

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 244477 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **440244**

(22) Data zgłoszenia: **2022.01.27**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.07.25 BUP 30/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.01.29 WUP 05/2024**

(51) MKP:

G01N 27/02 (2006.01)

G01R 31/56 (2020.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

PAWEŁ ŻUKOWSKI, Lublin, PL

PRZEMYSŁAW ROGALSKI, Lublin, PL

TOMASZ KOŁTUNOWICZ, Lublin, PL

KONRAD KIERCZYŃSKI, Lublin, PL

VITALII BONDARIEV, Lublin, PL

PAWEŁ OKAL, Gałęzów, PL

MAREK ZENKER, Szczecin, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Paulina Pater, Lublin, PL

(54) Tytuł:

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

PL 244477 B1

Opis wynalazku

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

Układy izolacji zarówno przekładników prądowych, jak i transformatorów energetycznych zawierają składową stałą w postaci preszpanu impregnowanego olejem izolacyjnym oraz składową ciekłą w postaci oleju izolacyjnego. W trakcie wieloletniej eksploatacji wzrasta zawilgocenie izolacji, a wilgoć skupia się zarówno w preszpanie, jak i w oleju, zmieniając tym samym parametry stałe i zmiennoprądowe, zarówno całości układu izolacyjnego, jak i jego składowych – preszpanu oraz oleju. Przekroczenie poziomu zawilgocenia preszpanu powyżej 5% wag. może doprowadzić do awarii katastrofalnej. Wynika stąd konieczność monitorowania poziomu zawilgocenia preszpanu w trakcie wieloletniej eksploatacji urządzeń. W tym celu, ze względu na hermetyczną konstrukcję urządzeń, wykorzystywane są niszczące metody elektryczne.

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 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 używana jest niska dokładność oznaczenia 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 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 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 układu izolacyjnego napięciem stałym. Opisana jest w artykułach: Bogнар 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 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. 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 elektrycz-

nymi oleju w badanym transformatorze. Przyczynia się to do powstawania dużych niepewności pomiędzy rzeczywistym a szacowanym poziomem zawilgocenia izolacji celulozowej. Metody 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.

W polskim opisie patentowym nr PL231824B1 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 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.

W polskim opisie patentowym nr PL231823B1 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 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 PL231825B1 wykorzystuje się sposób 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 w objętości elementów stałych izolacji ciekło-stałej.

W polskim opisie patentowym nr PL231826B1 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 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.

W polskim opisie patentowym nr PL231822B1 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 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 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, 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.

Z międzynarodowego zgłoszenia patentowego nr WO2015155270A1 znane są sposób i urządzenie do pomiaru odpowiedzi dielektrycznej izolacji przekładnika prądowego w celu określenia temperatury tej izolacji i określenia zawartości wilgoci w izolacji w zależności od odpowiedzi dielektrycznej i temperatury.

W europejskim zgłoszeniu patentowym nr EP2026062A1 opisano sposób i urządzenie do określania wilgotności w izolacji transformatora. Sposób polega na pomiarze właściwości dielektrycznych izolacji. Nieskorygowaną wilgotność izolacji oraz przewodność cieczy zawartej w izolacji uzyskuje się z modelu izolacji, który jest dobierany w zależności od jednej z mierzonych właściwości dielektrycznych

izolacji. Zawartość wilgoci w izolacji koryguje się na podstawie przewodności. Natomiast urządzenie do określania wilgotności izolacji transformatora zawiera urządzenie pomiarowe do pomiaru co najmniej jednej właściwości dielektrycznej izolacji i jednostkę przetwarzającą. Jednostka przetwarzająca jest tak ukształtowana, że wyprowadza nieskorygowaną wilgotność izolacji i przewodność cieczy znajdującej się w izolacji na podstawie modelu izolacji, przez takie dobranie przez jednostkę nieskorygowanej wilgotności izolacji i przewodności cieczy jako parametry modelu, że wyprowadzona z modelu co najmniej jedna dielektryczna właściwość optymalnie odpowiada zmierzonej co najmniej jednej dielektrycznej właściwości izolacji.

Z międzynarodowego zgłoszenia patentowego nr WO2017091966A1 znany jest inteligentny sposób oceny stanu izolacji głównej transformatora o izolacji papierowo-olejowej. Sposób ten obejmuje ustalenie co najmniej jednego stanu standardowego, przy czym dla każdego stanu standardowego wykonuje się testy przyspieszonego starzenia termicznego na wielu próbkach w celu wprowadzenia próbek do stanu standardowego. Każda z wielu próbek poddawana jest testom przyspieszonego starzenia termicznego przez różne okresy czasu. Następnie wyodrębnia się charakterystyczne parametry w dziedzinie czasu i częstotliwości z każdej z wielu próbek i tworzy się wektor cech przy użyciu parametrów charakterystycznych w dziedzinie czasu i częstotliwości każdej próbki oraz tworzy się bazę wiedzy z wektorów cech wszystkich próbek. Kolejnym etapem jest uczenie klasyfikatora z wykorzystaniem wektorów cech bazy wiedzy oraz ocena głównego stanu izolacji za pomocą przeszkolonego klasyfikatora.

W niemieckim zgłoszeniu patentowym nr DE10013001A1 opisano sposób oznaczania zawartości wilgoci w układach izolacyjnych ciecz-papier, na przykład transformatorów, poprzez elektroniczne monitorowanie zmian pojemności i przewodności. Sposób polega na elektronicznym monitorowaniu zmiany pojemności i/lub przewodności papieru wynikającej ze zmiany jego zawartości wilgoci. Czujnik można zintegrować z istniejącym systemem monitorowania. Pomiaru te można wykorzystać także do diagnozowania stanu i starzenia się izolacji.

Z europejskiego zgłoszenia patentowego nr EP2746757A1 znane są sposób i urządzenie do oznaczania wilgotności i suszenia izolacji. Sposób ten polega na pomiarze odpowiedzi dielektrycznej izolacji papierowo-olejowej. Na tej podstawie określa się zawartość wilgoci w izolacji. Na podstawie odpowiedzi wyznaczana jest informacja pokazująca wpływ geometrii izolacji na odpowiedź. Wilgotność preszpanu określa się na podstawie zawartości wilgoci w izolacji i podanych informacji. Wilgotność izolacji określa się jako wilgotność preszpanu, jeśli informacje z kolejnych pomiarów odpowiedzi wykazują stały wpływ geometrii na odpowiedź.

Izolacja urządzeń jest skomplikowanym układem szeregowo-równoległym składającym się z preszpanu oraz oleju izolacyjnego. W związku z tym do interpretacji wyników pomiarów urządzeń i określenia na ich podstawie zawartości wilgoci w preszpanie należy posiadać informacje o parametrach elektrycznych obydwu składowych izolacji. Parametry elektryczne preszpanu zależą od temperatury, wymiarów geometrycznych oraz zawartości wilgoci i mogą zostać określone na podstawie badań laboratoryjnych. Parametry elektryczne oleju również zależą od temperatury i zawartości wilgoci oraz od nieznannej przed wykonaniem pomiarów zawartości wilgoci w preszpanie. Dodatkowo zależą one od tego, czy został osiągnięty stan równowagi termodynamicznej pomiędzy preszpanem, olejem a wilgocią. Osiągnięcie tego stanu wymaga stabilizacji temperatury urządzenia w dłuższym okresie czasu, co jest praktycznie niemożliwe do uzyskania podczas diagnostyki urządzeń. Oznacza to, że dotychczasowe znane rozwiązania nie gwarantują dokładnego oznaczenia zawartości wilgoci w preszpanie.

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 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 na stałe 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.

Istotą sposobu wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego, według wynalazku, jest to, że wykonuje się pomiary temperatury czujnika oraz kąta przesunięcia fazowego dla częstotliwości 0,1 Hz poprzez odczyt z płytki preszpanu

umieszczonej w czujniku zamontowanym w kadzi transformatora elektroenergetycznego. Następnie na podstawie uzyskanej wartości kąta przesunięcia fazowego wyznacza się procentową zawartość wody zgromadzoną w objętości elementów stałych izolacji transformatora z charakterystyk odniesienia wyznaczonych dla czujnika dla temperatury, przy której dokonano pomiaru kąta przesunięcia fazowego.

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, a co za tym idzie wpływu na wynik pomiaru kąta przesunięcia fazowego parametrów elektrycznych oleju oraz ich niekontrolowanych zmian, co pozwala na zwiększenie dokładności określenia zawilgocenia celulozy. Wyeliminowanie wpływu oleju na mierzone parametry elektryczne jest możliwe dzięki temu, że czujnik zawiera jedynie preszpan i nie zawiera oleju. Ponadto, czujnik oraz sposób wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego są nierozłącznie związane ze sobą, ponieważ mierzone parametry elektryczne zależą od wymiarów geometrycznych czujnika, tj. pola powierzchni elektrody pomiarowej, grubości preszpanu oraz od zawartości wilgoci w preszpanie i temperatury. Kolejnym korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że eliminuje wpływ występowania bliżej nieokreślonej niepewności wyznaczenia zawartości wilgoci spowodowanej możliwymi odchyleniami od równowagi termodynamicznej pomiędzy celulozą, olejem a wilgocią, które występują w przypadku zastosowania dotychczas znanych ze stanu techniki rozwiązań.

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 kąta przesunięcia fazowego 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. Między 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 płytka preszpanu 4 o grubości 1 mm i o średnicy 260 mm. Pod płytą 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 kąta przesunięcia fazowego dla częstotliwości 0,1 Hz, którego wartość wyniosła -63° i temperatury czujnika, której wartość wyniosła 50°C. Następnie na podstawie uzyskanej wartości kąta przesunięcia fazowego 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.

Zastrzeżenia patentowe

1. Czujnik do wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego posiadający przewód napięciowy, przewód pomiarowy i czujnik temperatury **znamienny tym**, że składa się z obudowy górnej (1a) w kształcie walca i obudowy dolnej (1b) w kształcie walca, pomiędzy którymi znajduje się izolator (2), wewnątrz którego znajduje się elektroda napięciowa (3), pod którą znajduje się płytką preszpanu (4) o grubości 1 mm, zaś pod płytką preszpanu (4) znajduje się układ składający się z elektrody pomiarowej (5) i elektrody ochronnej (6), przy czym na zewnętrznej części elektrody ochronnej (6) zamocowany jest na stałe czujnik temperatury (7), zaś do elektrody napięciowej (3) podłączony jest przewód napięciowy (8), a do elektrody pomiarowej (5) podłączony jest przewód pomiarowy (9), przy czym w czujniku znajdują się cztery pary otworów (10) w kształcie uciętych stożków.
2. Sposób wyznaczania zawilgocenia w składowej stałej izolacji celulozowo-olejowej transformatora elektroenergetycznego **znamienny tym**, że wykonuje się pomiary temperatury czujnika oraz kąta przesunięcia fazowego dla częstotliwości 0,1 Hz poprzez odczyt z płytki preszpanu (4) umieszczonej w czujniku zamontowanym w kadzi transformatora elektroenergetycznego, a następnie na podstawie uzyskanej wartości kąta przesunięcia fazowego wyznacza się procentową zawartość wody zgromadzoną w objętości elementów stałych izolacji transformatora z charakterystyk odniesienia wyznaczonych dla czujnika dla temperatury, przy której dokonano pomiaru kąta przesunięcia fazowego.

Rysunki

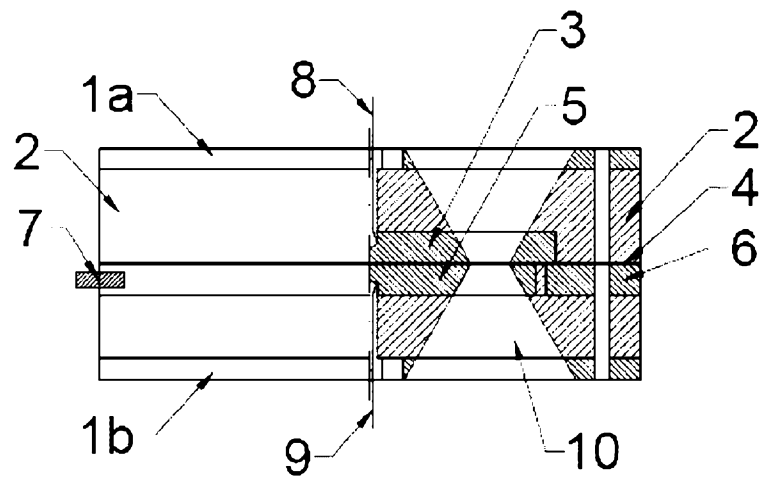


Fig. 1

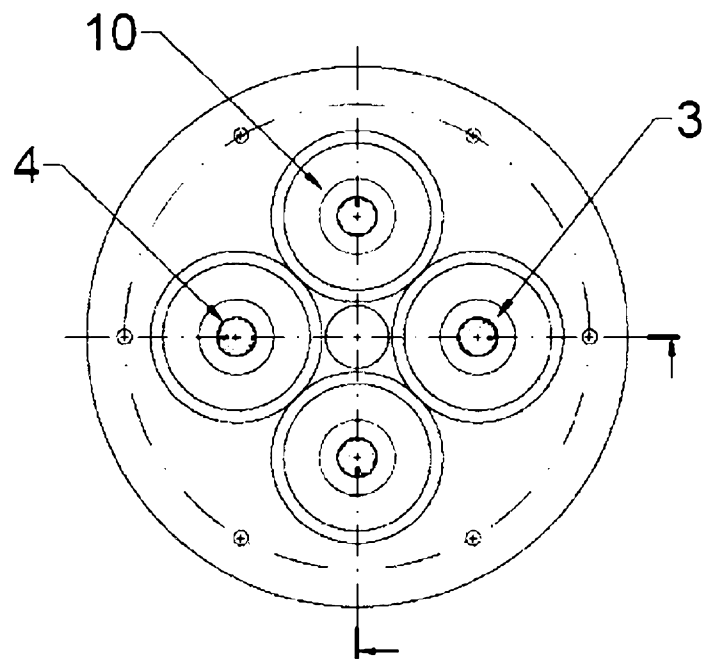


Fig. 2

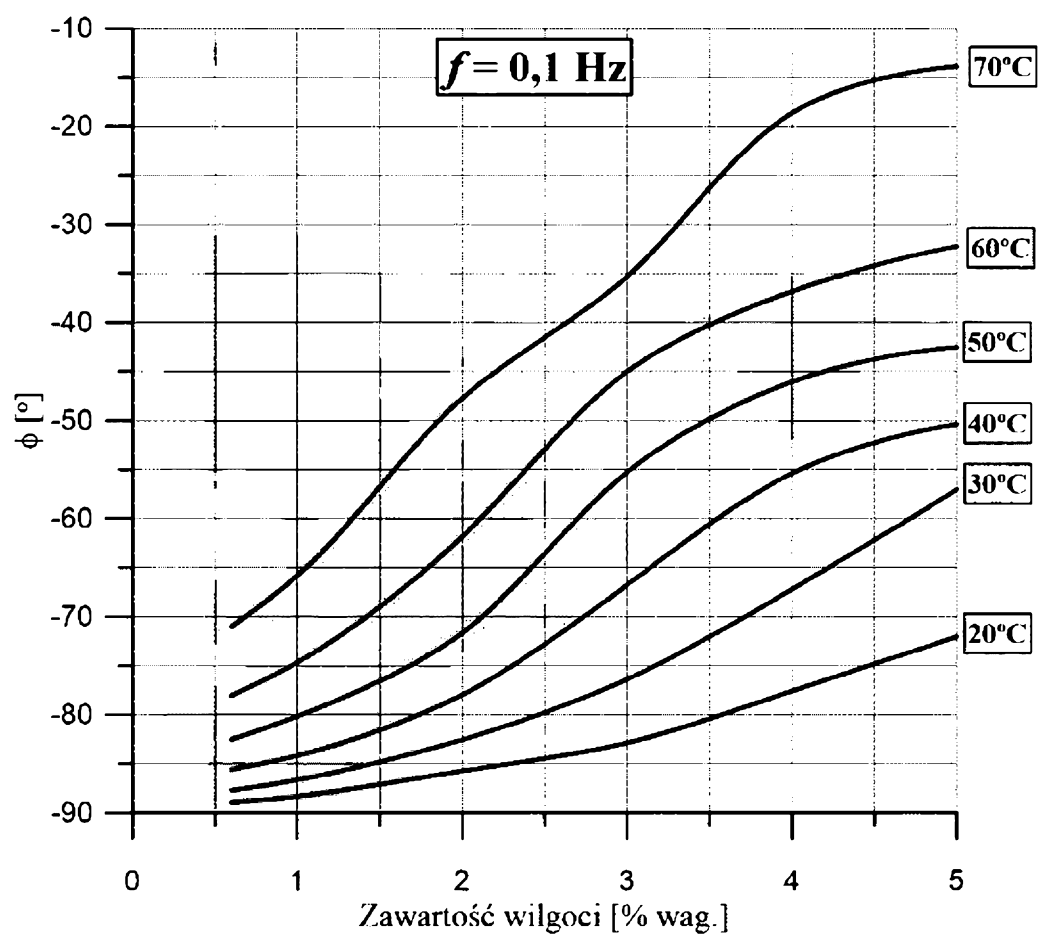


Fig. 3