

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 243362 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439759**

(22) Data zgłoszenia: **2021.12.06**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.05.09 BUP 19/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.08.14 WUP 33/2023**

(51) MKP:

**G01R 31/12 (2020.01)**

- 
- (73) Uprawniony z patentu:  
**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ –  
GÓRNOŚLĄSKI INSTYTUT  
TECHNOLOGICZNY, Gliwice, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:  
**JAKUB BERNATT, Tychy, PL  
STANISŁAW GAWRON, Tychy, PL  
TADEUSZ GLINKA, Gliwice, PL  
ARTUR POLAK, Bytom, PL**
- 

(54) Tytuł:

**Układ pomiarowy umożliwiający diagnostykę on-line izolatorów przepustowych**

**PL 243362 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ pomiarowy umożliwiający diagnostykę on-line izolatorów przepustowych wysokiego napięcia poprzez które są wprowadzone przewody z uzwojeń transformatora.

Izolatory przepustowe wysokiego napięcia WN są zabudowane na transformatorach blokowych i transformatorach rozdzielczych i są elementami transformatorów. Rdzeń izolacyjny jest papierowo-olejowy i składa się z  $n$  warstw papierowych nawiniętych na rurce metalowej. W standardowym wykonaniu każda warstwa izolacyjna ma kilka milimetrów grubości papieru nasyconego olejem transformatorowym. Między warstwami papieru są powierzchnie ekwipotencjalne, najczęściej folia aluminiowa. Liczba warstw papieru zależy od napięcia izolatora. W izolatorach na napięciu 400 kV liczba warstw wynosi około 60. Rdzeń izolacyjny jest umieszczony w osłonie porcelanowej. Na osłonie porcelanowej jest umieszczony kołnierz żeliwny K do zamocowania izolatora na kadzi transformatora. Z pierwszej powierzchni ekwipotencjalnej, licząc od kołnierza, jest wyprowadzony punkt pomiarowy P.

W stanie pracy transformatora na izolatorze jest napięcie fazowe  $U$  transformatora. Napięcie między punktem pomiarowym P i kołnierzem K jest odpowiednio niższe i wynosi  $U_p$ . Pomiar diagnostyczny on-line izolatorów bazują na napięciu  $U_p$ , a parametrem diagnostycznym on-line jest współczynnik stratności  $\operatorname{tg}\delta$ . Pomiar  $\operatorname{tg}\delta$  nie wskazuje poprawnie stanu technicznego rdzenia izolatora, gdyż kąt  $\delta$  nie jest mierzony między napięciem  $U$  na rdzeniu izolacyjnym i prądem upływu  $I_p$  izolatora. W izolatorach przepustowych o dobrym stanie technicznym współczynnik stratności  $\operatorname{tg}\delta \approx (0,1 \div 0,2) \cdot 10^{-2}$ , co odpowiada kątowi  $\delta$  kilkanaście minut. Ponadto przy zwarciu kilku warstw izolacyjnych pojemność układu izolacyjnego  $C$  wzrasta, a rezystancja  $R$  maleje,  $\operatorname{tg}\delta = \omega CR \approx \text{constans}$  (dla parametrów  $C$  i  $R$  połączonych szeregowo).

W publikacjach (np. Kazimierski M., Olech W.: Diagnostyka techniczna i monitoring transformatorów, Energopomiar-Elektryka Sp. z o.o., Gliwice 2013, ISBN 978-83-916040-5-2; Łukaszewski J.: Uszkodzenia izolatorów zagrożeniem dla transformatora i otoczenia, BOT Elektrownia Bełchatów, [www.igeos.pl/doc/2007/11/](http://www.igeos.pl/doc/2007/11/), 2015 r.) wykazano, że układy pomiarowe diagnostyki izolatorów przepustowych WN bazujące na pomiarze  $\operatorname{tg}\delta$  nie są w stanie wykryć uszkodzeń wewnętrznych izolacji papierowej.

Znane są także patenty: US 3.710.242 A, GB 1 316 015 A, PL 235587 układów do diagnostyki i wykrywania uszkodzeń izolatorów przepustowych wysokiego napięcia, bazują one bezpośrednio na pomiarze napięcia  $U_p$  i są także desygnowane do pomiarów on-line  $\operatorname{tg}\delta$  bądź prądu upływu  $I_p$  w czasie pracy transformatora.

W eksploatacji transformatorów blokowych i rozdzielczych istnieje problem kiedy wymienić izolatory WN. Większość transformatorów pracuje 30 i więcej lat. Właściciel transformatora powinien wiedzieć czy izolatory są dobre i nie stanowią zagrożenia pożarowego transformatora. Pomiar współczynnika  $\operatorname{tg}\delta$  nie są wiarygodną informacją. Ponadto pomiar jest robiony na napięciu  $U_p$ , które jest galwanicznie połączone, poprzez pojemność izolatora  $C$ , z wysokim napięciem  $U$  transformatora, co samo w sobie nie jest bezpieczne dla pomiarów on-line.

Celem wynalazku jest przedstawienie układu pomiarowego umożliwiającego diagnostykę on-line izolatorów przepustowych WN, aby izolatory z uszkodzoną izolacją papierowo-olejową nie stwarzały zagrożenia pożarowego transformatora, lecz mogły być odpowiednio wcześniej wymienione na nowe.

Układ pomiarowy umożliwiający diagnostykę on-line izolatorów przepustowych L1, L2, L3 transformatorów wysokiego napięcia  $T_{WN}$  jest włączony do Systemu Pomiarowego i Zabezpieczającego Transformatora SPiZ $T_{WN}$ . Układ pomiarowy według wynalazku składa się z trzech transformatorów T1, T2, T3 dwu-uzwojeniowych bądź z jednego transformatora T cztero-uzwojeniowego. Początki uzwojeń pierwotnych transformatorów pomiarowych T1, T2, T3 są połączone z punktami pomiarowymi P na izolatorach L1, L2, L3, a końce uzwojeń są zwarte i są połączone z kołnierzem K. Uzwojenia wtórne transformatorów T1, T2, T3 są połączone szeregowo, a wyjścia każdego z uzwojeń jest włączone do SPiZ $T_{WN}$  i mierzone są napięcia każdego z uzwojeń wtórnych i napięcie sumaryczne bądź wyjście sumaryczne jest zwarte i mierzony jest prąd.

Gdy transformator pomiarowy T z rdzeniem jednooczkowym jest jeden na którym są umieszczone cztery uzwojenia, początki trzech uzwojeń są połączone z punktami pomiarowymi P izolatorów L1, L2, L3 a końce tych uzwojeń są zwarte i są połączone z kołnierzem K, przy czym czwarte uzwojenie jest pomiarowe, a wyjście z tego uzwojenia jest włączone do SPiZ $T_{WN}$ , gdzie mierzone jest napięcie na uzwojeniu bądź uzwojenie jest zwarte i mierzony jest prąd uzwojenia.

W obydwóch układach na wejściu uzwojeń, między punkty pomiarowe P i K, mogą być włączone rezystory R, przy czym rezystory R mogą mieć trzecie wyprowadzenie P1 i w tym przypadku skrajne zaciski rezystorów R są połączone z punktami P-K na izolatorach L1, L2, L3, a końce uzwojeń są połączone z punktami P1-K.

Wynalazek jest objaśniony na rysunkach na których przedstawiono układy pomiarowe umożliwiające diagnostykę on-line transformatorów  $T_{WN}$ : fig. 1 schemat blokowy układu, fig. 2 układ pomiarowy z trzema transformatorami pomiarowymi T1, T2, T3 dwuuzwojeniowymi, fig. 3 na końcówki uzwojeń pierwotnych transformatorów T1, T2, T3 są włączone rezystory R, fig. 4 uzwojenia wtórne transformatorów T1, T2, T3 są połączone z SPiZT<sub>WN</sub>, fig. 5 transformatorek pomiarowy T czterouzwojeniowy na rdzeniu jednooczkowym, fig. 6 na końcówki uzwojeń pierwotnych transformatora pomiarowego T są włączone rezystory R, fig. 7 rezystory R mają trzecią końcówkę potencjometryczną P1 do której są przyłączone początki uzwojenia pierwotnego transformatora T.

Na rysunku fig. 1 przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego umożliwiającego diagnostykę on-line transformatora olejowego wysokiego napięcia  $T_{WN}$ . Schemat ten obejmuje trzy bloki: Transformator  $T_{WN}$  z zabudowanymi na kadzi izolatorami L1, L2, L3 przepustowymi WN, Układ Pomiarowy UP i System Pomiaru i Zabezpieczeń Transformatora SPiZT<sub>WN</sub>. Izolatory przepustowe L1, L2, L3 w transformatorach olejowych są zabudowane na kadzi i są elementami transformatora. W transformatorach trójfazowych są trzy izolatory wysokiego napięcia i trzy izolatory dolnego napięcia. **Wynalazek dotyczy Układu Pomiarowego UP** on-line izolatorów WN np. 400 kV współpracującego z SPiZT<sub>WN</sub>. Każdy izolator ma trzy dostępne punkty:

- przyłączy wysokiego napięcia jest to punkt A (oznaczany w energetyce I),
- potencjał elektryczny pierwszej warstwy ekwipotencjalnej licząc od kołnierza jest to punkt pomiarowy P (oznaczany w energetyce II) i
- kołnierz jest to punkt pomiarowy K (oznaczany w energetyce III).

W czasie pracy transformatora punkt A jest pod wysokim napięciem  $U$  i w pomiarach diagnostycznych on-line nie może być wykorzystany. Pomiar diagnostyczny on-line są możliwe tylko między punktami P-K, a diagnozować należy cały izolator, czyli między punktami A-K.

Diagnostyka on-line jest możliwa jeśli między punkty P-K jest włączona niewielka impedancja  $Z$  (korzystnie rezystancja  $R = Z$ ) wielokrotnie mniejsza od impedancji  $Z_p$  izolatora między punktami P-K. Jeśli  $Z \ll Z_p$  to prąd  $I_p$  płynący przez impedancję  $Z$  jest prądem upływu izolatora. Degradacja izolacji papierowej polega na zwęglaniu wewnętrznych warstw papieru przez wyładowania niezupełne. Warstwy zwęglone powodują zmniejszenie rezystancji i wzrost pojemności rdzenia izolacyjnego, czyli zmniejszenie impedancji między punktami A-P i wzrost prądu upływu  $I_p$ . Wynalazek przedstawia rozwiązanie Układu Pomiarowego UP, który śledzi równocześnie on-line, w czasie pracy transformatora  $T_{WN}$ , prąd upływu  $I_p$  trzech izolatorów przepustowych L1, L2, L3 i na tej podstawie SPiZT<sub>WN</sub> ocenia stan techniczny izolatorów. Takie samo uszkodzenie równoczesne trzech izolatorów L1, L2, L3 nie zdarza się, stąd uszkodzenie jednego z nich układ diagnostyczny zarejestruje.

Układ Pomiarowy UP przedstawiony na rysunku fig. 2 składa się z trzech transformatorów pomiarowych T1, T2, T3 dwuuzwojeniowych. Uzwojenia pierwotne **1** transformatorów T1, T2, T3 korzystnie są połączone w gwiazdę. Początki uzwojenia **1** są połączone z punktami P izolatorów L1, L2, L3, a punkt wspólny uzwojeń **1** jest połączony z kołnierzem K jednego z izolatorów, gdyż wszystkie kołnierze mają potencjał kadzi na której są umocowane. Uzwojenia wtórne **2** transformatorów T1, T2, T3 są połączone szeregowo, a końcówki są przyłączone do SPiZT<sub>WN</sub>. W systemie SPiZT<sub>WN</sub> wykonywany jest pomiar sumarycznego napięcia  $U'_{sp}$ , jest to stransformowane sumaryczne napięcie między punktami P-K. W izolatorach dobrych napięcie  $U'_{sp} \approx 0$ , a gdy jeden z izolatorów jest uszkodzony to  $U'_{sp} > 0$ . W systemie SPiZT<sub>WN</sub> końce uzwojeń **2** mogą być zwierane i wówczas mierzony jest sumaryczny prąd upływu po transformacji  $I'_{sp}$ , gdy izolatory są dobre to  $I'_{sp} \approx 0$ , a gdy jeden z izolatorów jest uszkodzony to  $I'_{sp} > 0$ .

Rozwiązania układu pomiarowego UP przedstawione na rysunkach fig. 3 i fig. 4 są modyfikacją rozwiązania z rysunku fig. 2. Na rysunku fig. 3 po stronie pierwotnej uzwojenia **1** transformatorów pomiarowych T1, T2, T3 są włączone rezystory R. Przez rezystory R płynie prąd  $I_p$  i spadek napięcia na rezystorach jest połączony z uzwojeniami **1** transformatorów T1, T2, T3. Na rysunku fig. 4 uzwojenia wtórne **2** transformatorów pomiarowych nie są połączone, lecz wszystkie końce uzwojeń **2** transformatorów T1, T2, T3 są wyprowadzone do SPiZT<sub>WN</sub> i w systemie SPiZT<sub>WN</sub> jest rozwiązany pomiar napięć  $U'_{spL}$  bądź prądów  $I'_{spL}$  każdego z izolatorów L1, L2, L3 i obliczane jest sumaryczne napięcie  $U'_{sp}$  bądź sumaryczny prąd  $I'_{sp}$ . Sygnały pomiarowe są galwanicznie oddzielone od napięcia izolatora.

Na rysunkach fig. 5, fig. 6 i fig. 7 skomasowano rdzenie transformatorów pomiarowych w jeden rdzeń jednooczkowy T. Na rdzeniu T są cztery uzwojenia, trzy z nich są uzwojeniami pierwotnymi **1**, a jedno jest wtórne **2**. W tym rozwiązaniu sumowane są siły magnetomotoryczne trzech uzwojeń pierwotnych **1** umieszczonych na rdzeniu T. Uzwojenia pierwotne **1** są połączone w gwiazdę. Początki uzwojeń **1** są połączone z punktami P na izolatorach L1, L2, L3, a punkt wspólny gwiazdy jest połączony z kołnierzem K. Końcówki uzwojenia wtórnego są wprowadzone do systemu SPiZT<sub>WN</sub>. Na rysunku fig. 6 na zaciskach uzwojeń pierwotnych **1** transformatora pomiarowego są włączone rezystory R, a na rysunku fig. 7 rezystory R mają trzecie wyprowadzenie P1 i w tym przypadku skrajne zaciski rezystorów R są połączone z punktami P-K na izolatorach L1, L2, L3, a końcówki uzwojeń **1** są połączone z punktami P1-K.

Układ pomiarowy umożliwiający diagnostykę on-line izolatorów przepustowych L1, L2, L3 zabudowanych na transformatorach wysokiego napięcia T<sub>WN</sub>, według wynalazku, rozwiązuje problem równoczesnego pomiaru trzech napięć między punktami P-K bądź prądu upływu  $I_p$  tych izolatorów i ich sumy. Układ pomiarowy, składa się z trzech transformatorów pomiarowych T1, T2, T3, bądź jednego transformatora pomiarowego T. Sygnały pomiarowe napięcia lub prądu, pozyskiwane on-line z trzech izolatorów L1, L2, L3 równocześnie są transformowane i przesyłane do System SPiZT<sub>WN</sub>. W systemie SPiZT<sub>WN</sub> stan techniczny izolatorów jest sygnalizowany lampkami: zielona, żółta, czerwona. Sygnały pomiarowe z uzwojeń wtórnych są galwanicznie separowane od wysokiego napięcia U izolatorów. Układ pomiarowy UP, zainstalowany na trzech izolatorach L1, L2, L3 transformatora T<sub>WN</sub> blokowego i rozdzielczego, rozwiązuje problem ich diagnostyki on-line. Izolatory z uszkodzoną izolacją papierowo-olejową są identyfikowane i przy najbliższym postoju bloku elektroenergetycznego mogą być wymienione na izolatory nowe.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Układ pomiarowy umożliwiający diagnostykę on-line izolatorów przepustowych L1, L2, L3 transformatorów wysokiego napięcia T<sub>WN</sub>, przy współpracy z Systemem Pomiarowym i Zabezpieczającym Transformatora SPiZT<sub>WN</sub>, jest **znamienny tym**, że składa się z trzech transformatorów pomiarowych T1, T2, T3 dwuuzwojeniowych w których początki uzwojeń pierwotnych (**1**), są połączone z punktami pomiarowymi P izolatorów L1, L2, L3 a końce uzwojeń (**1**) są zwarte i są połączone z kołnierzem K, natomiast uzwojenia wtórne (**2**) transformatorów T1, T2, T3 są połączone szeregowo, a wyjścia każdego z uzwojeń (**2**) i wyjście sumaryczne z uzwojeń (**2**) są włączone do SPiZT<sub>WN</sub>, przy czym w SPiZT<sub>WN</sub> mierzone są napięcia każdego z uzwojeń (**2**) i napięcie sumaryczne uzwojeń (**2**) bądź wyjście sumaryczne jest zwarte i mierzony jest prąd.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jest jeden transformator pomiarowy T z rdzeniem jednooczkowym na którym są umieszczone cztery uzwojenia, początki trzech uzwojeń (**1**) są połączone z punktami pomiarowymi P izolatorów L1, L2, L3 a końce tych uzwojeń (**1**) są zwarte i są połączone z kołnierzem K, przy czym czwarte uzwojenie (**2**) jest pomiarowe, a wyjście z tego uzwojenia (**2**) jest włączone do SPiZT<sub>WN</sub>, gdzie mierzone jest napięcie na uzwojeniu (**2**) bądź uzwojenie (**2**) jest zwarte i mierzony jest prąd uzwojenia (**2**).
3. Układ według zastrz. 1 i 2, **znamienny tym**, że między punkty pomiarowe P i K na izolatorach L1, L2, L3 są włączone rezystory R, przy czym rezystory R mają trzecie wyprowadzenie P1 i końcówki uzwojeń (**1**) są połączone z punktami P1-K.

Rysunki

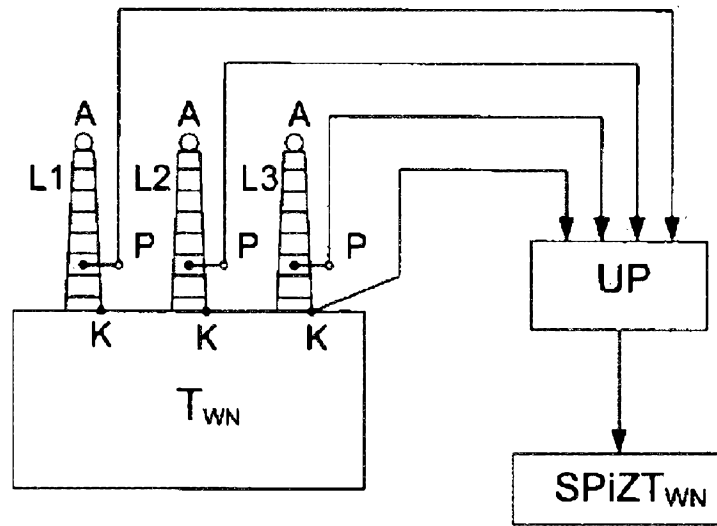


Fig. 1

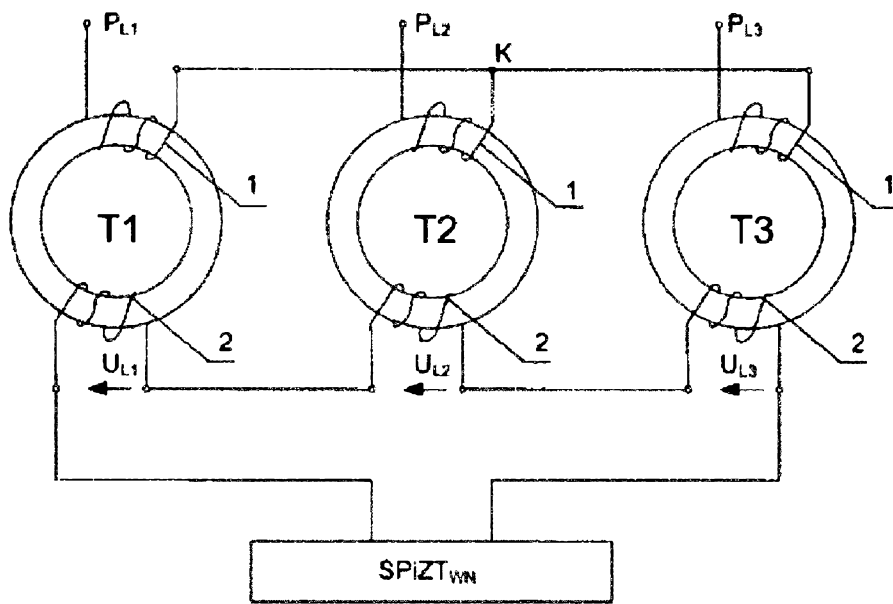


Fig. 2.

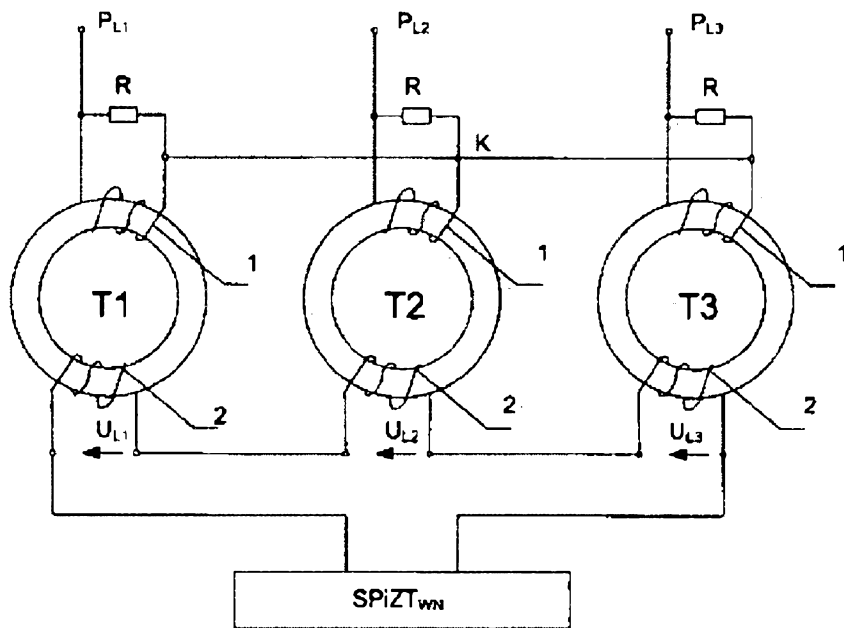


Fig. 3

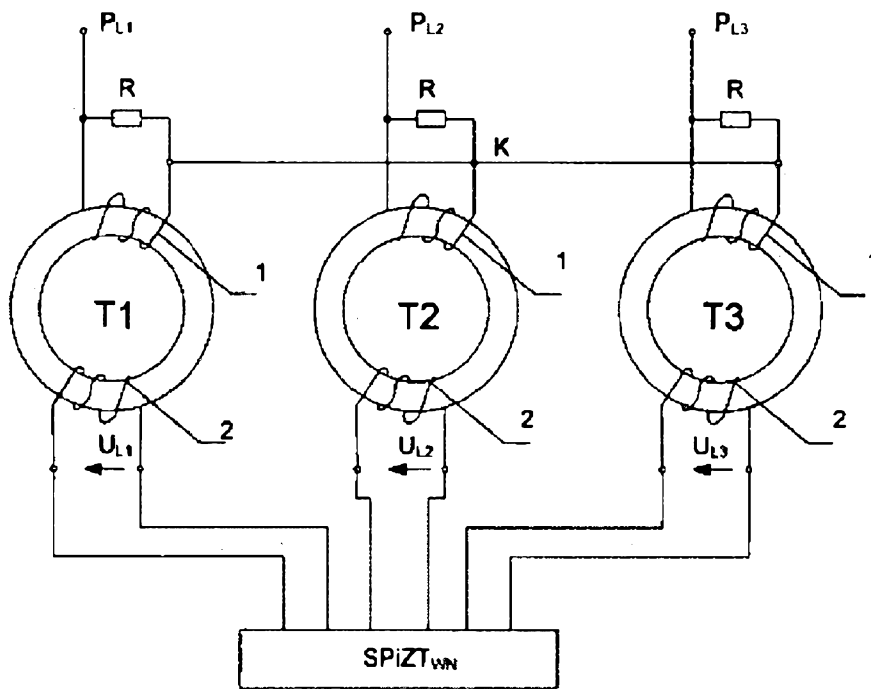


Fig. 4

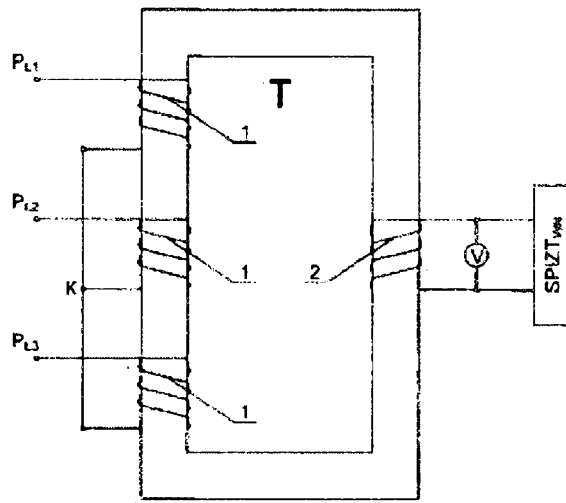


Fig. 5

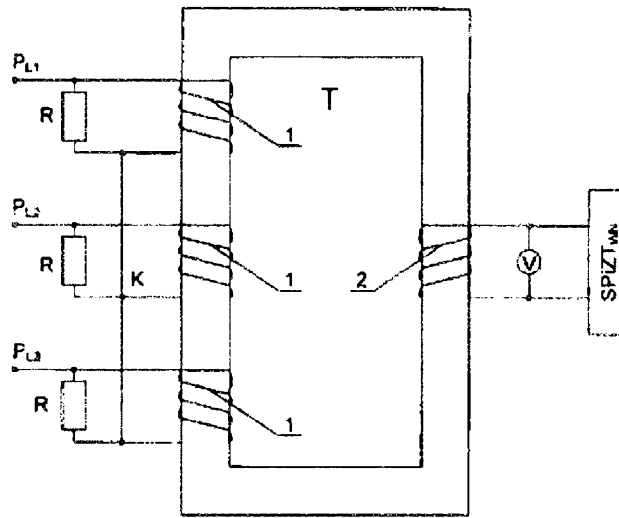


Fig. 6.

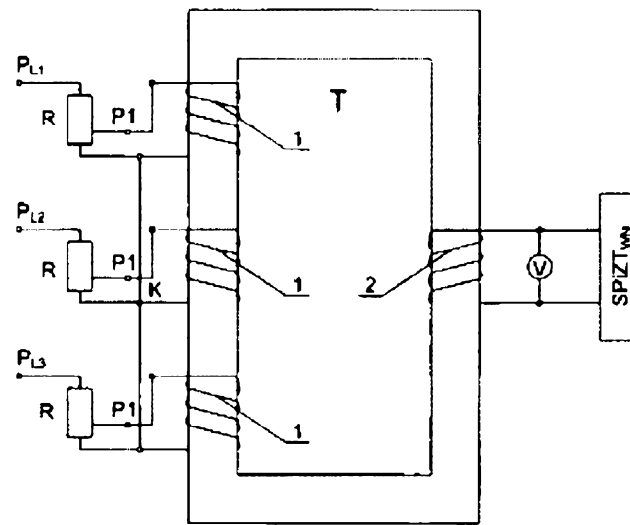


Fig. 7.