

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235587**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **428945**

(51) Int.Cl.
G01R 31/14 (2006.01)
H01F 27/04 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **18.02.2019**

(54)

Układ do diagnostyki izolatorów przepustowych typu OPI

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

02.01.2020 BUP 01/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

07.09.2020 WUP 13/20

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ-INSTYTUT
NAPĘDÓW I MASZYN ELEKTRYCZNYCH
KOMEL, Katowice, PL
ETHOSENERGY POLAND SPÓŁKA AKCYJNA,
Lubliniec, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JAKUB BERNATT, Tychy, PL
TADEUSZ GLINKA, Gliwice, PL
MICHAŁ MNICH, Lubliniec, PL
MACIEJ WILK, Lubliniec, PL**

PL 235587 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ do diagnostyki izolatorów przepustowych typu OPI, które są stosowane w transformatorach energetycznych o napięciu 110 kV, 220 kV i 400 kV.

Izolatory przepustowe typu OPI mają izolację: papier nasycony olejem transformatorowym zabudowany w osłonie porcelanowej. W środkowej części osłony porcelanowej jest umieszczony żeliwny kołnierz do zamocowania izolatora na kadzi transformatora. Między warstwami papieru są umieszczone powierzchnie ekwipotencjalne, które wyrównują rozkład pola elektrycznego w warstwach papieru. Powierzchnie ekwipotencjalne tworzy folia aluminiowa bądź powierzchnia papieru pomalowana lakierem przewodzącym np. z domieszką proszku węgla. Liczba warstw papieru zależy od napięcia izolatora. W izolatorach na napięciu 400 kV liczba warstw wynosi około 60. W izolatorach na napięciu niższe liczba warstw jest odpowiednio mniejsza. Z pierwszej powierzchni ekwipotencjalnej, licząc od kołnierza, jest wyprowadzony punkt pomiarowy P. Punkt ten jest wykorzystywany w diagnostyce izolatora. Standardowo pomiary diagnostyczne są wykonywane off-line i on-line poprzez pomiar współczynnika stratności dielektrycznej $\text{tg}\delta_{\%} = \frac{I_R}{I_C} 100 = \frac{100}{\omega C_{iz} R_{iz}}$, gdzie I_R – jest składową czynną prądu upływu poprzez izolację, I_C – jest składową pojemnościową prądu upływu, R_{iz} jest rezystancją izolacji, a C_{iz} jest pojemnością, przy czym R_{iz} i C_{iz} są połączone równolegle. Jeśli spojrzeć na strukturę elektryczną izolatora, to widać, że izolator składa się z n pojemności połączonych szeregowo. Pojemność pierwszej warstwy, między punktem P i kołnierzem, wynosi C_{i1} . Pojemność wszystkich pozostałych warstw $(n - 1)$ połączonych szeregowo wynosi $C_{i2} \approx \frac{1}{n-1} C_{i1}$. Izolator na napięciu 400 kV ma długość kilka metrów i waży około 1200 kg. Proces degradacji izolacji rozpoczyna się między warstwami papieru zwykle w jednej z warstw środkowych. Jeśli w którejś z warstw znajdzie się pęcherzyk powietrza, to w nim powstają wyładowania niezupełne. Wyładowania te powodują w tym miejscu przegrzewanie i zwęglenie papieru. Z czasem „gniazdo” wypalonego papieru powiększa się. Zwęglona warstwa papieru powoduje zwarcie dwóch sąsiednich powierzchni ekwipotencjalnych i w dalszym ciągu się powiększa o kolejne warstwy. Skutkuje to zwarcie wewnętrzne w izolatorze. Jeśli zwarcie wystąpi w izolatorze na zewnątrz kadzi to wystąpi eksplozja izolatora, zniszczenie osłony porcelanowej, a odłamki porcelany uszkadzają sąsiednie izolatory. Jeżeli zwarcie wystąpi w izolatorze wewnątrz kadzi to eksplozja izolatora powoduje rozszczelnienie kadzi i pożar oleju transformatora.

Współczynnik $\text{tg}\delta_{\%} = \frac{I_R}{I_C} 100 = \frac{100}{\omega C_{iz} R_{iz}}$ dla dobrego izolatora i izolatora z „gniazdami” zwęglonymi jest taki sam, gdyż zwarcie sąsiednich warstw papieru powoduje zmniejszenie liczby warstw n aktywnych papieru: rezystancja $R_{iz} \downarrow$ zmniejsza się i wzrasta składowa czynna prądu $I_R \uparrow$. Zmniejszona liczba warstw izolacyjnych powoduje, w tym samym stopniu, wzrost pojemność $C_{iz} \uparrow$ i wzrost składowej pojemnościowej prądu $I_C \uparrow$, $\text{tg}\delta_{\%} \approx \text{const}$. Wykazano, że układy pomiarowe diagnostyki izolatorów przepustowych WN bazujące na pomiarze $\text{tg}\delta_{\%}$ nie są w stanie wykryć uszkodzeń wewnętrznych izolacji papierowej. Potrzebny jest bardziej czuły układ do diagnostyki izolatorów przepustowych.

Z patentu 3.710.242 znane jest urządzenie do pomiaru charakterystyki uszkodzenia izolatora przepustowego. Napięcie punktu pomiarowego (32) izolatora (fig. 1) jest przetwarzane we wzmacniaczu (48), a na potencjometrze (54) jest dopasowywane do zakresu pomiarowego miliamperomierza i dołączone jest na wejście pierwsze miliamperomierza (64). Na drugie wejście miliamperomierza (64) jest dołączony sygnał napięcia proporcjonalny do wysokiego napięcia izolatora. Napięcie to jest wzięte z przewodu (20) wyjściowego izolatora (10) i poprzez transformator (70) i potencjometr (62) jest dopasowane do zakresu pomiarowego miliamperomierza (64). W układzie tym są porównywane analogowe sygnały napięcia punktu pomiarowego i wysokiego napięcia. Układ jest złożony i podatny na zakłócenia, gdyż w pobliżu transformatora dużej mocy wysokiego napięcia jest pole elektromagnetyczne, sygnały analogowe wymagają dobrego ekranowania.

Znane jest także z patentu GB 1 316 015 A urządzenie do wykrywania uszkodzeń izolatorów przepustowych wysokiego napięcia, w którym napięcie punktu pomiarowego (29) izolatora (38) jest dołączone do wzmacniacza (30), a następnie przyłączone na pierwsze wejście (31) komparatora (32). Na drugie wejście (33) komparatora (30) jest podawane napięcie proporcjonalne do wysokiego napięcia izolatora (38). Napięcie to jest wzięte z pojemnościowego dzielnika napięcia (10, fig. 1) bądź z transformatora prądowego (37, fig. 2). Pojemnościowy dzielnik napięcia (10) wysokiego np. 400 kV jest urządzeniem drogim. Na transformatorze są zabudowane trzy izolatory WN, zatem do transforma-

tora należałoby dołączyć trzy dzielniki napięcia, natomiast transformator prądowy (37) nie ma potencjału proporcjonalnego do wysokiego napięcia izolatora.

Według wynalazku układ do diagnostyki izolatorów przepustowych wysokiego napięcia WN typu OPI bazuje na pomiarze napięcia U_P między punktem P pomiarowym izolatora i kołnierzem żeliwnym. Napięcie U_P jest przetworzone na napięcie U_S w przetworniku dopasowania poziomu sygnału PDS włączonym między punkt pomiarowy P i kołnierz. Sygnał analogowy napięcia U_S z przetwornika PDS jest dołączony na zaciski wejściowe komparatora napięcia KN. Na wejście progowe (referencyjne) komparatora KN jest dołączony sygnał analogowy napięcia U_R z przetwornika dopasowania napięcia referencyjnego PDNR, przy czym przetwornik PDNR ma na wejściu napięcie U_{ab} z przekładnika napięciowego transformatora, na którym jest zabudowany izolator WN. Wyjście cyfrowe U_d z komparatora KN jest sygnałem cyfrowym diagnostycznym izolatora WN. Drugim wariantem rozwiązania jest, że sygnały napięciowe U_S i U_R są połączone równolegle a w ich obwód jest włączony rezystor R_d wówczas napięcie ($U_d = U_S - U_R$) na rezystorze R_d jest sygnałem diagnostycznym analogowym.

Przetwornik dopasowania poziomu sygnału PDS składa się z transformatora T z zaczepami na uzwojeniu wtórnym i prostownika V, bądź rezystora ($R_1 + R_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z rezystora R_1 , a stosunek rezystancji spełnia warunek $\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{U_S}{U_P}$, lub kondensatora ($C_1 + C_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z kondensatora C_1 a stosunek pojemności spełnia warunek $\frac{C_2}{C_1+C_2} = \frac{U_S}{U_P}$.

Przetwornik dopasowania poziomu napięcia referencyjnego PDNR składa się z transformatora T z zaczepami na uzwojeniu wtórnym i prostownika V, bądź rezystora ($R_1 + R_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z rezystora R_1 , a stosunek rezystancji spełnia warunek $\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{U_S}{U_P}$, lub kondensatora ($C_1 + C_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z kondensatora C_1 a stosunek pojemności spełnia warunek $\frac{C_2}{C_1+C_2} = \frac{U_S}{U_P}$.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony na rysunkach, na których przedstawiono: fig. 1 – izolator przepustowy wysokiego napięcia, fig. 2 – fragment sieci elektroenergetycznej z transformatorem i przekładnikami napięciowymi, fig. 3 – schemat blokowy układu diagnostycznego z wyjściem cyfrowym, fig. 4 – schemat blokowy układu diagnostycznego z wyjściem analogowym, fig. 5 – transformatorowy układ dopasowania sygnału, fig. 6 – rezystancyjny układ dopasowania sygnału, fig. 7 – pojemnościowy układ dopasowania sygnału.

Izolator 1 wysokiego napięcia typu OPI, pokazany na rysunku fig. 1, ma złożoną budowę: na górze jest przyłącze 1.1 przewodów z transformatora Tr 2 i sieci elektroenergetycznej, następnie zbiornik 1.2 oleju, w środku jest rurka 1.6 aluminiowa przez którą jest przeprowadzony przewód z uzwojenia transformatora Tr 2 do przyłącza 1.1. Na rurce aluminiowej 1.6 jest nawiniętych n warstw papieru 1.4. Warstwy papieru 1.4 są rozdzielone powierzchniami ekwipotencjalnymi 1.5. Powierzchnie ekwipotencjalne są wykonane z folii aluminiowej bądź na papierze jest powłoka z węgla. Cały blok izolacji papierowej 1.4 jest umieszczony w osłonie porcelanowej 1.3. Osłona porcelanowa 1.3 jest dwuczęściowa: zewnętrzna i wewnętrzna. Te dwie części porcelany 1.3 łączy kołnierz żeliwny 1.8. Kołnierz 1.8 służy do zamocowania izolatora na kadzi. Część zewnętrzna porcelany 1.3 ma kapelusze, a część wewnętrzna jest gładka. Z punktu pomiarowego P pierwszej warstwy ekwipotencjalnej 1.5, licząc od kołnierza 1.8, jest wyprowadzony przewód pomiarowy 1.7.

Układ do diagnostyki izolatorów przepustowych wysokiego napięcia WN typu OPI bazuje na pomiarze napięcia U_P między punktem P pomiarowym izolatora 1 i kołnierzem 1.8 żeliwnym. Napięcie U_P jest przetworzone na napięcie U_S w przetworniku dopasowania poziomu sygnału PDS 4 włączonym między punkt pomiarowy P i kołnierz 1.8. Sygnał analogowy napięcia U_S z przetwornika PDS 4 jest dołączony na zaciski wejściowe komparatora napięcia KN 6. Na wejście progowe (referencyjne) komparatora 6 jest dołączony sygnał analogowy napięcia U_R z przetwornika dopasowania napięcia referencyjnego PDNR 5, przy czym przetwornik PDNR 5 ma na wejściu napięcie U_{ab} z przekładnika napięciowego 3 transformatora Tr 2, na którym jest zabudowany izolator WN 1. Komparator 6 porównuje sygnały analogowe napięcia U_S z napięciem referencyjnym U_R . Z komparatora KN 6 na wyjściu jest sygnał U_d cyfrowy. Sygnał U_d jest sygnałem diagnostycznym izolatora WN 1, jak to pokazano na rysunku fig. 3.

Drugim wariantem rozwiązania jest bezpośrednio porównanie napięć U_S i U_R . Sygnały analogowe napięć U_S i U_R połączone są przeciwsośnie poprzez rezystor R_d . Napięcie ($U_d = U_S - U_R$) na rezystorze R_d jest sygnałem diagnostycznym analogowym jak to pokazano na rysunku fig. 4.

Przetwornik dopasowania poziomu sygnału PDS 4 składa się z transformatora T z zaczeplami na uzwojeniu wtórnym i prostownika V, bądź rezystora ($R_1 + R_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z rezystora R_1 , a stosunek rezystancji spełnia warunek $\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{U_S}{U_P}$, lub kondensatora ($C_1 + C_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z kondensatora C_1 a stosunek pojemności spełnia warunek $\frac{C_2}{C_1+C_2} = \frac{U_S}{U_P}$.

Przetwornik dopasowania poziomu napięcia referencyjnego PDNR 5 składa się z transformatora T z zaczeplami na uzwojeniu wtórnym i prostownika V, bądź rezystora ($R_1 + R_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z rezystora R_1 , a stosunek rezystancji spełnia warunek $\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{U_S}{U_P}$, lub kondensatora ($C_1 + C_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z kondensatora C_1 a stosunek pojemności spełnia warunek $\frac{C_2}{C_1+C_2} = \frac{U_S}{U_P}$.

Napięcie punktu pomiarowego P jest równe $U_P = \frac{1}{n}U$, gdzie U jest napięciem na izolatorze. Jeśli jedna warstwa papieru będzie zwęglona, to znaczy dwie sąsiednie powierzchnie ekwipotencjalne będą zwarte, to napięcie punktu P wzrośnie do wartości $U'_P = \frac{1}{n-1}U$. Jeśli napięcie $U = 400$ kV i $n = 60$, to $U_P = 6,66$ kV, a $U'_P = 6,78$ kV. Wzrost napięcia wynosi 113 V itd. jak w tabeli:

Liczba zwartych warstw	1	2	3	4	5
$(U'_P - U_P)$ w [V]	113	230	351	476	606

Proces niszczenia warstw wewnętrznych izolacji trwa kilka, a może kilkanaście lat. Zwarcie w izolatorze występuje po uszkodzeniu wielu warstw papieru. Układ diagnostyczny według wynalazku bieżąco śledzi napięcie U_P punktu pomiarowego i napięcie U_{ab} transformatora Tr 2 i porównuje je, w ten sposób niezależnie sygnał diagnostyczny napięcia U_d od zmiany napięcia U transformatora Tr 2. Zmiana napięcia w punkcie P jest wystarczająco duża aby informować obsługę dyżurną o zagrożeniu wystąpienia zwarcia w izolatorze.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do diagnostyki izolatorów przepustowych wysokiego napięcia WN typu OPI bazuje na pomiarze napięcia U_P między punktem P pomiarowym izolatora i kołnierzem żeliwnym, napięcie U_P jest przetworzone na napięcie U_S w przetworniku dopasowania poziomu sygnału PDS włączonym między punkt pomiarowy P i kołnierz, sygnał analogowy napięcia U_S z przetwornika PDS jest dołączony na zaciski wejściowe komparatora napięcia KN, a na wejście progowe (referencyjne) komparatora jest dołączony sygnał analogowy napięcia U_R z przetwornika dopasowania napięcia referencyjnego PDNR, **znamienny tym**, że przetwornik PDNR (5) ma na wejściu napięcie U_{ab} z przekładnika napięciowego (3) transformatora Tr (2), na którym jest zabudowany izolator WN (1), wyjście cyfrowe U_d z komparatora KN (6) jest sygnałem cyfrowym diagnostycznym izolatora WN (1), bądź wariant drugiego w którym sygnały napięciowe U_S i U_R są połączone przeciwsobnie a w ich obwód jest włączony rezystor R_d wówczas napięcie ($U_d = U_S - U_R$) na rezystorze R_d jest sygnałem diagnostycznym analogowym.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przetwornik dopasowania poziomu sygnału PDS (4) składa się z transformatora T z zaczeplami na uzwojeniu wtórnym i prostownika V, bądź rezystora ($R_1 + R_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z rezystora R_1 , a stosunek rezystancji spełnia warunek $\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{U_S}{U_P}$, lub kondensatora ($C_1 + C_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z kondensatora C_1 a stosunek pojemności spełnia warunek $\frac{C_2}{C_1+C_2} = \frac{U_S}{U_P}$.
3. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przetwornik dopasowania poziomu napięcia referencyjnego PDNR (5) składa się z transformatora T z zaczeplami na uzwojeniu wtórnym i prostownika V, bądź rezystora ($R_1 + R_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest

dołączone napięcie z rezystora R_1 , a stosunek rezystancji spełnia warunek $\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{U_S}{U_P}$, lub kondensatora ($C_1 + C_2$) i prostownika V przy czym na prostownik V jest dołączone napięcie z kondensatora C_1 a stosunek pojemności spełnia warunek $\frac{C_2}{C_1+C_2} = \frac{U_S}{U_P}$.

Rysunki

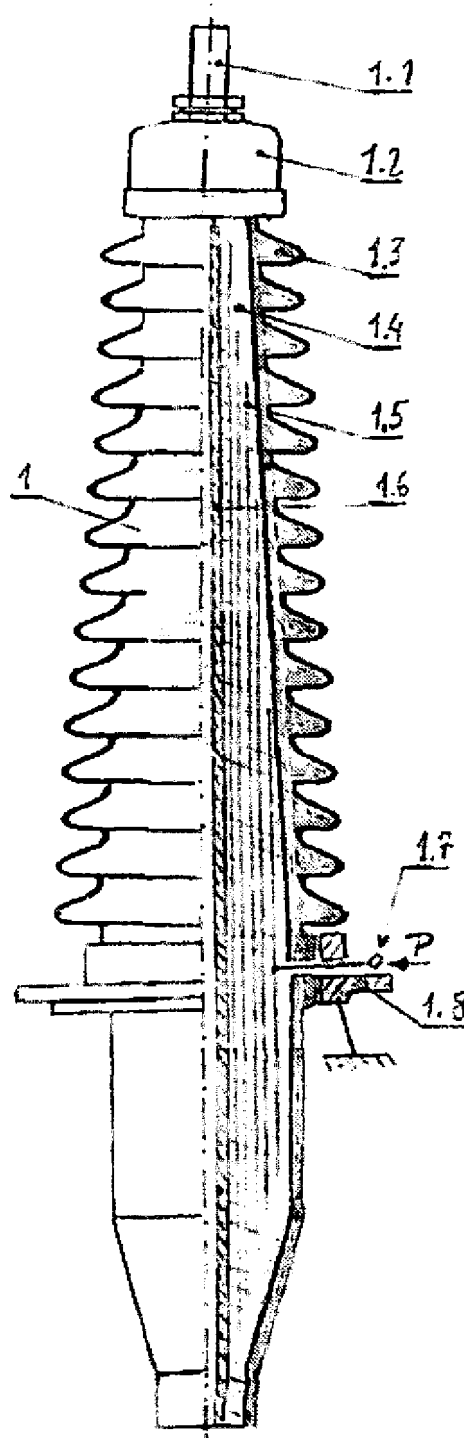


Fig. 1

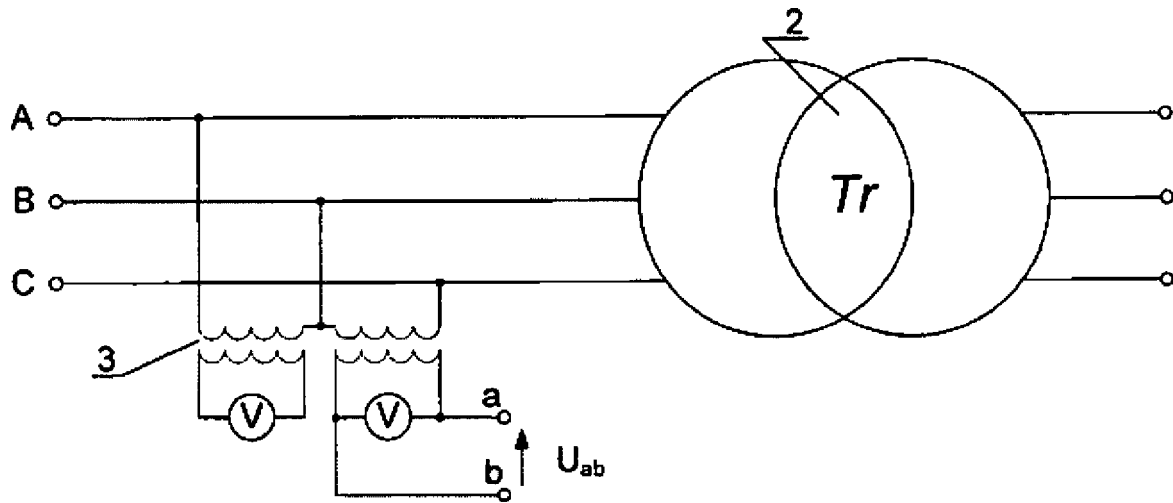


Fig. 2

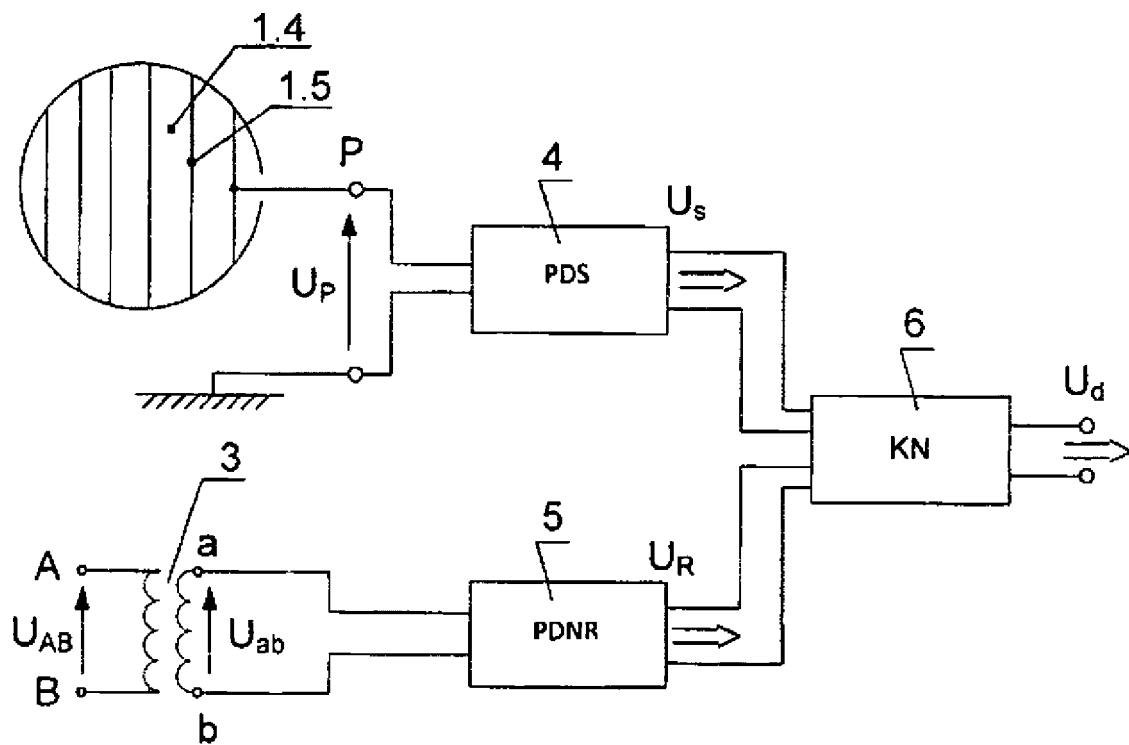


Fig. 3

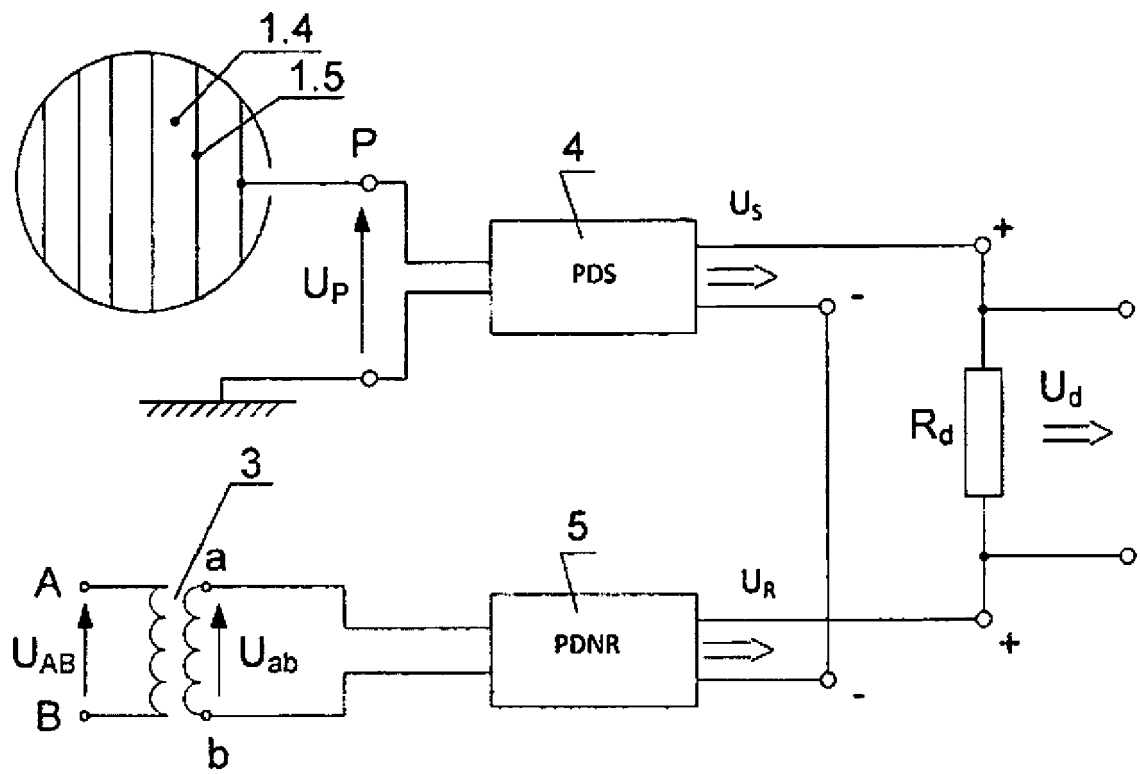


Fig. 4

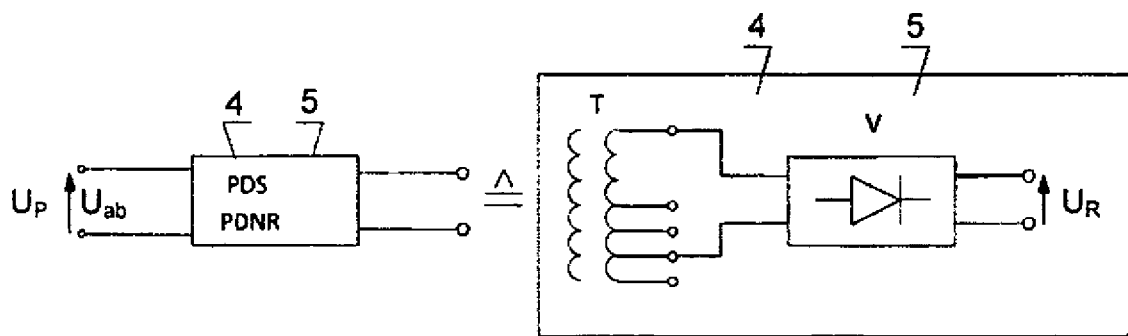


Fig. 5

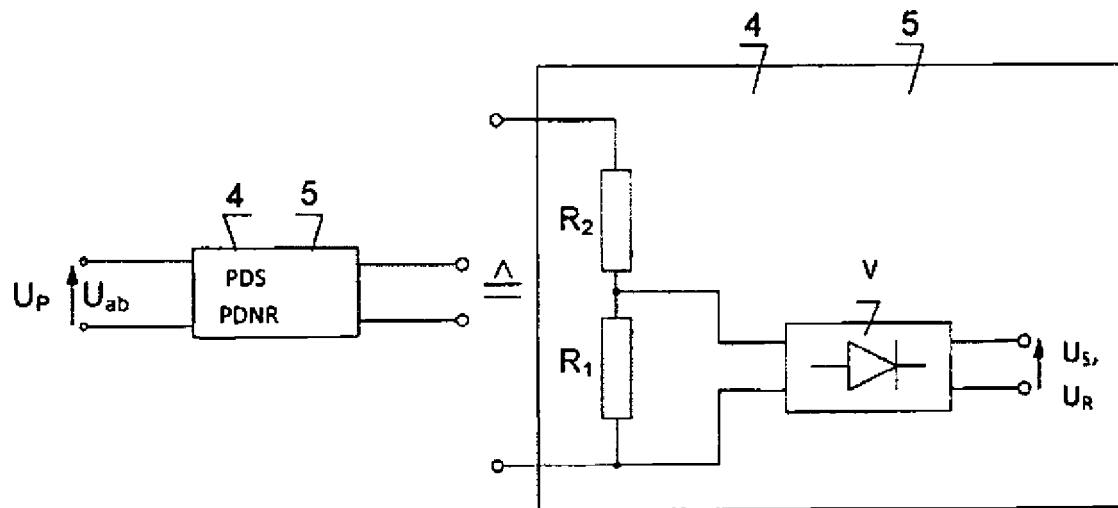


Fig. 6

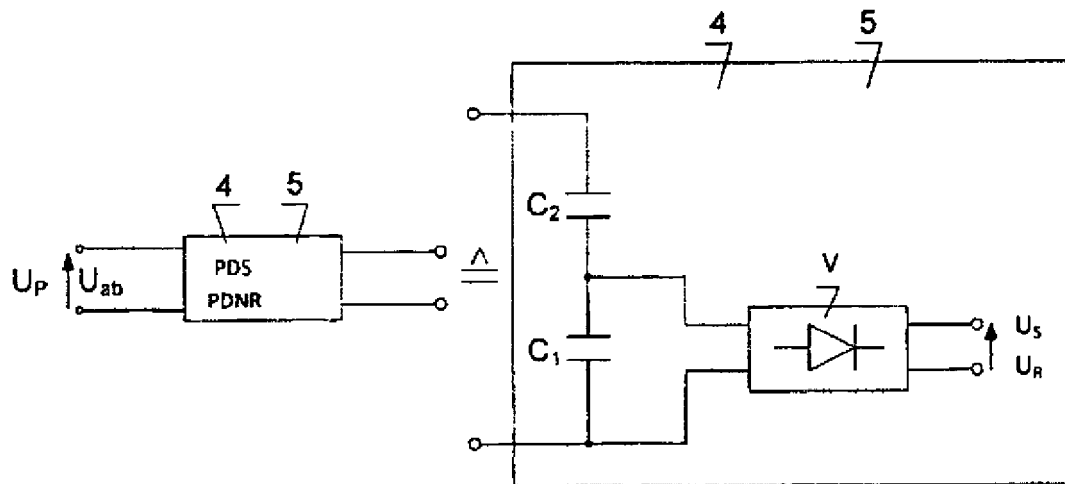


Fig. 7