

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 242541 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437229**

(22) Data zgłoszenia: **2021.03.08**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.09.12 BUP 37/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.03.13 WUP 11/2023**

(51) MKP:

**H02H 7/26** (2006.01)

**H02H 3/08** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:  
**JÓZEF LORENC, Kórnik, PL**  
**JERZY ANDRUSZKIEWICZ, Poznań, PL**  
**BOGDAN STASZAK, Książ Wielkopolski, PL**  
**AGNIESZKA WEYCHAN, Wiry, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**Marcin Walkowiak, Dobra, PL**

(54) Tytuł:

**Układ i sposób identyfikacji zwarć międzyfazowych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia**

**PL 242541 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób identyfikacji zwarć międzyfazowych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia pozwalający na uzyskanie stałej strefy zadziałania w zabezpieczeniach nadprądowych zwarciovych niezależnie od rodzaju zwarć międzyfazowych.

Obecnie do zabezpieczania linii elektroenergetycznych od skutków zwarć międzyfazowych stosuje się najczęściej zabezpieczenia nadprądowe zwarciove (oznaczone jako  $I>>$ ) [ABB, *Technical guide. Protection criteria for medium voltage networks*, rozdział 9.3 *Line protection*]. W zabezpieczeniach tych wykorzystuje się jedną wartość nastawczą, która dobierana jest na podstawie prądu zwarcia trójfazowego, tak aby zasięg zadziałania zabezpieczenia zainstalowanego w polu liniowym rozdzielni SN obejmował co najmniej połowę długości chronionego odcinka linii elektroenergetycznej. Taka wartość nastawcza skutkuje jednak tym, że mniejsze wartości prądów występujące podczas zwarć dwufazowych znacznie ograniczają zasięg działania zabezpieczenia. W przypadku zabezpieczeń instalowanych w głębi sieci ograniczenia w zasięgu działania zabezpieczeń nadprądowych zwarciovych dodatkowo wzrastają i w przypadku zwarć dwufazowych mogą być na tyle duże, że strefa skutecznego działania jest praktycznie zerowa. Przykład zastosowania zabezpieczenia nadprądowego zwarciove w linii średniego napięcia wraz z zasięgiem zadziałania w przypadku zwarć dwu- i trójfazowych przedstawia fig. 1 rysunku. Zwarcia niewykryte przez zabezpieczenie zwarciove są identyfikowane jedynie przez zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne, których czas zadziałania jest jednak znacznie dłuższy, co może prowadzić do przeciążeń termicznych elementów konstrukcyjnych sieci elektroenergetycznej.

Alternatywnie, aby poprawić skuteczność wykrywania zwarć międzyfazowych stosuje się bardziej złożone rozwiązania zabezpieczeń sieci średnich napięć, takie jak zabezpieczenie z zadziałaniem zwłocznym zależnym od wartości prądu zwarciove, niezależne zabezpieczenie od zwarć dwufazowych blokowane podczas zwarć trójfazowych, zabezpieczenie odległościowe (podimpedancyjne) reagujące na zwarcia międzyfazowe w zabezpieczanej strefie [Hoppel W. *Sieci średnich napięć. Automatyka zabezpieczeniowa i ochrona od porażenia*, WNT Warszawa 2017], zabezpieczenia różnicowe lub modyfikację zabezpieczeń nadprądowych zwarciovych z wykorzystaniem dwóch niezależnych nastaw prądowych dla zwarć dwufazowych i zwarć trójfazowych [Łowczowski K., Lorenc J., Olejnik B. *Układ i sposób identyfikacji rodzaju zwarć międzyfazowych*, patent 2020]. Rozwiązania te prowadzą jednak do większej złożoności układów zabezpieczeń linii elektroenergetycznych i jednocześnie do wzrostu nakładów inwestycyjnych związanych z instalacją takich zabezpieczeń.

W obecnie stosowanych rozwiązaniach składowa przeciwna prądu jest bardzo rzadko wykorzystywana w zabezpieczeniach linii elektroenergetycznych. Najczęściej jest ona wykorzystywana do zabezpieczania generatorów synchronicznych przed skutkami asymetrycznego obciążenia, jednak najnowsze badania dowodzą, że wartość składowej przeciwnej prądu może być wykorzystywana do zabezpieczenia linii elektroenergetycznych [Ghorbani A., Mehijerdi H. *Negative-Sequence Network Based Fault Location Scheme for Double-Circuit Multi-Terminal Transmission Lines*. IEEE Transactions on Power Delivery 2019; 34:1109–1117; Kojovic L.A., Witte J.F. *Improved protection systems using symmetrical components*. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. Developing New Perspectives, Atlanta, USA, 2001;1:47–52]. Wzrost zainteresowania prądami składowej przeciwnej można tłumaczyć szybkim rozwojem cyfrowych technik pomiarowych i decyzyjnych w zabezpieczeniach systemów elektroenergetycznych, które ułatwiają i upraszczają uzyskanie pełnej informacji o poziomie składowych symetrycznych.

Zaproponowana według wynalazku modyfikacja zabezpieczenia nadprądowego zwarciove polega na zastosowaniu dodatkowych kryteriów wykrywania zwarć międzyfazowych poprzez wykorzystanie składowej przeciwnej i składowej zerowej prądu w celu poprawy zasięgu działania zabezpieczenia podczas pojedynczych i podwójnych zwarć dwufazowych w liniach elektroenergetycznych przy jednoczesnym zachowaniu jednej nastawy prądowego progu pobudzenia i selektywności działania.

W zmodyfikowanym układzie działania zabezpieczenia obejmują wszystkie zakłócenia międzyfazowe występujące w strefie chronionego odcinka linii i są wynikiem decyzji podejmowanych w trzech kryteriach dotyczących: prądu fazowego, prądu składowej przeciwnej i prądu składowej zerowej. Zastosowanie funkcji dopasowującej wewnętrzne progi rozruchowe poszczególnych kryteriów w oparciu o jedną wartość nastawczą umożliwia znaczne zwiększenie zasięgu działania zabezpieczenia podczas pojedynczych i podwójnych zwarć dwufazowych. Skuteczność tak zmodyfikowanego nadprądowego zabezpieczenia zwarciove jest znacznie wyższa od rozwiązań dotychczas stosowanych, ponieważ

wszystkie zwarcia dwufazowe są wykrywane na takim samym poziomie jak zwarcia trójfazowe. Użytkany w ten sposób efekt ma ogromne znaczenie praktyczne, ponieważ wysokoprądowe zwarcia dwufazowe występują 3–4 razy częściej niż zwarcia trójfazowe.

Istotą wynalazku jest sposób identyfikacji zwarć międzyfazowych w konfiguracji z komparatorem. W sposobie tym, w czasie trwania zwarcia międzyfazowego wyznaczana jest składowa zerowa oraz składowa przeciwna prądu, przy wykorzystaniu filtrów składowych symetrycznych, które to filtry pobudzają dwa komparatory, które wspólnie z tradycyjnie wykorzystywanym komparatorem oddziałują na bramkę logiczną, której wyjście jest traktowane jako sygnał stwierdzający wykrycie zwarcia i uruchomienie zabezpieczenia nadprądowego zwarciovego w przypadku zwarć dwufazowych z lub bez udziału ziemi oraz zwarć doziemnych podwójnych.

Sposób realizuje się dzięki dodatkowemu pomiarowi wartości składowej zerowej oraz składowej przeciwnej prądu w zabezpieczeniach nadprądowych. Na ich podstawie możliwe jest rozróżnienie różnych przypadków zwarć międzyfazowych, w tym zwarć trójfazowych, dwufazowych z udziałem ziemi lub bez udziału ziemi oraz podwójnych zwarć jednofazowych widzianych całościowo lub częściowo przez zabezpieczenie w punkcie A.

Istotą wynalazku jest również układ identyfikacji zwarć międzyfazowych w konfiguracji z komparatorem. Układ cechuje się tym, że posiada dwa multiplikatory, które pozwalają na automatyczne ustawienie wewnętrznych progów nastawczych dla zwarć dwufazowych i podwójnych, które powodują pobudzenie dwóch komparatorów, które połączone są z tradycyjnie występującym komparatorem poprzez bramkę logiczną, która decyduje o zadziałaniu zabezpieczenia.

Układ działa w następujący sposób. Dla poszczególnych faz L1, L2 oraz L3 odczytywane są przez układ pomiarowy wartości prądów fazowych. Wartości składowych symetrycznych prądu wyznaczane są następnie przez filtr składowej zerowej prądu oraz filtr składowej przeciwnej prądu na podstawie pomiarów wartości prądów fazowych w liniach elektroenergetycznych. W przypadku zwarć dwufazowych z lub bez udziału ziemi lub zwarć podwójnych widzianych przez zabezpieczenie pojawią się znaczne wartości składowej przeciwnej prądu, a w przypadku zwarć podwójnych częściowo widzianych przez zabezpieczenie pojawią się znaczne wartości składowej zerowej prądu.

Wynalazek w przykładzie realizacji przedstawiono na fig. 3 rysunku, na którym pokazano układ identyfikacji zwarć międzyfazowych w układzie z komparatorem. Fig. 1 przedstawia znany w stanie techniki przykład zastosowania zabezpieczeń nadprądowych zwarciovych w linii średniego napięcia uwzględniając zasięg obecnie stosowanych zabezpieczeń dla zwarć dwu- oraz trójfazowych. Fig. 2 pokazuje rodzaje zwarć dwufazowych i podwójnych identyfikowanych przez zabezpieczenie (a – zwarcie dwufazowe bez udziału ziemi, b – zwarcie dwufazowe z udziałem ziemi, c – zwarcie podwójne widziane w całości przez zabezpieczenie w punkcie A, d – zwarcie podwójne widziane częściowo przez zabezpieczenie w punkcie A), a fig. 4 przykładowy fragment sieci średniego napięcia, dla którego przeanalizowano działanie modyfikowanego zabezpieczenia.

Sposób identyfikacji rodzaju zwarć międzyfazowych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia w układzie z komparatorem 8 polega na tym, że w czasie trwania zwarcia międzyfazowego wyznaczana jest składowa zerowa oraz składowa przeciwna prądu, wykorzystując filtry składowych symetrycznych 2 i 3, które pobudzają komparatory 6 i 7, które wspólnie z tradycyjnie wykorzystywanym komparatorem 8 oddziałują na bramkę logiczną 9, której wyjście jest traktowane jako sygnał stwierdzający wykrycie zwarcia i uruchomienie zabezpieczenia nadprądowego zwarciovego w przypadku zwarć dwufazowych z lub bez udziału ziemi oraz zwarć doziemnych podwójnych.

Układ identyfikacji zwarć międzyfazowych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia w układzie z komparatorem 8, charakteryzuje się tym, że posiada multiplikatory 4 i 5, które pozwalają na automatyczne ustawienie wewnętrznych progów nastawczych dla zwarć dwufazowych i podwójnych, które powodują pobudzenie komparatorów 6 i 7 i wspólnie z wyjściem komparatora 8 oddziałują na bramkę logiczną 9, która decyduje o zadziałaniu zabezpieczenia.

Sygnałami wyjściowymi z filtrów 2 i 3 są sygnały S5 – wartość składowej zerowej prądu  $I_0$  oraz sygnał S7 – wartość składowej przeciwnej prądu  $I_2$ . Jednocześnie dla jednej z faz odczytywany jest prąd zwarcia trójfazowego S9. Ze względu na fakt, że zwarcie trójfazowe jest zwarcie symetrycznym, wystarczające jest wykorzystanie pomiaru prądu tylko dla jednej wybranej fazy. Jednocześnie na podstawie wartości nastawczej zabezpieczenia dla zwarcia trójfazowego  $I_{pr(zz)3F}$ , wyznaczone są wewnętrzne nastawy progowe dla składowej zerowej  $I_{0n}$  oraz dla składowej przeciwnej  $I_{2n}$  kolejno w multiplikatorach 4 oraz 5 zgodnie z zależnościami:

$$I_{2n} = \frac{1}{2} I_{pr(zs)3F}$$

$$I_{0n} = \frac{1}{2\sqrt{3}} I_{pr(zs)3F}$$

gdzie  $I_{pr(zs)3F}$  to nastawa zabezpieczenia dla zwarć trójfazowych.

Otrzymuje się wtedy nastawę dla zwarć podwójnych częściowo widzianych przez zabezpieczenie S6 oraz nastawę dla zwarć dwufazowych i podwójnych widzianych całkowicie przez zabezpieczenie S8. W czasie trwania zwarcia międzyfazowego wartości prądu fazowego oraz wartości składowej przeciwnej i zerowej prądu porównywane są z wartościami progowymi w komparatorach 6, 7 i 8.

W przypadku wystąpienia zwarcia podwójnego częściowo widzianego przez zabezpieczenie generowany jest wysoki sygnał S10, w przypadku wystąpienia zwarcia dwufazowego z lub bez udziału ziemi lub zwarcia podwójnego widzianego w całości przez zabezpieczenie generowany jest wysoki sygnał S11, natomiast w przypadku wystąpienia zwarcia trójfazowego generowany jest wysoki sygnał S12. Wysoki sygnał S10, S11 lub S12 powoduje pobudzenie bramki 9 typu OR oraz wygenerowanie wysokiego sygnału S13 odpowiedzialnego za zadziałanie zabezpieczenia i otwarcie wyłącznika. Ostateczną funkcję decyzyjną przedstawionego zabezpieczenia nadprądowego zwarciovego, która skutecznie zabezpiecza określony odcinek linii przed zwarciami trójfazowymi i różnymi przypadkami zwarć dwufazowych, można opisać następująco:

$$I_{L1} > I_{pr(zs)3F} \cup I_2 > \frac{1}{2} I_{pr(zs)3F} \cup I_0 > \frac{1}{2\sqrt{3}} I_{pr(zs)3F}$$

W układzie logicznym układu identyfikacji zwarć międzyfazowych przedstawionego na fig. 3 rysunku wykonywane są następujące działania:

- 1 Pomiar prądów fazowych poszczególnych faz S1, S2, S3 przez układ pomiarowy (blok 1);
- 2 Wyznaczenie wartości prądu składowej zerowej S5 przez filtr składowej zerowej (blok 2);
- 3 Wyznaczenie wartości prądu składowej przeciwnej S7 przez filtr składowej przeciwnej (blok 3);
- 4 Wyznaczenie wewnętrznych nastaw progowych dla zwarć dwufazowych i podwójnych w mnożnikach 4 i 5 na podstawie wartości nastawczej dla zwarć trójfazowych S4;
- 5 Porównanie sygnałów prądowych S5, S7 i S9 z wartościami progowymi S6, S8 oraz S4 w komparatorach 6, 7 i 8;
- 6 Pobudzenie bramki 9 typu OR w przypadku wystąpienia wysokiego sygnału S10, S11 lub S12;
- 7 Zadziałanie zabezpieczenia w przypadku wysokiego sygnału S13.

Modyfikowany układ zabezpieczeniowy może być wykorzystywany do zabezpieczania dowolnego odcinka linii elektroenergetycznych średniego napięcia, zarówno na szynach rozdzielni WN/SN, jak i w głębi sieci (punkty A lub B fig. 1). Każdorazowo modyfikowany układ pozwoli na wydłużenie strefy zadziałania klasycznego zabezpieczenia nadprądowego w przypadku zwarć dwufazowych do długości strefy zadziałania tego zabezpieczenia dla zwarć trójfazowych. Rozwiązanie to znacznie zwiększa również skuteczność wykrywania zwarć podwójnych, przez co mogą być identyfikowane z taką samą skutecznością jak zwarcia dwufazowe. Dzięki temu możliwa jest znaczna poprawa skuteczności wykrywania zwarć dwufazowych oraz podwójnych w sieciach średnich napięć.

Ponadto, modyfikowane zabezpieczenie wymaga ustalenia tylko jednej wartości nastawczej dla zwarć trójfazowych, dzięki czemu sposób działania zabezpieczenia jest znacznie uproszczony, jako że nastawy dla pozostałych rodzajów zwarć są obliczane automatycznie na podstawie prądu progowego.

#### Przykład 1

Porównano zadziałanie klasycznych zabezpieczeń nadprądowych zwarciovych z działaniem zmodyfikowanego zabezpieczenia w przypadku zwarcia dwufazowego bez udziału ziemi (fig. 2a). Zwarcia wykonano dla zabezpieczenia nadprądowego w głębi sieci, na trzykilometrowym odcinku linii R–B według fig. 4. Nastawa zabezpieczenia dla reklozera w punkcie R1 wynosi  $I_{pr(zs)3F} = 2200$  A dla zwarcia trójfazowego. W przypadku klasycznego zabezpieczenia prąd fazowy zmierzony poprzez układ pomiarowy 1 zostanie porównany w komparatorze 8 z wartością nastawczą prądu dla zwarcia trójfazowego 2200 A i w zależności od lokalizacji zwarcia pobudzi bramkę 9, która poda sygnał na zadziałanie zabezpieczenia. W przypadku zmodyfikowanego zabezpieczenia, z prądu fazowego zmierzonego przez układ 1

wyznaczona zostanie wartość składowej przeciwnej prądu w filtrze 3. Ze względu na zwarcie niesymetryczne (dwufazowe) wartość składowej przeciwnej będzie znacząca. Wyznaczona wartość składowej przeciwnej prądu S7 zostanie porównana z automatycznie wyznaczoną w multiplikatorze 5 wartością nastawczą, równą połowie wartości nastawczej dla zwarcia trójfazowego, tj. 1100 A w komparatorze 7. Uzyskany wysoki sygnał S11 wywoła pobudzenie bramki 9 i podanie wysokiego sygnału S13 wywołującego zadziałanie zabezpieczenia. Na podstawie pomiarów określono zasięg zadziałania zabezpieczenia klasycznego i zmodyfikowanego dla powyższych nastaw, który wynosi 36% odcinka linii elektroenergetycznej RB. W przypadku zmodyfikowanego zabezpieczenia wykorzystującego kryterium składowej przeciwnej, zasięg zadziałania zabezpieczenia w przypadku zwarć dwufazowych wynosi 73% analizowanego odcinka linii. Jak łatwo zauważyć, realizacja kryterium składowej przeciwnej prądu podwoi zasięg zabezpieczenia w analizowanym przypadku.

### Przykład 2

Porównano zadziałanie klasycznych zabezpieczeń nadprądowych zwarciovych z działaniem zmodyfikowanego zabezpieczenia w przypadku podwójnego zwarcia doziemnego, z których jedno występuje w strefie zabezpieczanej przez analizowane zabezpieczenie, a drugie występuje poza strefą zabezpieczaną (fig. 2d). Przeanalizowano zwarcie doziemne fazy L3 w punkcie A na szynach stacji oraz zwarcie fazy L2 na odcinku linii elektroenergetycznej RB oraz zabezpieczenie pracujące w punkcie R1 (fig. 4). W przypadku klasycznego zabezpieczenia prąd fazowy zmierzony poprzez układ pomiarowy 1 zostanie porównany w komparatorze 8 z wartością nastawczą prądu dla zwarcia trójfazowego 2200 A, ale ponieważ zwarcie będzie widziane z punktu zabezpieczeniowego jako pojedyncze zwarcie doziemne, zmierzony prąd będzie niższy od nastawy prądowej 2200 A, w związku z czym nie nastąpi zadziałanie zabezpieczenia. W przypadku zmodyfikowanego zabezpieczenia, na podstawie prądu fazowego zmierzonego przez układ pomiarowy 1 zostanie wyznaczona składowa zerowa prądu w filtrze 2. Wartość składowej zerowej prądu S5 zostanie porównana w komparatorze 6 z automatycznie wyznaczoną w multiplikatorze 4 nastawą prądową dla składowej zerowej S6, która wynosić będzie 640 A. Wysoki sygnał komparatora 6 pobudzi bramkę 9, a następnie poda sygnał na zadziałanie zabezpieczenia. Zasięg tak zmodyfikowanego zabezpieczenia dla analizowanego zwarcia podwójnego wynosi 83% odcinka linii elektroenergetycznej RB, podczas gdy klasyczne zadziałanie nadprądowe nie spowoduje zadziałania zabezpieczenia.

Modyfikowane zabezpieczenie nadprądowe może być wykorzystywane w sterownikach polowych lub urządzeniach elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej wykorzystywanej do zabezpieczania linii elektroenergetycznych średnich napięć od skutków zwarć międzyfazowych. Elementy automatyki wykorzystujące zmodyfikowany układ zabezpieczeniowy mogą być stosowane zarówno dla wyłączników na początku ciągów zabezpieczanych linii, jak i dla wyłączników (reklozerów) w głębi sieci. Modyfikowane zabezpieczenie pozwoli zwiększyć zasięg wykrywania zwarć dwufazowych z lub bez udziału ziemi do zasięgu dla wykrywania zwarć trójfazowych. Co więcej, modyfikowane zabezpieczenie pozwoli zwiększyć skuteczność wykrywania podwójnych zwarć doziemnych, uzyskując skuteczność jak dla zwarć dwufazowych.

Wykorzystaniem zmodyfikowanego zabezpieczenia mogą być również zainteresowani producenci elementów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, jako że zastosowanie tego rozwiązania pozwoli zwiększyć efektywność działania ich produktów. Implementacja wynalazku w ramach istniejących układów zabezpieczeń jest bardzo prosta, ponieważ nie wymaga rozbudowywania układów zabezpieczeniowych o dodatkowe elementy pomiarowe.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób identyfikacji zwarć międzyfazowych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia w konfiguracji z komparatorem **znamienny tym**, że w czasie trwania zwarcia międzyfazowego wyznaczana jest składowa zerowa oraz składowa przeciwna prądu, wykorzystując filtry składowych symetrycznych (2) i (3), które pobudzają komparatory (6) i (7), które wspólnie z tradycyjnie wykorzystywanym komparatorem (8) oddziałują na bramkę logiczną (9), której wyjście jest traktowane jako sygnał stwierdzający wykrycie zwarcia i uruchomienie zabezpieczenia nadprądowego zwarciovego w przypadku zwarć dwufazowych z lub bez udziału ziemi oraz zwarć doziemnych podwójnych.

2. Układ identyfikacji zwarcień międzyfazowych w liniach elektroenergetycznych średniego napięcia w konfiguracji z komparatorem **znamienny tym**, że posiada multiplikatory (4) i (5), które pozwalają na automatyczne ustawienie wewnętrznych progów nastawczych dla zwarcień dwufazowych i podwójnych, które powodują pobudzenie komparatorów (6) i (7), które połączone są z tradycyjnie występującym komparatorem (8) poprzez bramkę logiczną (9), która decyduje o zadziałaniu zabezpieczenia.

### Rysunki

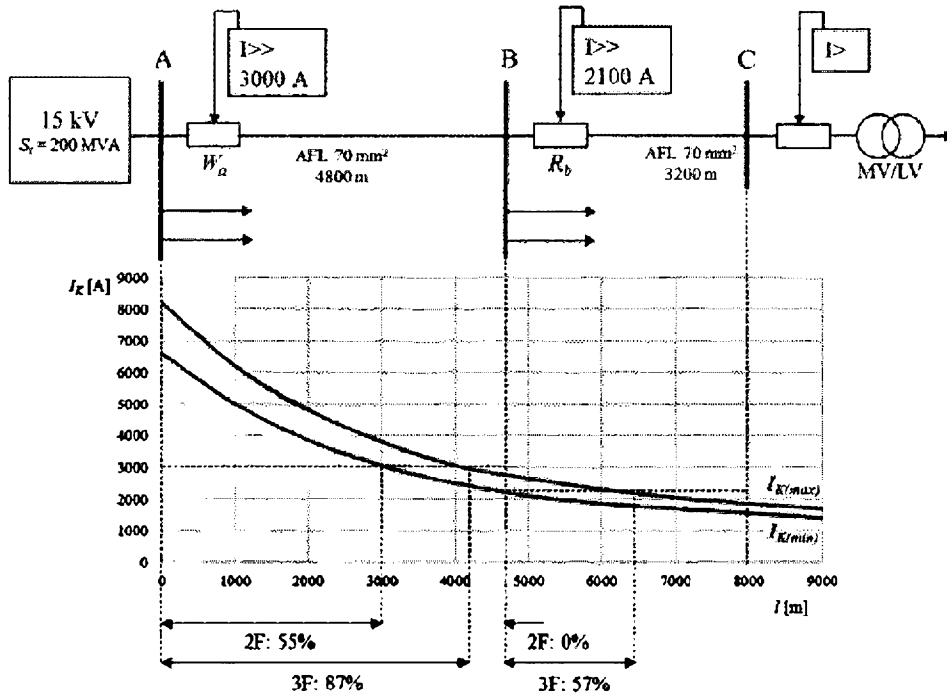


fig. 1

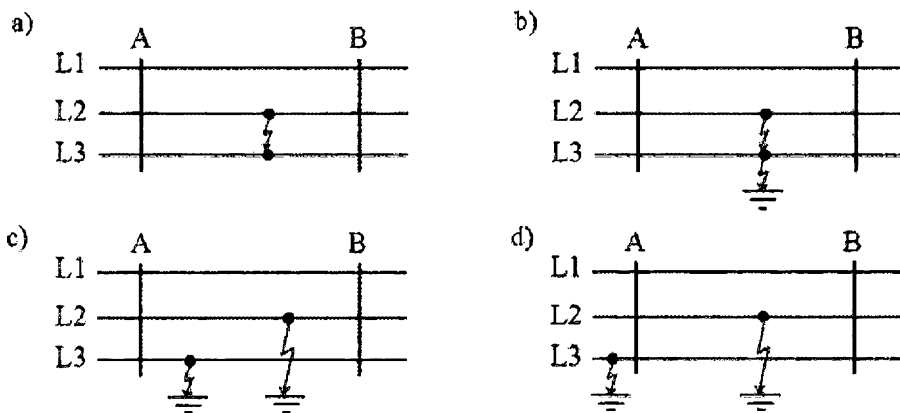


fig. 2

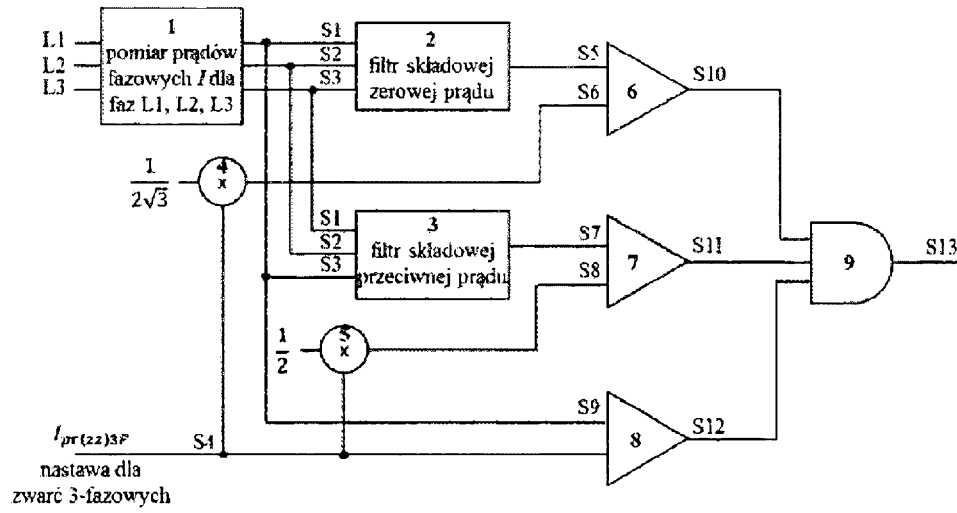


fig. 3

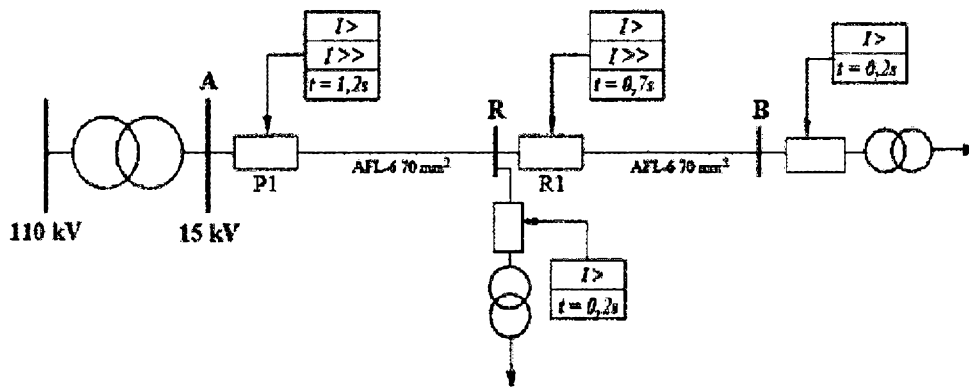


fig. 4