromadzonej w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.
- 25 Celem wynalazku jest opracowanie szybkiego i dokładnego sposobu wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego.
- Istotą czujnika do wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego posiadającego
- 30 przewód napięciowy, przewód pomiarowy i czujnik temperatury, według

wynalazku, jest to, że składa się z obudowy górnej w kształcie walca i obudowy dolnej w kształcie walca, pomiędzy którymi znajduje się izolator. Wewnątrz izolatora znajduje się elektroda napięciowa, pod którą znajduje się płytką preszpanu o grubości 1 mm. Pod płytką preszpanu znajduje się układ składający się z elektrody pomiarowej i elektrody ochronnej. Na zewnętrznej części elektrody ochronnej zamocowany jest stały czujnik temperatury. Do elektrody napięciowej podłączony jest przewód napięciowy, a do elektrody pomiarowej podłączony jest przewód pomiarowy. W czujniku znajdują się cztery pary otworów w kształcie uciętych stożków.

- 10 Istotą sposobu wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego, według wynalazku, jest to, że wykonuje się pomiary temperatury czujnika oraz rezystancji dla częstotliwości 0,16 Hz poprzez odczyt z płytki preszpanu umieszczonej w czujniku zamontowanym w kadzi transformatora elektroenergetycznego.
- 15 Następnie na podstawie uzyskanej wartości rezystancji wyznacza się procentową zawartość wody zgromadzoną w objętości elementów stałych izolacji transformatora z charakterystyk odniesienia wyznaczonych dla czujnika dla temperatury, przy której dokonano pomiaru rezystancji.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest znaczące skrócenie czasu potrzebnego do wykonania pomiaru oraz uzyskanie jednoznacznego wyniku zawartości wilgoci w składowej celulozowej izolacji transformatora elektroenergetycznego na podstawie odczytu z charakterystyk odniesienia dla czujnika. Korzystnym skutkiem wynalazku jest wyeliminowanie z układu pomiarowego składowej olejowej oraz wpływu na wynik pomiaru niekontrolowanych zmian rezystancji składowej olejowej, co pozwala na zwiększenie dokładności określenia zawilgocenia celulozy.

Wynalazek został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia półwidok-półprzekrój czujnika, fig. 2 – widok z góry czujnika a fig. 3 – charakterystyki odniesienia dla zależności rezystancji w funkcji zawartości wilgoci dla temperatur od 20°C do 70°C.

Czujnik do wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego w przykładzie wykonania składa się z obudowy górnej 1a w kształcie walca o średnicy 260 mm i wysokości 10 mm i obudowy dolnej 1b w kształcie walca o średnicy 260 mm i wysokości 10 mm. Pomędzy obudową górną 1a, a obudową dolną 1b znajduje się izolator 2 o średnicy walca 260 mm i wysokości 45 mm. Wewnątrz izolatora 2 znajduje się elektroda napięciowa 3 o średnicy 180 mm i wysokości 15 mm, pod którą umieszczona jest płytką preszpanu 4 o grubości 1 mm i o średnicy 260 mm. Pod płytką preszpanu 4 znajduje się układ składający się z elektrody pomiarowej 5 w kształcie walca o średnicy 160 mm i wysokości 15 mm współosiowej z elektrodą ochronną 6 w postaci pierścienia o średnicy wewnętrznej 230 mm, średnicy zewnętrznej 260 mm i wysokości 15 mm. Na zewnętrznej części elektrody ochronnej 6 wywiercony jest otwór, w którym zamontowany jest na stałe czujnik temperatury 7. Do elektrody napięciowej 3 podłączony jest przewód napięciowy 8, natomiast do elektrody pomiarowej 5 podłączony jest przewód pomiarowy 9. W czujniku znajdują się cztery pary otworów 10 w kształcie uciętych stożków. Większe podstawy stożków znajdują się na zewnętrznych płaszczyznach obudowy górnej 1a i obudowy dolnej 1b, a mniejsze podstawy stożków znajdują się na powierzchni płytki preszpanu 4. Średnice stożków na zewnętrznych powierzchniach czujnika wynoszą po 82,5 mm. Średnice stożków w płaszczyznach stykających się z powierzchnią płytki preszpanu 4 wynoszą po 19 mm. Przez otwory 10 zawilgocony olej izolacyjny dostaje się do płytki preszpanu 4 w celu jej impregnacji i nawilżenia. Czujnik montuje się wewnątrz kadzi transformatora elektroenergetycznego, umieszczając go na jej bocznej ścianie. Przewody napięciowy 8, pomiarowy 9 oraz przewody czujnika temperatury 7 wyprowadza się na zewnątrz przez przepusty prądowe.

Sposób wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego z wykorzystaniem czujnika przedstawionego w przykładzie wykonania polegał na tym, że czujnik do wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej umieszczono na bocznej ścianie wewnątrz transformatora elektroenergetycznego. Przewody napięciowy 8, pomiarowy 9 oraz przewody czujnika temperatury 7 wyprowadzono na zewnątrz przez przepusty prądowe. Do przewodów napięciowego 8 oraz pomiarowego 9 podłączono miernik FDS – Dirana produkcji firmy Omicron, a do przewodów czujnika temperatury 7 podłączono cyfrowy miernik temperatury. Wykonano pomiary rezystancji dla częstotliwości 0,16 Hz, której wartość wyniosła $3 \times 10^9 \Omega$ i temperatury czujnika, której wartość wyniosła 50°C. Następnie na podstawie uzyskanej wartości rezystancji oraz temperatury czujnika odczytano z charakterystyk odniesienia procentową zawartość wody zgromadzonej w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego, która wyniosła $X=2,5\%$ wagowych.

POLITECHNIKA LUBELSKA
Biuro Rzecznika Patentowego
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
tel. +48 81 538 46 29, fax +48 81 538 41 70

RZECZNIK PATENTOWY

Patry
mgr Paulina Pater
Nr ew. 3571

Wykaz oznaczeń

- 1a – obudowa górna
- 1b – obudowa dolna
- 2 – izolator
- 3 – elektroda napięciowa
- 4 – płytka preszpanu
- 5 – elektroda pomiarowa
- 6 – elektroda ochronna
- 7 – czujnik temperatury
- 8 – przewód napięciowy
- 9 – przewód pomiarowy
- 10 – otwory