

J. WOJCIECHOWSKI, S. STOLARZ,
J. SUCZYK, A. SZERSZENIEWSKI
Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki
Energopomiar - Gliwice

ZABEZPIECZENIE PORÓWNAWCZO-FAZOWE KRÓTKICH LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH

S t r e s z c z e n i e

Autorzy przedstawiają opracowane w ZPBE "Energopomiar" zabezpieczenie porównawczo-fazowe z łączem akustycznej częstotliwości przeznaczone dla krótkich linii wysokich napięć. W artykule omówiono zasadę działania oraz rozwiązanie głównych członów zabezpieczenia. Opisano pracę łącza akustycznej częstotliwości podkreślając zastosowane rozwiązania prowadzące do uzyskania dużej niezawodności transmisji sygnałów. Przedstawiono również rozwiązanie przetwornicy tyrystorowej służącej do zasilania zabezpieczenia napięciem pomocniczym prądu stałego. Ponadto podano informacje o wynikach eksploatacji zabezpieczeń.

Rozbudowa układów przesyłu i rozdziału energii elektrycznej powoduje stałe skracanie przeciętnych długości elektroenergetycznych linii przesyłowych. Coraz częściej spotyka się krótkie odcinki linii wysokich napięć, które posiadają duże znaczenie dla pewności pracy systemu lub zasilania ważnych odbiorców energii. Jednocześnie przy tego rodzaju liniach jest szczególnie trudno uzyskać właściwą selektywność działania zabezpieczeń. Wymienione względy, a również ogólne zwiększenie wymagań technicznych w stosunku do zabezpieczeń spowodowały zwrócenie uwagi na zastosowanie zabezpieczeń odcinkowych do zabezpieczania krótkich linii. Zabezpieczenia odcinkowe umożliwiając z reguły uzyskiwanie krótkich czasów działania, są niewrażliwe na zakłócenia występujące po-

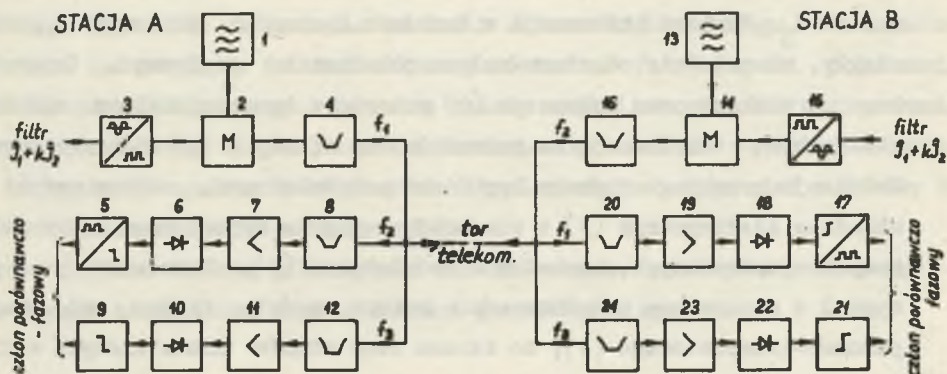
za strefą zabezpieczaną, a ich działanie w praktyce jest niezależne od konfiguracji sieci.

W roku 1965 w Energopomiarze rozpoczęto prace nad opracowaniem zabezpieczenia porównawczo-fazowego z łączem akustycznej częstotliwości. Dwa pierwsze zabezpieczenia, typu RPFk zostały zainstalowane w roku 1968, na krótkich liniach o napięciu 220 kV, celem uzyskania doświadczeń eksploatacyjnych. Do roku 1971 wykonano 26 kompletów tego rodzaju zabezpieczeń.

Zabezpieczenie typu RPFk przeznaczone jest do ochrony krótkich odcinków linii energetycznych łączących stacje pomiędzy którymi istnieje połączenie kablem telekomunikacyjnym. Normalnie długość zabezpieczanego odcinka nie przekracza 30 km. Charakteryzując zasadnicze cechy zabezpieczenia należy zwrócić uwagę, że jako kryterium określające, czy zwarcie występuje w chronionym odcinku linii czy poza nim, przyjęto wielkość przesunięcia fazowego pomiędzy prądami na obydwu końcach odcinka. Dla uproszczenia układu zabezpieczenia porównuje się fazy napięć wyjściowych filtrów składowych symetrycznych typu $\hat{J}_1 + k\hat{J}_2$. Człon pobudzeniowy zabezpieczenia działa przy zwiększeniu wartości skutecznej napięcia wyjściowego wymienionego filtru. Ponadto zabezpieczenie wyposażone jest w podzespoły kontrolujące sprawność toru transmisyjnego sygnału częstotliwości akustycznej. W wypadku zakłóceń w pracy toru następuje samoczynne zablokowanie działania zabezpieczenia na czas występowania zakłóceń. Napięcie pomocnicze zabezpieczenia wynosi 15 V prądu stałego, przy czym zabezpieczenie zasilane jest napięciem 110 V lub 220 V prądu stałego poprzez przetwornicę tyrystorową.

Jak już zaznaczono, działanie zabezpieczenia oparte jest na porównywaniu z sobą kierunków wartości chwilowych prądów na obydwu końcach zabezpieczanej linii. Informacja o fazach prądów przesyłana jest z jednego końca zabezpieczanego odcinka linii na drugi, za pomocą łącza akustycznej częstotliwości zrealizowanego na specjalnie układanych kablach lub też przewodach kabli pocztowych. Zasadę przesyłania informacji w zabezpieczeniu wyjaśnia rys. 1.

Dwa kanały łączności, którymi jest przekazywana informacja o fazie prądów w linii, są przesunięte względem siebie w widmie częstotli-



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy części teletransmisyjnej zabezpieczenia

wości, dzięki czemu łącze może być zrealizowane na jednej parze żył kabla telekomunikacyjnego. W kanale o częstotliwości f_1 jest prowadzona transmisja ze stacji A do B, a w kanale o częstotliwości f_2 przesyłana jest informacja w kierunku przeciwnym, ze stacji B do stacji A. Częstotliwości f_1 i f_2 wybrano w górnej części pasma telefonicznego celem zabezpieczenia kanałów od zakłóceń o częstotliwości technicznej lub jej krotności. Kanały częstotliwościowe oddzielone są od siebie filtrami elektrycznymi. Poziom nadawanego sygnału przyjęto $+1,1 N_p$, to jest nieco więcej niż wymagają normy dla poziomu sygnału telefonicznego. Zostało to podyktowane koniecznością zabezpieczenia łączności nawet w warunkach zakłóceńowych toru.

Do przekazywania informacji zastosowano w zabezpieczeniu modulację amplitudy. Ponieważ modulacja amplitudy jest wrażliwa na zakłócenia, więc dla ich wykrywania został zrealizowany dodatkowy kanał łączności o częstotliwości f_3 , położonej poniżej częstotliwości f_1 i f_2 . Zadaniem tego kanału jest kontrola stanu technicznego kabla. W wypadku pojawienia się w eksploatowanej parze żył przebiegów elektrycznych o częstotliwościach różnych od f_1 i f_2 następuje blokowanie działania zabezpieczenia na czas ich występowania. Spodziewanym źródłem zakłóceń są urządzenia energetyczne oraz przesłuchy z sąsiednich żył kabla, a więc zakłócenia o częstotliwościach umieszczonych względnie nisko w

widmie częstotliwości. Tymi względami podyktowany był wybór częstotliwości f_3 . Wymiana informacji w kanałach łączności zachodzi w sposób ciągły, niezależnie od stanu członu pobudzenia prądowego. Generator wraz ze wzmacniaczem nadawczym (1) pracują w konwencjonalnym układzie z dodatkową stabilizacją za pośrednictwem ujemnych sprzężeń zwrotnych. Modulacja przebiegu nośnego impulsami prostokątnymi, uformowanymi w układzie elektrycznym (3) z sinusoidy napięcia wyjściowego filtra składowych symetrycznych, zachodzi w modulatorze (2). Modulator przerywa sygnał z generatora i jednocześnie zwiera wejście filtra nadawczego, pasmowo-przepustowego (4), co skraca czas stanów nieustalonych w filtrze i zapobiega przekłamaniom w przekazywaniu informacji.

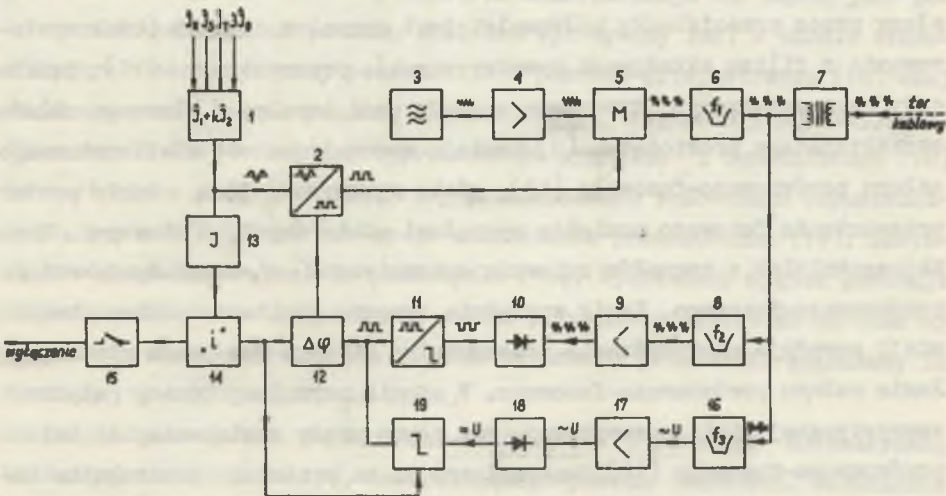
Impuls odebrany na przeciwległym końcu linii, z powodu ograniczonej szerokości kanału łączności, po przejściu przez filtr odbiorczy pasmowo-przepustowy (20) i wzmacniacz (19), na wyjściu detektora (18) ma kształt zbliżony do trapezu. Z tego sygnału odtwarzane są impulsy prostokątne w przerzutniku (17). Czas ich trwania jest zależny od amplitudy impulsu trapezowego. Dla uniknięcia tej zależności należy do wejścia przerzutnika (17) doprowadzać sygnał o stałym poziomie. Ponieważ dopuszczalny zakres tłumienia toru telekomunikacyjnego wynosi od 0,1 Np do 3 Np, w związku z tym wprowadzono we wzmacniaczu odbiornika (19) potencjometryczną regulację wzmocnienia, co pozwala wyrównać poziom napięcia podawanego do przerzutnika (17).

W wyniku badania wpływu zakłóceń o widmie ciągłym na przekłamania przekazywanej informacji stwierdzono, że prawidłowe odbieranie przesłanych sygnałów następuje gdy poziom zakłóceń jest niższy co najmniej o 0,3 Np od poziomu sygnału użytecznego. Jako kryterium nastawiania czułości człomu zakłóceń (9) i (21) przyjęto więc, że jego wzbudzenie nastąpi przy pojawieniu się sygnału zakłóceniewego o amplitudzie o połowę niższej niż amplituda sygnału użytecznego.

Przeprowadzona podczas prób zwarciovych rejestracja sygnałów elektrycznych w torze telekomunikacyjnym wykazała pojawienie się, w momencie zwarcia, zakłóceń o częstotliwości przemysłowej i o amplitudzie nie przekraczającej kilku mV, a więc o wartości kilkakrotnie niższej od amplitudy sygnału użytecznego.

Wyniki dotychczasowej eksploatacji nie podważyły słuszności przyjętego kryterium nastawiania czułości człomu zakłócenieniowego. Nie zanotowano ani błędnych działań człomu porównawczo-fazowego, ani pobudzenia człomu zakłócenieniowego. Jednakże należy uważać, że problem występowania zakłóceń i ich wpływu na pracę zabezpieczenia nadal pozostaje otwarty i dopiero bogatsze doświadczenia eksploatacyjne mogą dać podstawę do sformułowania ostatecznych wniosków.

Schemat blokowy półkompletu zabezpieczenia porównawczo-fazowego z łącem akustycznej częstotliwości przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy półkompletu zabezpieczenia porównawczo-fazowego typu RPFk

W zabezpieczeniu typu RPFk porównaniu podlegają fazy napięć wyjściowych filtrów składowych symetrycznych znajdujących się w półkompletach zabezpieczenia na obu końcach zabezpieczanego odcinka linii. Wymienione napięcia są funkcjami liniowymi składowych symetrycznych prądu trójfazowego. Prądy fazowe płynące w chronionej linii po przetransformowaniu przez przekładniki prądowe, zostają wprowadzone do filtra

$\hat{J}_1 + k\hat{J}_2$ (1). Otrzymane na wyjściu filtru napięcie jednofazowe doprowadzane jest do układu elektrycznego (2) przekształcającego sinusoidę w półokresowe prostokątne impulsy. Wymienione impulsy zostają wykorzystane w modulatorze (5) do przerywania w ich takt akustycznej częstotliwości nośnej wytworzonej w generatorze (3). Zmodulowany sygnał nośny poprzez filtr pasmowo-przepustowy (6) i transformator dopasowujący (7) zostaje wysłany łącem kablowym na drugi koniec linii. Na drugim końcu linii, odebrane sygnały akustycznej częstotliwości zostają selektywnie wybrane przez filtr pasmowo-przepustowy (8), wzmacnione (9), wyprostowane w detektorze (10), a następnie wzbudzają przerzutnik (11) odtwarzający impulsy prostokątne wytworzone w układzie (2) na przeciwległym końcu linii. W wypadku gdy sygnał akustycznej częstotliwości wysłany przez przeciwległy półkomplet jest sygnałem ciągłym (brak występowania z filtru składowych symetrycznych), przerzutnik (11) będzie cały czas wzbudzony. Odtworzone sygnały oraz impulsy z własnego układu kształtującego prostokąty (2) zostają wprowadzone do elektronicznego członu porównawczo-fazowego (12), gdzie wykonywany jest ciągły pomiar przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałami odbieranymi, a własnymi. Brak któregokolwiek z sygnałów zapewnia automatyczne niezadziałanie członu porównawczo-fazowego. Zanik względnie znaczne obniżenie poziomu transmisji powoduje niewzbudzenie przerzutnika (11), a tym samym niezadziałanie członu porównawczo-fazowego. W czasie normalnej pracy elektroenergetycznej linii przesyłowej, gdy płyną prądy obciążenia, do członu porównawczo-fazowego (12) doprowadzane są na przemian prostokątne impulsy w takt dodatnich półokresów sinusoid napięć wyjściowych filtrów składowych symetrycznych. Są to impulsy sformowane przez własny układ elektryczny (2) i impulsy sformowane na podstawie sygnałów odebranych z przeciwległego końca linii. Taki stan, odpowiadający zgodności faz pomiędzy napięciami wyjściowymi filtrów składowych symetrycznych, traktowany jest jako brak przesunięcia fazowego pomiędzy prostokątnymi impulsami doprowadzonymi do członu porównawczo-fazowego (12). W wypadku gdy przesunięcie fazowe pomiędzy odpowiednimi impulsami przekracza nastawioną wartość kąta zadziałania, następuje zadziałanie członu porów-

nawczo-fazowego i wysłanie sygnału do podzespołu iloczynu logicznego (14).

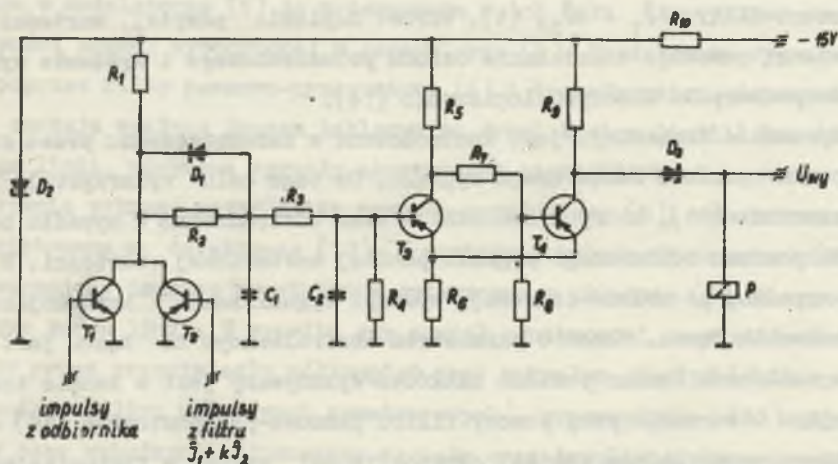
Człon pobudzeniowy (13) reaguje na wartość skuteczną napięcia wyjściowego filtra $\hat{J}_1 + kJ_2$, (1). Wzrost napięcia powyżej wartości nastawionej powoduje zadziałanie członu pobudzeniowego i wysłanie sygnału do podzespołu iloczynu logicznego (14).

Sprawność transmisji jest kontrolowana w zabezpieczeniu przez ciągły pomiar poziomu odbieranego sygnału. Do tego celu wykorzystuje się przerzutnik (11), który przechodzi w stan odzbudzenia w wypadku obniżenia poziomu odbieranego sygnału poniżej nastawionej wartości. W takim wypadku, po zwłoce czasowej, wystąpi sygnalizacja informująca o uszkodzeniu łącza. Ponadto parametrem kontrolowanym na łączu jest poziom zakłóceń. Pomiar poziomu zakłóceń wykonywany jest w kanale transmisyjnym utworzonym przy pomocy filtra pasmowo-przepustowego (16) obejmującego pasmo leżące poniżej częstotliwości sygnałów transmisyjnych. Przerzutnik (19) wzbudzany wyprostowanym sygnałem z demodulatora (18) ma nastawiany próg czułości. Przy przekroczeniu założonego dopuszczalnego, poziomu zakłóceń następuje zadziałanie przerzutnika (19). Zostaje wtedy wysłany sygnał do podzespołu (12). Wymieniony sygnał powoduje blokadę możliwości zadziałania członu porównawczo-fazowego na czas występowania zakłóceń. Zostaje również wzbudzony przekaźnik sygnałowy informujący o zakłóceniach na łączu.

Zadziałanie członu porównawczo-fazowego (12) powoduje automatyczną blokadę przerzutnika (19), kontrolującego poziom zakłóceń. Wzbudzenie przekaźnika wyjściowego (15) nastąpi jeżeli zadziała człon nadprądowy (13) i człon porównawczo-fazowy (12). Operację mnożenia logicznego w podzespołe (14) zrealizowano za pomocą szeregowo połączonych zestyków dwóch przekaźników kontaktronowych. Jeden z przekaźników wzbudzany jest przez nadprądowy człon pobudzeniowy (13), a drugi przez człon porównawczo-fazowy (12).

Rozwiązanie układowe członu porównawczo-fazowego pokazane jest na schemacie ideowym, rys. 3. Układ logiczny iloczynu na tranzystorach T_1 i T_2 porównuje fazy impulsów z odbiornika z fazą impulsów pochodzących z własnego filtra składowych symetrycznych. W wypadku względnego

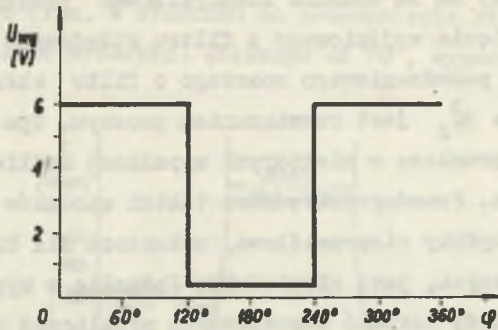
przesunięcia fazowego φ między impulsami, na wyjściu układu iloczymu pojawiają się impulsy o czasie trwania proporcjonalnym do wartości kąta przesunięcia fazowego.



Rys. 3. Schemat ideowy członu porównawczo-fazowego

W podwójnym układzie całkującym R_1, C_1, R_3, C_2 zostaje wyodrębniona składowa średnia przebiegu wyjściowego z układu iloczymu, a jej wielkość jest mierzona przez przerzutnik w układzie Schmitta charakteryzujący się dużą stabilnością parametrów. Gdy względne przesunięcie fazowe impulsów przekroczy wartość $\varphi = 60^\circ$, wartość średnia przebiegu osiąga poziom napięcia zadziałania. Następuje wzbudzenie przerzutnika i wystawienie przekaźnika kontaktronowego (P). Charakterystykę kątową członu porównawczo-fazowego przedstawia rys. 4.

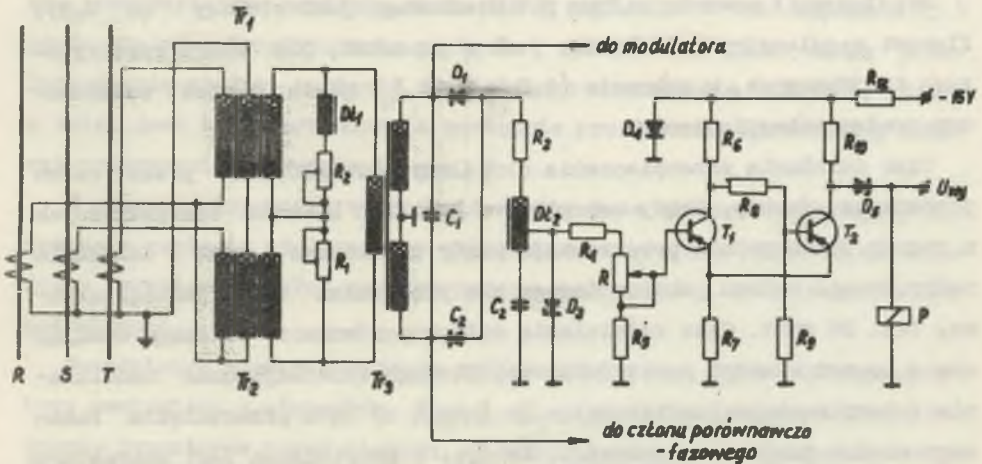
Przy wystąpieniu zwarcia zewnętrznego, w wyniku stanów nieustalonych tak prądu zwarciovego jak również stanów nieustalonych w obwodach wtórnych i obwodach zabezpieczenia, na wyjściu układu iloczymu może pojawić się pojedynczy impuls o czasie trwania nie przekraczającym 8 msek. Taki wypadek został zarejestrowany podczas prób zwarciovych, przy załączeniu linii na zewnętrzne zwarcie trójfazowe. Dla zapobieżenia nieprawidłowemu wzbudzeniu przerzutnika Schmitta, tak dobrano warunki pracy układu całkującego R_1, C_1, R_3, C_2 , aby układ



Rys. 4. Charakterystyka człomu porównawczo-fazowego

Schmitta został wzbudzony dopiero drugim impulsem pojawiającym się na wyjściu układu iloczynu. Przedłuża to czas zadziałania zabezpieczenia o około 20 msek lecz jednocześnie zwiększa niezawodność działania.

Oprócz wzbudzenia człomu porównawczo-fazowego, do zadziałania zabezpieczenia jest jeszcze konieczne wzbudzenie nadprądowego członu pobudzeniowego, działającego w oparciu o filtr składowych symetrycznych. Uproszczony schemat filtra składowych symetrycznych i człomu pobudzeniowego przedstawiony jest na rys. 5.



Rys. 5. Schemat ideowy filtra składowych symetrycznych i człomu pobudzeniowego zabezpieczenia typu RPFk

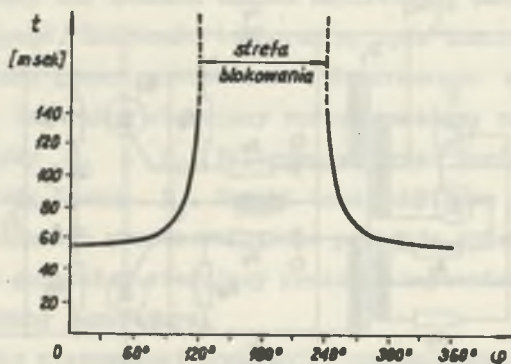
Człon pobudzeniowy ma za zadanie identyfikować przekroczenie określonej wartości napięcia wyjściowego z filtru składowych symetrycznych. Zastosowanie członu pobudzeniowego opartego o filtr składowych symetrycznych typu $\hat{J}_1 + k\hat{J}_2$ jest rozwiązaniem prostym. Tym niemniej, ten rodzaj pobudzenia ogranicza w niektórych wypadkach możliwość zastosowania zabezpieczenia. Prawdopodobieństwo takich warunków systemowych w których pobudzanie byłoby nieprawidłowe, zwłaszcza dla krótkich odcinków linii energetycznych, jest niewielkie. Jednakże w wypadkach budzących wątpliwości należy dokonać odpowiednich przeliczeń sprawdzających.

Filtr składowych symetrycznych został zrealizowany na elementach R i L. Napięcie wyjściowe z filtru $\hat{J}_1 + k\hat{J}_2$, po wyprostowaniu przez prostownik dwupołkowy D_1, D_2 i wygładzeniu przez filtr dolnoprzepustowy $D\hat{L}_2, C_2$, zostaje przez element regulacyjny R podane do układu mierzącego. Gdy napięcie na wejściu układu mierzącego przekroczy określony poziom, następuje skokowa zmiana stanu wyjściowego układu mierzącego, którym jest przerzutnik w układzie Schmitta i wzbudzenie przełącznika kontaktronowego P. Po obniżeniu napięcia wyjściowego filtru składowych symetrycznych, przerzutnik oraz przełącznik wracają do stanu początkowego.

Współczynnik powrotu członu pobudzeniowego jest większy od 0,85. Element regulacyjny wyskalowany jest w amperach, dla zwarć symetrycznych trójfazowych, w zakresie $(1,2 \div 2,4) J_n$, gdzie J_n jest znamionowym prądem zabezpieczenia.

Czas działania zabezpieczenia określony jest głównie przez człon porównawczo-fazowy. Prądy zwarciowe w krótkich liniach energetycznych z reguły kilkakrotnie przekraczają prądy znamionowe i czas działania nadprądowego członu pobudzeniowego nie przekracza wtedy jednego okresu, tzn. 20 msek. Czas zadziałania członu porównawczo-fazowego sumując się z czasem własnym przełącznika wyjściowego określają czas zadziałania zabezpieczenia, uzależniając go jednak od kąta przesunięcia fazowego między prądami zwarciovymi. Na rys. 6 przytoczona jest charakterystyka czasu zadziałania zabezpieczenia w funkcji kąta przesunięcia fazowego. Jak wynika z wykresu, czas zadziałania przy oglądnym przesuni-

nięciu fazowym (tzn. w stosunku do przesunięcia między prądami w normalnych warunkach przesyłu) większym od 70° , wynosi ok. 55 msek.

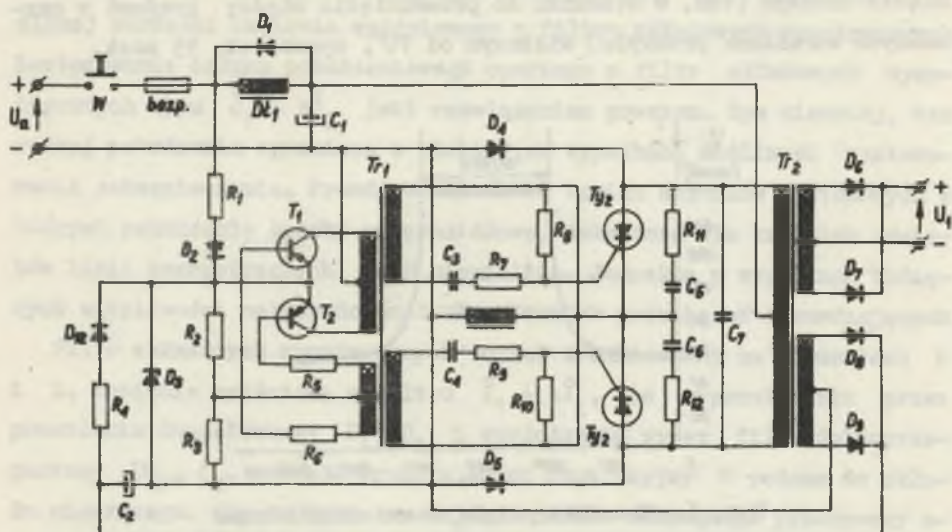


Rys. 6. Charakterystyka czasu zadziałania

Napięcie pomocnicze zabezpieczenia wynosi 15 V prądu stałego. Z dwóch zasadniczych koncepcji zasilania, prądem zmiennym z przekładników napięciowych lub napięciem sterowniczym prądu stałego, wybrano tę drugą. Do zasilania zabezpieczenia zastosowano przetwornicę tyrystorową, przetwarzającą napięcie stałe 110 V wzgl. 220 V na napięcie 15 V prądu stałego. Przetworzenie napięcia realizowane jest drogą przekształcenia stałego napięcia zasilającego na napięcie zmienne, które z kolei jest transformowane, a następnie prostowane. Uproszczony schemat przetwornicy przedstawia rys. 7.

W przetwornicy można wyodrębnić następujące układy: opóźniający narastanie napięcia stałego przy załączeniu, sterujący tyrystorami, właściwy tyrystorowy układ przetwarzający oraz układy prostowników dwupołówkowych.

Zasadniczym elementem układu opóźniającego jest filtr dolnoprzepustowy zestawiony z elementów $D\bar{L}_1$ i C_1 . Jego zadaniem jest zabezpieczenie tyrystorów przed zbędnym, niekontrolowanym, przejściem w stan przewodzenia na skutek przekroczenia dopuszczalnej dla tyrystora pochodnej napięcia $\frac{dU_a}{dt}$.



Rys. 7. Uproszczony schemat przetwornicy tyrystorowej zasilacza zabezpieczenia typu RPFk

W układzie sterującym tyrystorami zastosowano multiwibrator ferrotranzystorowy Royera. W jego skład wchodzi transformator Tr_1 , którego toroidalny rdzeń wykonany z permalloy'u posiada prostokątną pętlę histerezy oraz tranzystory T_1 i T_2 połączone w układzie dodatniego sprzężenia zwrotnego. Napięcie zasilające tranzystory doprowadzone jest ze źródła napięcia zasilającego U_a poprzez opornik redukcyjny R_1 . W transformatorze Tr_1 powstają prostokątne impulsy o częstotliwości około 250 Hz, które działając w obwodzie bramek tyrystorów powodują ich wysterowanie dla dodatnich wartości. W takt tych impulsów zmienia się kierunek prądu płynącego przez połowki uzwojenia transformatora Tr_2 . Kształt napięcia wytwarzanego na uzwojeniu pierwotnej strony transformatora ma charakter sinusoidy obciętej na poziomie napięcia zasilania. Wstępna eksploatacja przetwornic na obiektach energetycznych wykazała, że często występuje zjawisko niestabilnej komutacji polegające na równoczesnym przewodzeniu obu tyrystorów. W wyniku tego zjawiska następował zanik napięcia zmiennego. Szerzégówkowe badania pozwoliły ustalić, że przyczyną niestabilności, były przepięcia łącze-

niowe i skokowe zmiany wartości napięcia zasilającego np. w chwili przełączania na inne źródło zasilające. W takich warunkach następowała przerwa w pracy lub znaczna zmiana amplitudy i częstotliwości generatora sterującego. Zakłócało to normalny rytm komutacji. Zjawisku temu przeciwdziałano przez zastosowanie dodatkowego zasilania generatora sterującego. Generator sterujący został zasilany napięciem wyprostowanym przez diody D_8 i D_9 , filtrowanym przez kondensator C_2 i stabilizowanym diodą Zenera D_3 . Dzięki temu, chwilowe zmiany wartości napięcia zasilającego przetwornicę nie powodują zmian wartości napięcia zasilającego generator sterujący przez co zapewniona jest stała częstotliwość pracy generatora.

Zagadnienie niezawodnej komutacji, uniemożliwiającej trwałe przejście dwóch tyrystorów w stan przewodzenia i spowodowanie przez to zwarcia obwodu napięcia zasilającego było poważnym problemem konstrukcyjnym. Jego rozwiązanie zależało również od charakterystyk zastosowanego typu tyrystorów. Obecnie, przetwornice pracujące w przedstawionym układzie nie stwarzają trudności eksploatacyjnych. Przy zmianach napięcia zasilającego w granicach $\pm 10\%$ wartości znamionowej, zmiana wartości napięcia wyjściowego nie przekracza 1%, a amplituda tętnień jest mniejsza od 10 mV.

Doświadczenia eksploatacyjne z omówionym typem zabezpieczeń są stosunkowo skromne, chociaż dwa zabezpieczenia pracują na liniach 220 kV o długości 5 km każda, od roku 1968. W ciągu trzyletniego okresu eksploatacji nie było zwarc wewnątrz chromionych odcinków i zabezpieczenia nie powodowały wyłączeń linii, natomiast przy licznych zwarcjach zewnętrznych następowało działanie nadprądowych członów pobudzeniowych. W ciągu pierwszego roku eksploatacji dwukrotnie nastąpiło uszkodzenie elementów; raz uszkodził się tranzystor i raz kondensator. Po 2,5 letnim okresie eksploatacji przeprowadzono szczegółowe badania kontrolne zabezpieczeń. Stwierdzono zmiany niektórych parametrów nie przekraczające jednak dopuszczalnych tolerancji.

W roku 1970 dla zabezpieczenia zainstalowanego na linii 110 kV o długości 8 km przeprowadzono próby zwarcowe. Program prób obejmował zwarcie jednofazowe w strefie, dwufazowe poza strefą oraz załączenie

na zewnętrzne zwarcie trójfazowe. W trakcie prób zwarciovych rejestrowano oscylografem pętlicowym przebiegi elektryczne w obwodach zabezpieczenia i torze transmisyjnym. Zarejestrowane przebiegi były zgodne z uzyskanymi wcześniej w laboratorium przy badaniach na modelu linii. Zabezpieczenie działało przy wszystkich zwarciach prawidłowo, potwierdzając uzyskiwanie założonych parametrów oraz wykazując swą przydatność do zabezpieczenia elektroenergetycznych linii przesyłowych.

Б. ВОЙЦЕХОВСКИ, С. СТОЛЖ
Я. СУЧИК, А. ЦЕРШЕНЕВСКИ
Исследовательско-Измерительный Институт
"Энергопомяр" Гливице

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНАЯ ЗАЩИТА КОРОТКИХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

К о р о т к о е с о д е р ж а н и е

В статье представлена дифференциально-фазная защита с каналом звуковой частоты. Защита предназначена для коротких линий высокого напряжения, соединяющих подстанции между которыми находится телекоммуникационный кабель. Критерием, определяющим выступление к.з. в зоне или вне зоны действия защиты, является величина сдвига фаз между выходными токами фильтров симметрических составляющих типа $\hat{I}_1 + k\hat{I}_2$, которые включены с обеих сторон линии. Пусковой элемент защиты срабатывает увеличении действующего значения выходного тока вышеуказанного фильтра. Защита снабжена в устройства контролирующие исправность трансмиссионного канала сигналов звуковой частоты. Управляющее напряжение защиты составляет 15 в постоянного тока, при чем защита питается напряжением 110 в или 220 в постоянного тока, получаемого от тиристорного преобразователя. Защита может содействовать с устройством автоматического повторного включения (АМВ), а также с фазовым избирателем.

Принцип переноса информации с знаком мгновенного значения выходного тока фильтра симметричных составляющих основан на использовании амплитудной модуляции несущей частоты f_1 для одного направления и частоты f_2 для друго-

го направления передачи. Блок-схема телетрансмиссионных устройств защиты представлена на рис. 1.

Кроме частоты передающих каналов f_1 и f_2 введено на частоте f_3 канал, контролирующий наличие токов помех с частотами лежащих ниже передающей полосы частот. В случае возникновения помех, уровень которых превышает допустимый, наступает автоматическая блокировка защиты на время выступления помех.

На рис. 2 изображена блок-схема полуконспекта защиты. Схема указывает главные элементы защиты, а также функциональную зависимость между элементами.

Рис. 3 представляет принципиальную схему дифференциально-фазного элемента. Логическое устройство "VI" (AND) на транзисторах T_1 и T_2 сравнивает фазу импульсов принятых с противоположного конца линии с фазой импульсов, получаемых с собственного фильтра симметричных составляющих. Измерительным устройством является триггер по схеме Шмитта. Угловая характеристика дифференциально-фазного элемента показана на рис. 4.

Рис. 5 иллюстрирует принципиальную схему фильтра симметричных составляющих $\hat{I}_1 + k\hat{I}_2$, а также пускового элемента, реагирующего на действующее значения процессов на выходе выше упомянутого фильтра. Пусковой элемент имеет шкалу в амперах в пределе $(1,2 \dots 2,4) I_n$, где: I_n - номинальный ток защиты. Из временной характеристики защиты представленной на рис. 6 видно, что среднее время действия защиты составляет около 55 мсек.

Рис. 7 представляет схему тиристорного преобразователя являющегося источником напряжения управления защиты. В системе управления тиристорами применяется ферротранзисторный мультивибратор Раера (Royer) Трансформатор T_1 , входящий в состав мультивибратора, изготовлен на тороидальном сердечнике из пермаллоя и имеет прямоугольную петлю гистерезиса.

Впервые два комплекта этой защиты введено в 1968 г. на линиях 220 кв длиной ок. 5 км каждая. Большинство этих защит установлено в 1970 г. Проведено тоже испытания на короткие замыкания на линии 110 кв длиной 8 км. Испытания охватывали однофазные к.з. в зоне, двухфазные к.з. вне зоны, а также включение на внешнее трехфазное к.з.

Положительные результаты испытаний на короткое замыкание и результаты эксплуатации подтверждают достижение проектированных параметров, а также получение хороших результатов в случае применения защиты для коротких линий высокого напряжения.

ПОДПИСИ ПОД РИСУНКАМИ

- Рис. 1. Упрощенная блок-схема телетрансмиссионной части защиты
- Рис. 2. Блок-схема полуконспекта дифференциально-фазной защиты типа РДФК (RPFK)
- Рис. 3. Принципиальная схема дифференциально-фазного элемента
- Рис. 4. Характеристика дифференциально-фазного элемента
- Рис. 5. Принципиальная схема фильтра симметричных составляющих и пускового элемента защиты типа РДФК
- Рис. 6. Временная характеристика
- Рис. 7. Упрощенная схема тиристорного преобразователя источника питания защиты типа РДФК

J. WOJCIECHOWSKI, S. STOLARZ,
J. SUCZYK, A. SZERSZENIEWSKI
Testing and Measurements Establishment
"Energopomiar" Gliwice

PHASE-COMPARISON PROTECTION
OF SHORT POWER LINES

S u m m a r y

The paper presents phase-comparison protection operating with audio-frequency line. The protection is designed for short sections of high voltage lines between stations connected by means of telecommunication cables. The criterion determining whether the fault is inside or outside the protected section of line is value of phase shift between output currents of sequence - components filters $\hat{I}_1 + k\hat{I}_2$ type operating on both ends of the section. Starting element of the protection operates at increasing of r.m.s. output current of the filter. The protection is provided with units for checking the telecommunication connection for audiofrequency signal transmission. The protection auxiliary voltage is 15V d.c., the device being energized with 110 V or 220 V d.c. by means of thyristor converter. The protection may cooperate with autoreclosing gear and with phase selecting gear.

The amplitude modulation of carrier frequency f_1 for one direction and f_2 for another direction of transmission is the principle, on which is based the transmitting of information containing algebraic sign of instantaneous value of sequence components filter output current. Fig. 1 (rys. 1) shows the block diagram of teletransmission installations of protection. Besides transmission channels frequencies f_1 and f_2 there is employed checking channel frequency f_3 . The pur-

pose of checking is to find out interfering currents of frequencies being beyond transmission band frequency. When the level of interferences is not within permissible limits the protection is automatically interlocked for time of interferences duration.

Fig. 2 (rys. 2) shows block diagram of half-complete set of the protection. The diagram includes main units of the protection and operating connections between them. Schematic diagram of phase-comparison element is given in Fig. 3 (rys. 3). The phase angle of impulses received from opposite end of the line is compared with that given by own filter of sequence-components. Comparison is made in logical block AND (transistors T1 and T2). The measuring element is Schmitt arrangement trigger. The angle characteristic of phase-comparison element is given in Fig. 4 (rys. 4).

In Fig. 5 (rys. 5) there are given schematic diagrams of filter of sequence components $\hat{I}_1 + k\hat{I}_2$ type and of starting element operating at increasing of r.m.s. output current of the filter. The scale of starting element is marked in Amperes for symmetrical 3-phase faults within the range (1,2,...,2,4) I_n , where I_n is rated current of the protection. From the operating time characteristic of the protection, given in Fig. 6 (rys. 6), it is seen that mean operating time of the protection is about 55 ms. In Fig. 7 (rys. 7) there is presented schematic diagram of thyristor converter which supplies auxiliary voltage to the protection. In control system of thyristors the ferrotransistor Royer multivibrator is used. The transformer T_{r1} which is a part of multivibrator is made on permalloy torroidal core and has rectangular shape hysteresis loop.

The first two protection sets of type discussed above have been installed in 1968 on 220 kV lines, 5 km long. Greater amount of protections have been installed in 1970. The fault tests were also carried out on 110 kV line, 8 km long. They included single phase faults inside the protected zone, double phase faults outside the protected zone and making the circuit on outside 3-phase fault. The results of fault tests and operating data are both satisfactory. They prove that predio-

ted parameters are actually achieved and good results are obtainable in case of short high voltage lines.

FIGURES DESCRIPTIONS

- Fig. 1. Simplified block diagram of teletransmission part of the protection
- Fig. 2. Block diagram of haf-complete set of phase-comparison protection RPFk type
- Fig. 3. Schematic diagram of phase-comparison element
- Fig. 4. Characteristic of phase-comparison element
- Fig. 5. Schematic diagram of sequence-components filter and starting element of RPFk protection
- Fig. 6. Operating time characteristic
- Fig. 7. Simplified diagram of thyristor converter of RPFk protection feeder