

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 246382 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438477**

(22) Data zgłoszenia: **2021.07.14**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.02.14 BUP 07/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.01.13 WUP 02/2025**

(51) MKP:

**G01R 31/12** (2020.01)

**G01N 30/00** (2006.01)

**G01R 31/34** (2020.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ –  
GÓRNOŚLĄSKI INSTYTUT  
TECHNOLOGICZNY, Gliwice, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**TADEUSZ GLINKA, Gliwice, PL  
ARTUR POLAK, Bytom, PL  
TOMASZ JAREK, Mikołów, PL**

(54) Tytuł:

**Analizator wyładowań niepełnych i sposób diagnozowania izolacji uzwojeń transformatorów i maszyn elektrycznych**

**PL 246382 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest zastosowanie analizatora wyładowań niepełnych w izolacji uzwojeń transformatorów i maszyn elektrycznych dużych i średnich mocy oraz sposób diagnozowania izolacji uzwojeń bazujący na pomiarze analizatorem intensywności wyładowań niepełnych.

Wyładowania niepełne w izolacji uzwojeń są przyczyną w dużym stopniu awarii transformatorów i maszyn elektrycznych wysokonapięciowych. Wysokonapięciowa izolacja uzwojenia jest wielowarstwowa. Czas pracy, temperatura i drgania powodują, że izolacja rozwarstwa się, między warstwami izolacji powstają szczeliny powietrzna, a w nich zachodzą wyładowania niepełne. Następstwem wyładowań niepełnych jest postępująca elektroerozja, która degraduje izolację i w konsekwencji prowadzi do jej przebicia. Jedną z metod nadzoru nad stanem technicznym izolacji maszyn są badania wyładowań niepełnych. Intensywność wyładowań niepełnych jest parametrem pozwalającym oceniać stan techniczny izolacji eksploatowanej maszyny. Wzrost intensywności wyładowań niepełnych jest symptomem pogarszania się stanu izolacji prowadzący do jej przebicia.

Badanie wyładowań niepełnych w izolacji uzwojenia są prowadzone w czasie pracy maszyn, są to badania on-line. Wyładowania niepełne emitują fale elektromagnetyczne. Znane i stosowane sposoby bazują na antenach zainstalowanych wewnątrz transformatorów bądź maszyn elektrycznych, które odbierają fale elektromagnetyczne. Sygnały z anten są rejestrowane na aparaturze pomiarowej zainstalowanej na zewnątrz transformatora lub maszyny badanej. Metoda ta ma obszerną literaturę, jednak w praktyce okazuje się mało wiarygodna, gdyż sygnały pomiarowe są silnie zakłócone. Sygnały zakłócające, pochodzą z różnych źródeł i są kilkakrotnie większe od sygnału emitowanego przez wyładowania niepełne. Wyładowania elektryczne w powietrzu powodują wydzielanie się ozonu potwierdza to publikacja P. Yao, H. Zheng, X. S. Yao nad Z. Ding: „*A Method of Monitoring Partial Discharge in Switchgear Based on Ozone Concentration*”. IEEE Transactions on Plasma Science. Wykazano w niej, że pole elektryczne między izolacją i szczeliną powietrzną wzbudza wyładowania niepełne, które wytwarzają ozon. Artykuł nie przedstawia jednak rozwiązania aplikacyjnego dla celów diagnostycznych maszyn elektrycznych. Znany jest wzór użytkowy CN211043559U (China Yangtze Power Co.) *High-voltage electrical equipment partial discharge monitoring device based on ozone concentration*, który dotyczy monitorowania wyładowań niepełnych, na podstawie pomiaru stężenia ozonu w rozdzielniach wysokiego napięcia. Urządzenie ma budowę modułową. Moduły, z wyjątkiem bezdotykowego ekranu, są umieszczone w skrzynkach ochronnych zainstalowanych w strefie urządzeń elektrycznych wysokiego napięcia. Rozwiązanie przedstawione nie dotyczy transformatorów i maszyn elektrycznych. Znany jest patent KR20130035727A (Korea Electric Power Corp). *Partial Discharge Monitoring System* w którym przedstawiono rozwiązanie pobierania z silnika elektrycznego powietrza chłodzącego zawierającego ozon i dostarczanie go do analizatora stężenia ozonu, który jest poza silnikiem. Patent JP2021056050A (JFE STEEL CORP.[JPJ]). *Insulator deterioration diagnostic device and insulator deterioration diagnostic method for electric rotary machine* dotyczy maszyn elektrycznych. Przedstawiono w nim sposób cechowania układu pomiarowego w danej maszynie elektrycznej. W maszynie elektrycznej mierzone jest, metodą elektryczną, wyładowanie niepełne, a czujnikiem ozonu mierzony jest w powietrzu w maszynie jego stężenie. Wyniki pomiaru są przekazywane do przetwornika A/C i komputera. Wykazano, że związek między wyładowaniem niepełnym a stężeniem gazu jest liniowy. Jest to cechowanie układu pomiarowego jednej określonej maszyny elektrycznej.

Układ pomiarowy wyładowań niepełnych w przedstawionych rozwiązaniach jest rozproszony, bowiem składa się z oddzielnych modułów: zasilacza, czujnika stężenia ozonu, przetwornika A/C, mikroprzetwornika i monitora lub komputera. W miejscu pomiaru umieszczony jest tylko czujnik pomiaru stężenia ozonu.

Znane są także analizatory pomiaru stężenia ozonu w powietrzu. Analizatory takie oferują różne firmy w Internecie. Analizatory te są wykorzystywane do pomiaru stężenia ozonu w miejscu przebywania ludzi. Najwyższe dopuszczalne stężenie ozonu NDS w miejscu pracy ludzi jest podane w normie PN-Z-04007-2:1994 i wynosi  $0,15 \text{ mg/m}^3$ . Analizatory te, ze względu na wymiary i cenę, nie nadają się do pomiaru stężenia ozonu wewnątrz transformatorów i maszyn elektrycznych.

Celem wynalazku jest umieszczenie scalonego miniaturowego i taniego analizatora wyładowań niepełnych wewnątrz transformatora i maszynie elektrycznej bazującego na pomiarze stężenia ozonu i sposób diagnozowania izolacji poprzez ciągły pomiar stężenia wyładowań niepełnych i przesyłanie tej informacji do centrali diagnostycznej.

Według wynalazku analizator wyładowań niepełnych, w izolacji uzwojeń transformatorów i maszyn elektrycznych dużych i średnich mocy, jest układem scalonym w jeden zespół obejmujący elementy: czujnik ozonu MO, przetwornik analogowo-cyfrowy A/C, mikrokontroler  $\mu$ C, pamięć nieulotna PN i moduł zasilania MZ. Wyjście z czujnika ozonu jest połączone z przetwornikiem A/C, a ten jest połączony dwukierunkowo z mikrokontrolerem  $\mu$ C. Wyjście z mikrokontrolera  $\mu$ C jest połączone z pamięcią PN. Elementy analizatora: czujnik ozonu MO, przetwornik A/C, mikrokontroler  $\mu$ C i pamięć PN są zasilane napięciem z modułu MZ. Stan stężenia ozonu zapisany w pamięci PN analizatora jest przekazywany w komunikacji bezprzewodowej do centrali diagnostycznej w której jest zainstalowany komputer diagnostyczny i opcjonalnie sygnalizacja LED z kolorowymi paskami: zielonym – OK, żółtym – ostrzeżenie i czerwonym – alarm.

Sposób diagnozowania izolacji uzwojeń, transformatorów i maszyn elektrycznych, dużych i średnich mocy, analizatorem wyładowań niepełnych, według wynalazku polega na tym, że jeden lub kilka, analizatorów przymocowuje się do górnego jarzma transformatora suchego bądź do górnej wewnętrznej powierzchni kadzi transformatora olejowego, a w maszynach elektrycznych budowy zamkniętej do wewnętrznej powierzchni: tarczy łożyskowej, czół uzwojenia, kadłuba, bądź jarzma, korzystnie od strony wylotowej powietrza chłodzącego, natomiast w maszynach elektrycznych o budowie otwartej analizator zamocowuje się na wylocie powietrza chłodzącego. Po zainstalowaniu analizatora zapisuje się w pamięci nieulotnej tło stężenia ozonu w powietrzu i jest to próg bazowy P, a następnie skaluje się mikrokontroler  $\mu$ C. W czasie eksploatacji transformatora bądź maszyny elektrycznej analizator kontroluje stężenie ozonu i informacje przekazuje do centrali diagnostycznej. Wzrost stężenia ozonu do wartości  $P1 \leq 120\%$  progu bazowego jest stanem dopuszczalnym i w stacji diagnostycznej świeci się pasek zielony, wzrost stężenia ozonu w zakresie  $P2 = 121\% \div 200\%$  progu bazowego jest stanem zagrożonym i świeci się pasek żółty, wzrost stężenia ozonu powyżej wartości  $P2 > 200\%$  progu bazowego jest stanem alarmowym i świeci się pasek czerwony.

Przedmiot wynalazku jest zilustrowany w przykładzie rozwiązania na rysunkach na których przedstawiono: fig. 1 schemat blokowy scalonego analizatora dozymetrycznego, fig. 2 przekrój maszyny elektrycznej z umieszczonymi analizatorami pomiarowymi ozonu.

Analizator (1) wyładowań niepełnych w izolacji uzwojeń, transformatorów i maszyn elektrycznych dużych i średnich mocy, jest układem scalonym, jak na rysunku fig. 1. Analizator składa się z pięciu podzespołów: czujnika ozonu MO, przetwornika A/C, mikrokontrolera  $\mu$ C, pamięci nieulotnej PN i modułu zasilania MZ. Czujnik ozonu MO kontroluje stężenie ozonu w swoim otoczeniu. Wyjście z czujnika ozonu MO jest połączone z wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego A/C. Przetwornik A/C, jest połączony dwukierunkowo z mikrokontrolerem  $\mu$ C. Wyjście z mikrokontrolera  $\mu$ C jest połączone z pamięcią nieulotną PN. Elementy analizatora (1): MO, A/C,  $\mu$ C i PN są zasilane napięciem z modułu zasilania MZ. Stan stężenia ozonu zapisany w pamięci nieulotnej PN analizatora jest przekazywany w komunikacji bezprzewodowej do centrali diagnostycznej (2) w której jest zainstalowany komputer diagnostyczny KD i opcjonalnie sygnalizacja LED z kolorowymi paskami: zielonym – OK, żółtym – ostrzeżenie i czerwonym – alarm.

Sposób diagnozowania izolacji uzwojeń, transformatorów i maszyn elektrycznych dużych i średnich mocy, analizatorem (1) wyładowań niepełnych bazuje na zjawisku fizyczno-chemicznym, a mianowicie, że wyładowania elektryczne w powietrzu wytwarzają ozon. Wyładowania niepełne w izolacji są wyładowaniami elektrycznymi. Sposób diagnozowania wyładowań niepełnych polega na tym, że jeden lub kilka, analizatorów (1) przymocowuje w powietrzu wewnątrz transformatora bądź maszyny elektrycznej. W transformatorach olejowych analizator (1) przymocowuje się do górnej wewnętrznej powierzchni kadzi bądź pokrywy. W transformatorach suchych analizator (1) zamocowuje się do jarzma górnego. W maszynach elektrycznych budowy zamkniętej analizator (1) umieszcza się wewnątrz maszyny przymocowując go do czół uzwojenia (6) bądź do powierzchni wewnętrznej, np. tarczy łożyskowej (3), kadłuba (4), jarzma (5), korzystnie od strony wylotowej powietrza chłodzącego. W maszynach elektrycznych o budowie otwartej analizator (1) zamocowuje się na wylocie powietrza chłodzącego. Po zainstalowaniu analizatora (1) zapisuje się w pamięci nieulotnej PN tło stężenia ozonu w powietrzu i jest to próg bazowy P, a następnie skaluje się mikrokontroler  $\mu$ C. W czasie eksploatacji transformatora bądź maszyny elektrycznej analizator (1) kontroluje stężenie ozonu i informacje przekazuje do centrali diagnostycznej (2). Wzrost stężenia ozonu do wartości  $P1 \leq 120\%$  progu bazowego jest stanem dopuszczalnym i w stacji diagnostycznej (2) świeci się pasek zielony, wzrost stężenia ozonu w zakresie  $P2 = 121\% \div 200\%$  progu bazowego jest stanem zagrożonym i świeci się pasek żółty, wzrost stężenia ozonu powyżej wartości  $P2 > 200\%$  progu bazowego jest stanem alarmowym i świeci się pasek czerwony.

Zaletą scalonego analizatora (1) wyładowań niepełnych są miniaturowe wymiary. Analizator (1), jeden lub więcej, umieszcza się wewnątrz transformatora bądź maszyny elektrycznej. Na rysunku fig. 2 pokazano trzy analizatory (1) przymocowane do: tarczy łożyskowej (3), pakietu blach stojana (5) i czół uzwojenia stojana (6). Analiza ozonu jest prowadzona on-line i pozwala na wczesne stwierdzenie zachodzących niekorzystnych zmian w układzie izolacyjnym transformatora bądź maszyny elektrycznej. Diagnostyka izolacji uzwojenia, poprzez, analizę chromatograficzną ozonu w powietrzu, jest niewrażliwa na zakłócenia elektromagnetyczne.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Analizator wyładowań niepełnych w izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych i transformatorów, dużych i średnich mocy jest układem scalonym w jeden zespół obejmującym elementy: czujnik ozonu MO, przetwornik A/C, mikrokontroler  $\mu\text{C}$ , pamięć nieulotną PN i moduł zasilania MZ, **znamienny tym**, że wyjście z czujnika ozonu MO jest połączone z przetwornikiem A/C, który jest połączony dwukierunkowo z mikrokontrolerem  $\mu\text{C}$ , a wyjście z mikrokontrolera  $\mu\text{C}$  jest połączone z pamięcią nieulotną PN, przy czym elementy analizatora (1): MO, A/C,  $\mu\text{C}$ , PN są zasilane napięciem z modułu MZ.
2. Analizator według zastrz. 1, **znamienny tym**, że stan stężenia ozonu zapisany w pamięci nieulotnej PN jest przekazywany korzystnie w komunikacji bezprzewodowej do centrali diagnostycznej (2) w której jest zainstalowany komputer diagnostyczny KD bądź sygnalizacja LED z kolorowymi paskami: zielonym – OK, żółtym – ostrzeżenie i czerwonym – alarm.
3. Sposób diagnozowania izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych i transformatorów, dużych i średnich mocy analizatorem wyładowań niepełnych przedstawionym w zastrz. 1, **znamienny tym**, że analizator (1), jeden lub kilka, przymocowuje się w transformatorach olejowych do górnej wewnętrznej powierzchni kadzi lub pokrywy, a w transformatorach suchych do jarzma górnego, natomiast w maszynach elektrycznych budowy zamkniętej do czół uzwojenia (6) bądź do powierzchni wewnętrznej: tarczy łożyskowej (3), kadłuba (4), jarzma (5), korzystnie od strony wylotowej powietrza chłodzącego, a w maszynach elektrycznych o budowie otwartej analizator (1) zamocowuje się na wylocie powietrza chłodzącego.
4. Sposób według zastrz. 3, **znamienny tym**, że po zainstalowaniu analizatora (1) korzystnie zapisuje się w pamięci PN tło stężenia ozonu w powietrzu i jest to próg bazowy P, a następnie skaluje się mikrokontroler  $\mu\text{C}$ .
5. Sposób według zastrz. 3 i 4, **znamienny tym**, że w czasie eksploatacji transformatora bądź maszyny elektrycznej analizator (1) kontroluje stężenie ozonu i informacje przekazuje do centrali diagnostycznej (2), wzrost stężenia ozonu do wartości  $P1 \leq 120\%$  progu bazowego jest stanem dopuszczalnym i świeci się pasek zielony, wzrost stężenia ozonu w zakresie  $P2 = 121\% \div 200\%$  progu bazowego jest stanem zagrożonym i świeci się pasek żółty, wzrost stężenia ozonu powyżej wartości  $P2 > 200\%$  progu bazowego jest stanem alarmowym i świeci się pasek czerwony.

Rysunki

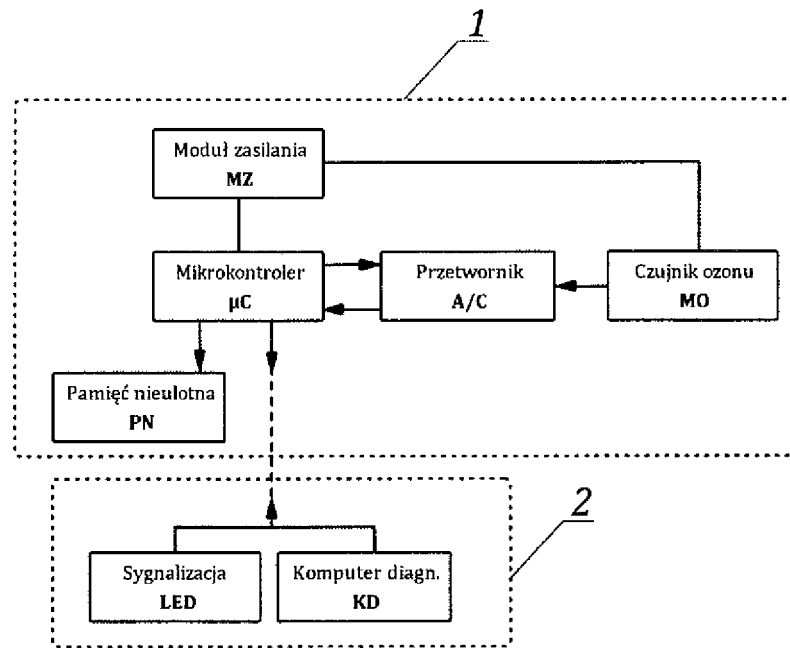


Fig. 1

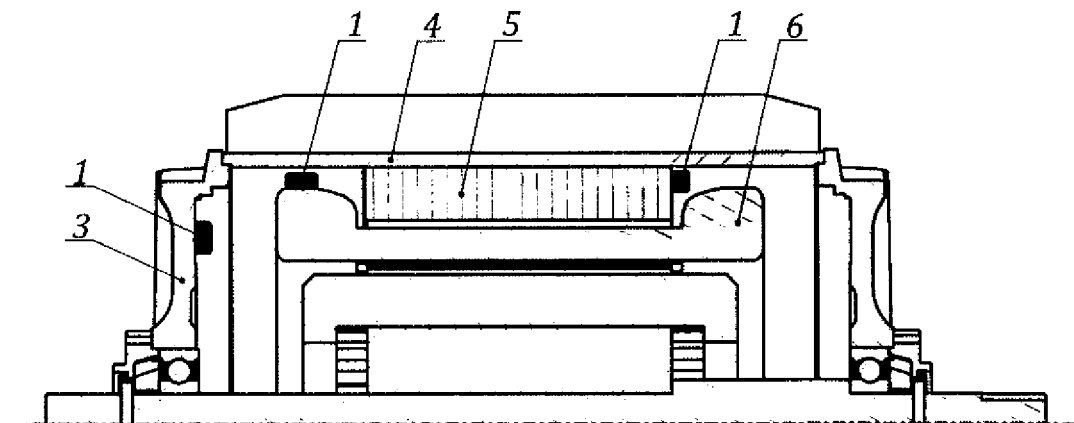


Fig. 2