

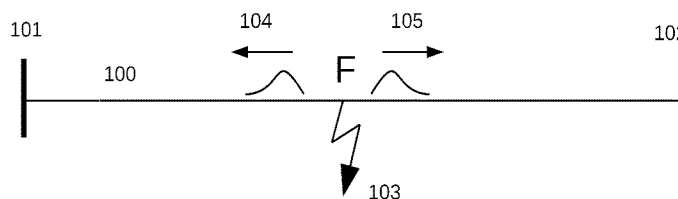
## Jednostronny układ pomiarowy oraz metoda detekcji zwarć występujących w liniach SN z wykorzystaniem fal wielokrotnie odbitych.

Przedmiotem wynalazku jest jednostronny układ pomiarowy oraz metoda detekcji zwarć występujących w liniach SN z wykorzystaniem fal wielokrotnie odbitych.

Linie elektroenergetyczne służą do przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej z miejsca jej wytworzenia do punktów odbioru. Nienormalne stany pracy linii, w tym zwarcia i ich wykrywanie, mają duży wpływ na niezawodność systemu elektroenergetycznego i pewność dostaw energii elektrycznej. Przedłużający się czas trwania zwarć może powodować straty finansowe spowodowane nie tylko uszkodzeniami aparatury biorącej udział w dystrybucji energii, ale również dłuższymi przestojami procesów po stronie odbiorców.

Typowe czasy działania aktualnie stosowanych konwencjonalnych zabezpieczeń linii SN, opartych o pomiary prądów i napięć o częstotliwości 50 Hz, wynoszą 20-40 ms. Jest to czas od jednego do dwóch pełnych okresów prądu o częstotliwości 50 Hz. Czas całkowitej eliminacji zwarcia jest wydłużony dodatkowo o czas otwarcia wyłącznika przerywającego przepływ prądu zwarciego, a więc typowo o kolejne 100 ms. Całkowity czas eliminacji zwarcia jest wystarczający do wyzwolenia energii na tyle dużej, żeby uszkodzić część aparatury rozdzielczej Średniego Napięcia (SN) stojącej na drodze przepływu prądu zwarciego. W przypadku detekcji zakłócenia przez nowy typ zabezpieczenia o czasie detekcji krótszym niż wspomniane kilkadziesiąt ms, prąd zwarciego o częstotliwości 50 Hz może powodować mniejsze efekty cieplne. Stąd też istotnego znaczenia nabiera problem możliwości detekcji zwarć występujących w krótkich czasach rzędu setek mikrosekund. Detekcja zakłóceń w tym przypadku może być wykonana w oparciu o pomiar fal propagujących się linią elektroenergetyczną, które mają swoje źródło w nagłych zmianach napięcia i propagowane są w obydwu kierunkach wzdłuż linii elektroenergetycznej od miejsca wystąpienia zdarzenia.

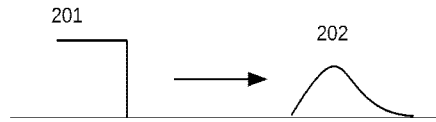
Poniżej przedstawiono schemat propagacji fal elektromagnetycznych linią elektroenergetyczną na przykładzie zdarzenia, którym jest wystąpienie zwarcia.



W tym przypadku w linii elektroenergetycznej 100, łączącej szyny zbiorcze stacji 101 i 102, wystąpiło zwarcie F 103. Na jego skutek nastąpiło nagłe obniżenie napięcia, które w efekcie

powoduje wygenerowanie dwóch fal 104 i 105, propagujących się w przeciwnych kierunkach do szyn stacji 101 i 102.

Wygenerowane fale, jak pokazano poniżej, mają pionowe czoło w miejscu powstania 201 (miejsce wystąpienia zwarcia) i są tłumione wraz z przebytą drogą, co powoduje zmniejszenie ich amplitudy oraz wydłużenie czoła fali w miejscu 202.



Fale są propagowane i tłumione w ośrodkach jednorodnych. W miejscach nieciągłości rozumianej jako zmiana impedancji falowej ośrodków, część energii fali ulega odbiciu, a część jest przekazywana dalej za miejsce nieciągłości. Takimi miejscami nieciągłości są szyny stacji oraz miejsce zwarcia.

Stosunek energii przekazanej i odbitej jest związany ze stosunkiem impedancji falowych ośrodków za i przed nieciągłością, na której następuje odbicie.

Współczynniki odbicia  $R$  i transmisji  $T$  są określane wzorami

$$T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}, \quad R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

gdzie  $Z_1$  jest impedancją falową ośrodka, w którym fala jest propagowana, natomiast  $Z_2$  falą ośrodka, do którego fala jest propagowana, zgodnie z kierunkiem propagacji.

Prędkość propagacji fal jest równa około 98% prędkości światła w liniach napowietrznych oraz około 50% prędkości światła w liniach kablowych. Różnica jest związana z pojemnościami poprzecznymi występującymi w tych typach linii, których to przeładowanie stoi za mechanizmem propagacji fali.

Teoretyczną prędkość propagacji  $V_p$  można wyznaczyć z wzoru

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

gdzie  $L$  – indukcyjność wzdłużna linii,  $C$  – pojemność poprzeczna linii.

Energia użyteczna propagowanych fal zawiera się w częstotliwościach z zakresu 10 – 600 kHz. Dokonując pomiaru przebiegów wysokiej częstotliwości, układ automatyki zabezpieczeniowej jest w stanie zidentyfikować fale propagujące się linią SN na skutek zwarcia oraz ich właściwości, takie jak czas odebrania, amplituda i polaryzacja. Na ich podstawie, jeszcze przed przepływem prądu zwarciovego o częstotliwości 50 Hz, układ automatyki jest w stanie w czasie setek mikrosekund wykryć zwarcie i podać sygnał na otwarcie wyłącznika.

W zgłoszeniach patentowych i publikacjach naukowych tworzących aktualny stan techniki, można znaleźć wiele rozwiązań pozwalających na detekcję fal propagujących się liniami elektroenergetycznymi.

Z opisu patentowego WO2015039113A1 znana jest metoda lokalizacji zwarcia w liniach najwyższych napięć z wykorzystaniem dwóch urządzeń pomiarowych, wzajemnie zsynchronizowanych, zainstalowanych na dwóch końcach linii. Przedstawiona metoda wykorzystuje sygnały wysokiej częstotliwości poddawane różniczkowaniu, a następnie wygładzaniu w celu określenia dokładnej chwili odebrania fali. Różnica w czasie odebrania pierwszych fal, na dwóch końcach linii jest wykorzystywana do określenia miejsca wystąpienia zwarcia.

Opis patentowy WO201MDF8584A1 przedstawia modyfikację wspomnianego powyżej systemu polegającą, na wykorzystaniu obrazu fal, odebranego podczas załączenia linii pod napięcie. Obraz ten jest porównywany z obrazem zarejestrowanym podczas zdarzenia nieplanowanego takiego jak zwarcie. Różnicą obydwu obrazów są fale odbite od dodanej nieciągłości linii, jaką jest miejsce wystąpienia zwarcia. Zidentyfikowana w ten sposób fala odbita od miejsca zwarcia i różnica w czasie jej odebrania w stosunku do pierwszej odebranej fali, pozwala na wyznaczenie miejsca zwarcia.

Z opisu patentowego WO2019598A1 znane są metoda i układ pomiarowy pozwalające na lokalizację miejsca zwarcia na podstawie urządzenia zainstalowanego na jednym końcu linii, w linii przesyłowej zasilanej dwustronnie. Problemem w tego typu rozwiązaniach jest identyfikacja fal odbitych od miejsca zwarcia i ich rozróżnienie od fal przekazanych przez miejsce zwarcia z drugiego końca linii. Proponowana metoda polega na wyznaczeniu hipotetycznych fal będących odbitymi od miejsca zwarcia, tworząc pary z pierwszą odebraną falą. Hipotetyczne fale są dobierane na podstawie zgodności polaryzacji. Najbardziej prawdopodobna para, której wzajemna różnica w czasie wyznacza odległość do miejsca zwarcia jest wybierana na podstawie algorytmów pomocniczych takich jak impedancyjna lokalizacja miejsca zwarcia lub dwustronna lokalizacja miejsca zwarcia.

Z opisu patentowego WO2019060714A1 znana jest jednostronna metoda identyfikacji fal z wykorzystaniem pomiaru ich zniekształcenia. Każda nieciągłość, od której fale są odbijane i przez nie przekazywane, powoduje specyficzne dla niego odkształcenie fali. Na podstawie porównania kształtu pierwszej odebranej fali oraz fal kolejnych, metoda pozwala na poprawną identyfikację fali odbitej od miejsca zwarcia, i w efekcie, na określenie miejsca wystąpienia zwarcia.

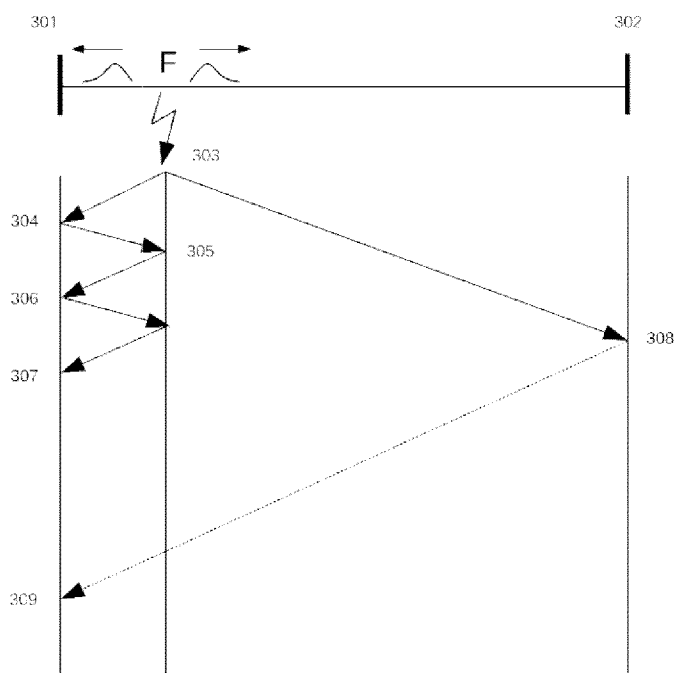
Opis patentowy AU2005275276B2 opisuje zabezpieczenie linii przesyłowej WN/NN, bazujące na pomiarze prądu przez jedną lub więcej cewek Rogowskiego. Służą one do identyfikacji dwóch następujących po sobie fal. Fale o amplitudach przekraczających nastawioną wartość są oznaczane czasem odebrania i polaryzacją. Różnica pomiędzy czasami odebrania fal jest proporcjonalna do odległości do miejsca zwarcia. Zestaw kilku Cewek Rogowskiego

zainstalowanych w rozdzielni, może posłużyć do określenia faktu wystąpienia zwarcia w linii przesyłowej lub na szynach.

Powyższe rozwiązania odnoszą się do linii Wysokich (WN) i Najwyższych Napięć (NN), które to współtworzą sieci o strukturze zamkniętej. Oznacza to, że każda linia posiada zasilanie z dwóch stron, a tym samym do samodzielnego działania wymaga pomiarów z dwóch stron monitorowanej linii. Jest to spowodowane trudnością w rozróżnieniu fal odbitych od miejsca zwarcia oraz przeciwległego końca linii, które to rozróżnienie jest kluczowe dla poprawnego działania przy pomiarze jednostronnym.

Powyższą sytuację zobrazowano na dwóch przykładach: pierwszym, w którym zwarcie wystąpiło poniżej 2/3 długości linii, oraz drugim, w którym zwarcie wystąpiło powyżej 2/3 długości całkowitej linii.

W pierwszym przykładzie, w którym zwarcie wystąpiło poniżej 2/3 długości linii, fala powstaje w miejscu 303 na skutek zwarcia F i propaguje się w dwóch kierunkach, do szyn 301 (miejsce zainstalowania urządzenia pomiarowego) i 302 (szyny zbiorcze sąsiedniej stacji). Przykład ten zilustrowano poniżej.



Pierwsza fala (304) zostaje odebrana przez urządzenie, odbija się od szyn 301 i propaguje w stronę miejsca zwarcia (305), następnie odbija się od niego i wraca w stronę szyn 301 w postaci fali 306.

Czas występujący między detekcją przez urządzenie zainstalowane w stacji 301 fal 304 i 306 jest wystarczający do obliczenia odległości do miejsca zwarcia  $d$  zgodnie z wzorem:

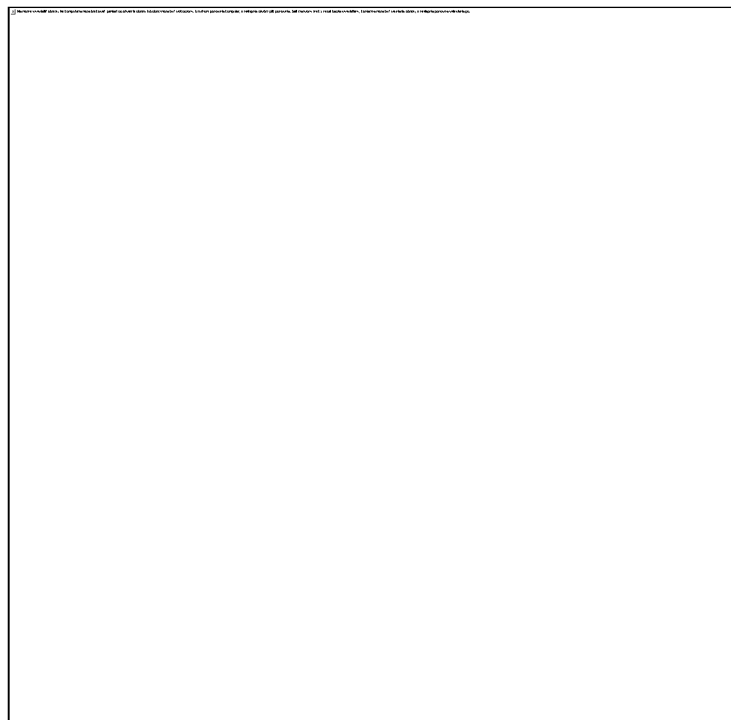
$$d = 0.5(t_2 - t_1)V_p$$

gdzie  $t_1$  – czas odebrania pierwszej fali,  $t_2$  – czas odebrania pierwszej odbitej fali od miejsca zwarcia. Odległość lub czas propagacji do miejsca zwarcia, mogą posłużyć jako wielkość kryterialna zabezpieczenia linii. Należy zauważyć, że w tym przypadku zanim do szyn 301 dotrze fala 309 będąca falą odbitą od szyn 302 i przekazaną przez miejsce zwarcia, do szyn 301 dociera druga fala 307 odbita od miejsca zwarcia.

W drugim analizowanym przykładzie, zwarcie występuje w odległości powyżej  $2/3$  długości całkowitej linii. W tym przypadku, co pokazano na rysunku poniżej, urządzenie zainstalowane w stacji 101 odbiera jako pierwszą, falę 404 propagującą się w stronę szyn 401 od miejsca zwarcia 403.

Z uwagi na dużą odległość wystąpienia zwarcia od szyn stacji 401, część fali odbitej 407 od szyn 402 przechodzi przez miejsce zwarcia i dociera do szyn 401 jako fala 408. Dopiero po pewnym czasie do szyn 401 dociera pierwsza odbita fala od miejsca zwarcia 405 i jest odbierana przez urządzenie jako fala 406.

Przykład zwarcia powyżej  $2/3$  długości linii zilustrowano na poniższym schemacie:



Opisane wyżej przykłady odnoszą się do sieci WN/NN. Natomiast w odniesieniu do sieci SN, które charakteryzują się strukturą otwartą z zasilaniem jednostronnym, z uwagi na brak zasilania na przeciwległym końcu linii (po stronie odbiorów), propagacja odbitych od niego fal jest w przypadku sieci SN znacznie ograniczona. Wymusza to implementację układów i metod pomiarowych wykorzystujących pomiary na jednym jej końcu.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest:

- układ pomiarowy, pozwalający na wierne odwzorowanie sygnałów prądowych wysokich częstotliwości oraz pomiar napięć, stanowiących wejście dla urządzenia pomiarowego.
- metoda detekcji zwarc w liniach SN, oparta o zjawisko odbijania fal elektromagnetycznych.

Jednostronny układ pomiarowy według wynalazku, zawierający sensory prądu oraz sensory napięcia charakteryzuje się tym, że składa się z zainstalowanych na jednym końcu linii SN, od strony zasilania, co najmniej jednego sensora prądu umocowanego bezpośrednio na kablu elektroenergetycznym SN, bez ingerencji w jego ciągłość, oraz z co najmniej jednego sensora napięcia, przy czym sygnały pomiarowe w postaci pomiaru prądu lub pochodnej prądu, gdzie pochodna prądu może być pierwszego rzędu, drugiego rzędu lub wyższych rzędów, wygenerowane przez sensory prądu, oraz sygnały pomiarowe w postaci pomiaru napięcia, wygenerowane przez sensory napięcia, są wprowadzane bezpośrednio, w postaci sygnałów elektrycznych: prądu oraz napięciowego, na zaciski pojedynczego urządzenia pomiarowego, zainstalowanego na tym samym końcu linii energetycznej SN.

Korzystnie jest, gdy urządzenie pomiarowe wyposażone jest w procesor, którego pamięć PA zawiera moduł akwizycji danych MAD, moduł detekcji fal MDF, moduł zabezpieczenia linii SN MZL, moduł estymacji amplitudy MEA, moduł odstrojenia i zadziałania MOZ oraz moduł komunikacyjny MK.

Korzystnie jest, gdy sensorem prądu umożliwiającym pomiar prądu lub pierwszej pochodnej prądu lub drugiej pochodnej prądu jest cewka Rogowskiego.

Korzystnie jest, gdy jednostronny układ pomiarowy dokonuje pomiaru co najmniej 3 fal odbitych od miejsca zwarcia.

Metoda detekcji zwarc w liniach SN według wynalazku, oparta o zjawisko odbijania fal elektromagnetycznych, charakteryzuje się tym, że:

a) w module detekcji fali MDF dokonywane są następujące działania:

- identyfikacja pierwszej, drugiej i kolejnych fal prądu, w oparciu o dane z modułu akwizycji danych MAD, przetworzone przez moduł akwizycji danych MAD na podstawie sygnału prądu lub sygnału pochodnej prądu, przy czym sygnał pochodnej prądu może być pierwszego rzędu lub wyższych rzędów, gdzie sygnały te pochodzą z sensora prądu, przy czym moduł detekcji fali MDF określa czas odebrania fali oraz jej polaryzację i amplitudę,

- jednoczesny pomiar polaryzacji napięcia w fazie, w której dokonano identyfikacji pierwszej fali prądu, na podstawie sygnału napięciowego pochodzącego z sensorów napięcia,
- b) na podstawie parametrów w postaci czasu odebrania, polaryzacji i amplitudy pierwszej i kolejnych fal prądu, w module zabezpieczenia linii SN MZL dokonywane są następujące działania:
- porównanie polaryzacji pierwszej, drugiej i kolejnych odebranych fal z polaryzacją napięcia tej samej fazy i chwili, w której odebrano pierwszą falę, przy czym akceptuje się je do dalszego przetwarzania tylko w przypadku uzyskania zgodności polaryzacji pierwszej i kolejnych odebranych fal z polaryzacją napięcia tej samej fazy i chwili, w której odebrano pierwszą falę,
  - porównanie zgodności różnic w czasach odbioru fal zaakceptowanych na podstawie polaryzacji - drugiej z pierwszą, do różnic w czasach odbioru trzeciej i kolejnych fal z falami je poprzedzającymi, uwzględniając przy porównaniu zadaną czułość, przy czym akceptuje się do dalszego przetwarzania tylko fale spełniające warunki porównania różnic w czasach odbioru fali - drugiej z pierwszą, do różnic w czasach odbioru trzeciej i kolejnych fal z falami je poprzedzającymi,
  - porównanie wartości amplitud fali trzeciej i kolejnych, zaakceptowanych na podstawie różnic w czasach odbioru fal do wartości minimalnej  $A_d$  i wartości maksymalnej  $A_g$ , określanych w module estymacji amplitudy MEA dla fali trzeciej i kolejnych z osobna, na podstawie spodziewanego tłumienia wprowadzanego przez linię, oszacowanego w module estymacji amplitudy MEA, na podstawie wartości amplitud pierwszych dwóch odebranych fal,
  - pobudzenie zabezpieczenia linii SN na podstawie odebranych i zaakceptowanych co najmniej 3 fal prądu, charakteryzujących się zgodnością wzajemnych różnic w czasach ich odbioru, wzajemnej zgodności polaryzacji oraz zgodnością wartości amplitud fal, zawierających się między wartością minimalną i maksymalną określaną dla każdej fali z osobna, przez moduł MEA dla fal trzeciej i kolejnych.
- c) w wyniku pobudzenia modułu zabezpieczenia linii SN MZL, w module odstrojenia i zadziałania MOZ dokonywane są następujące działania:
- blokada działania modułu zabezpieczenia linii SN MZL, jeśli czas propagacji fali do miejsca zwarcia, rozumiany jako połowa różnicy w czasach odbioru dwóch następujących po sobie i zaakceptowanych fal, jest dłuższy niż czas propagacji fali na całej długości linii, lub jest z określoną tolerancją równy czasowi propagacji fali do miejsc nieczułości,

- wystawienie sygnału na otwarciu wyłącznika, w celu zapewnienia przerwy w obwodzie przepływu prądu zwarciovego, przy czym wystawienie sygnału na otwarciu wyłącznika następuje, jeśli spełnione są warunki pobudzenia zabezpieczenia linii SN i nie wystąpi blokada działania modułu zabezpieczenia linii SN.

Jednostronny układ pomiarowy wraz z urządzeniem pomiarowym implementującym metodę detekcji zwarcia na podstawie fal wielokrotnie odbitych propagujących się liniami SN, może zostać zastosowany w rozdzielnicach SN w celu wydłużenia ich czasu życia, zmniejszenia strat materiałowych, finansowych i procesowych, będących następstwem zwarcia występujących w liniach elektroenergetycznych SN.

Wdrożenie jednostronnego układu pomiarowego wraz z metodą detekcji, będącego przedmiotem wynalazku, jest mniej skomplikowane i tańsze w porównaniu do układów dwustronnych. Wynalazek pozwala na poprawę bezpieczeństwa zasilania obiektu, w którym został zainstalowany, ochronę aparatury rozdzielczej jak również poprawę bezpieczeństwa obsługi i osób przebywających w pobliżu urządzeń ruchu elektrycznego.

Przedmiot wynalazku w nieograniczającym przykładzie wykonania przedstawiony został na rysunku, na którym: fig. 1 przedstawia schemat blokowy połączeń układu pomiarowego, a fig. 2 przedstawia algorytm procedury detekcji zwarcia w linii SN.

Linia elektroenergetyczna SN 500 jest połączona z podsystemem zasilającym 501 poprzez szynę rozdzielnicę 502.

Układ pomiarowy składa się z jednego lub kilku sensorów prądu 503 zakładanych bezpośrednio na kable linii elektroenergetycznej SN 500, bez ingerencji w ich ciągłość, oraz z jednego lub kilku sensorów napięcia 504.

Sensory prądu 503 oraz sensory napięcia 504 instalowane są na jednym końcu linii elektroenergetycznej SN 500, od strony zasilania 501. Z drugiej strony linii elektroenergetycznej SN 500 znajdują się odbiorniki energii elektrycznej 505.

Sensory prądu 503 charakteryzują się szerokim pasmem przenoszenia sygnałów, wystarczającym do poprawnej analizy zjawisk falowych do 1 MHz.

W wyniku pomiaru prądu lub pochodnej prądu przez sensory prądu 503 oraz pomiaru napięcia przez sensory napięcia 504, generowane są sygnały pomiarowe, które są wprowadzane bezpośrednio, w postaci sygnałów napięciowych 601 oraz sygnałów prądu 602, na zaciski urządzenia pomiarowego 600.

Urządzenie pomiarowe 600 składa się z transformatorów wejściowych 603 oraz 604, połączonych poprzez przetworniki analogowo-cyfrowe 605 oraz 606 z procesorem 607.

Sygnał prądu 602 pochodzący z sensora prądu 503 pozwala na identyfikację fal propagujących się linią energetyczną SN 500, których odbiór jest widoczny jako nagłe skoki wartości mierzonego prądu.

Sygnał prądu 602 pochodzący z sensora prądu 503 przechodzi przez transformator wejściowy 604 i jest poddawany próbkowaniu z częstotliwością co najmniej 1 MHz przez przetwornik analogowo-cyfrowy 606.

Urządzenie pomiarowe 600 dokonuje próbkowania sygnału prądu lub pierwszej lub drugiej pochodnej prądu 602, pochodzących z jednego lub kilku sensorów prądu 503.

Do urządzenia pomiarowego 600 może być podłączony jeden lub kilka sygnałów napięciowych 601, pochodzących z jednego lub kilku sensorów napięcia 504, podawanych na transformator wejściowy 603 oraz przetwornik analogowo-cyfrowy 605.

Próbkowane wartości jednego lub kilku sygnałów prądu lub pochodnej prądu 602 oraz jednego lub kilku sygnałów napięciowych 601 są przetwarzane przez procesor 607.

Procesor 607 wyposażony jest w nieulotną pamięć PA, w której umieszczone są współdziałające między sobą moduły:

- moduł akwizycji danych MAD, odpowiedzialny za odczyt i obróbkę danych pochodzących z przetworników analogowo-cyfrowych,
- moduł detekcji fali MDF, który na podstawie danych pochodzących z modułu akwizycji danych MAD wykrywa fale oraz określa na ich podstawie parametry takie jak: znacznik czasu odebrania fali, amplituda i polaryzacja fali oraz polaryzacja napięcia w chwili odebrania fali prądu,
- moduł zabezpieczenia linii SN MZL, który dokonuje wykrycia zwarcia i obliczeń możliwych czasów propagacji do miejsca zwarcia, polegających na sprawdzeniu i porównaniu parametrów odebranych fal,
- moduł estymacji amplitud MEA, który sprawdza, czy określona amplituda fali mieści się między wartościami minimalną i maksymalną oszacowanymi na podstawie spodziewanego tłumienia wprowadzanego przez linię, oszacowanego w module estymacji amplitudy MEA, na podstawie wartości amplitud pierwszych dwóch odebranych fal. Estymacja amplitud następuje na żądanie modułu zabezpieczenia linii SN MZL, zwracając wyniki do tego modułu, które są przez niego wykorzystywane do sprawdzenia kolejnych warunków,
- moduł odstrojenia i zadziałania MOZ, który ma za zadanie określenie czy wykryte przez moduł zabezpieczenia linii SN MZL zwarcie, jest zwarcie na zabezpieczanej linii. Określenia dokonuje na podstawie nastawień stref nieczułości i obliczonego czasu propagacji fali od miejsca zwarcia do miejsca zainstalowania urządzenia oraz czasu

propagacji fali na długości całej linii. W przypadku identyfikacji zwarcia w linii, moduł odstrojenia i zadziałania MOZ wystawia sygnał na otwarcie wyłącznika za pośrednictwem interfejsów We/Wy 609,

- moduł komunikacyjny MK pozwalający na zdalną zmianę nastawień urządzenia pomiarowego oraz pozwala na raportowanie stanu urządzenia do systemów nadrzędnych.

Procesor 607 wyposażony jest również w interfejsy Wejścia/Wyjścia 609, pozwalające na oddziaływanie z zewnętrznymi układami, takimi jak np. przekaźniki pośredniczące, oraz w interfejsy komunikacyjne 608, pozwalające na nawiązanie łączności łączem telekomunikacyjnym do celów raportowania stanu oraz łącza inżynierskiego.

Metoda detekcji zwarć w liniach SN opiera się o pomiar fal wielokrotnie odbitych od miejsca zwarcia w określonym oknie czasowym, nie dłuższym niż czas propagacji fali na długości całej linii – urządzenie pomiarowe 600 identyfikuje pierwszą falę, drugą falę odbitą od miejsca zwarcia i kolejne fale odbite od miejsca zwarcia, na podstawie sygnału prądu 602 pochodzącego z sensora prądu 503, będącego sygnałem prądu lub jego pochodną pierwszego, drugiego lub wyższych rzędów. Identyfikacja co najmniej trzech następujących po sobie fal, dla których spełnione są wzajemne relacje odległości, amplitudy i polaryzacji, pozwala na klasyfikację obserwowanego zjawiska, jako zwarcie w linii SN.

Parametrami wejściowymi dla metody detekcji zwarć w linii SN są: długość linii  $L$ , czułość  $S$  (%), liczba zidentyfikowanych fal wymaganych do wykrycia zwarcia  $N$ , strefy nieczułości. Parametry te są przechowywane w module komunikacyjnym MK i mogą być zmieniane zdalnie za pośrednictwem interfejsów komunikacyjnych 608.

Metoda rozpoczyna działanie w momencie identyfikacji fali w mierzonym sygnale prądu lub pochodnej prądu 601. Moduł akwizycji danych MAD przetwarza próbkowane wartości sygnału prądu lub pochodnej prądu wysokiej częstotliwości. Na podstawie danych pochodzących z modułu akwizycji danych MAD, moduł detekcji fali MDF wykrywa obecność fali w mierzonych sygnałach. Moduł detekcji fali MDF dokonuje jej parametryzacji znacznikiem czasu  $T_1$ , amplitudą  $A_1$  i polaryzacją  $P_1$ . Równocześnie moduł akwizycji danych MAD określa polaryzację napięcia w chwili  $T_1$ , w fazie, w której wykryto falę prądu.

Na podstawie parametrów  $T_1$ ,  $A_1$ ,  $P_1$  oraz polaryzacji napięcia w chwili  $T_1$ , moduł zabezpieczenia linii SN MZL porównuje polaryzację  $P_1$  z polaryzacją napięcia w chwili  $T_1$ . W przypadku wystąpienia zgodności, moduł zabezpieczenia linii SN MZL oczekuje na odbiór parametrów drugiej fali w chwili  $T_2$  o amplitudzie  $A_2$  i polaryzacji  $P_2$ , zidentyfikowanej w module detekcji fal MDF. W przeciwnym wypadku, moduł zabezpieczenia linii SN MZL, odrzuca falę jako pochodząca spoza monitorowanej linii, a metoda wraca do punktu oczekiwania na identyfikację pierwszej fali o amplitudzie  $A_1$  i polaryzacji  $P_1$ .

Po poprawnej identyfikacji drugiej fali przez moduł detekcji fal MDF na podstawie danych pochodzących z modułu akwizycji danych MAD i jej sparametryzowaniu znacznikiem czasu  $T_2$ , amplitudą  $A_2$  i polaryzacją  $P_2$ , moduł zabezpieczenia linii SN MZL porównuje polaryzację  $P_1$  i  $P_2$ . Jeśli polaryzacje nie są zgodne, odebrana fala jest traktowana jak fala wtrącona, spoza linii, a procedura wraca do punktu oczekiwania na identyfikację pierwszej fali o amplitudzie  $A_1$  i polaryzacji  $P_1$ .

Jeśli występuje zgodność, moduł zabezpieczenia linii SN MZL oczekuje na odbiór parametrów trzeciej i kolejnych fal wielokrotnie odbitych od miejsca zwarcia, zidentyfikowanych w module detekcji fal MDF i parametryzowanych chwilą odebrania  $T_k$ , amplitudą  $A_k$  i polaryzacją  $P_k$ , gdzie początkowa wartość  $k$  jest równa 3.

Dla fal o  $k$  większym lub równym 3, moduł zabezpieczenia linii SN MZL dokonuje koniunkcji następujących warunków: polaryzacja  $P_k$  zgodna z polaryzacją  $P_1$ , różnica odbioru fal  $T_k$  i fali poprzedniej  $T_{k-1}$  jest jednocześnie większa od iloczynu różnicy czasów  $T_2$  i  $T_1$  z różnicą 100% i czułości  $S$  oraz iloczynu różnicy czasów  $T_2$  i  $T_1$  z czułością  $S$  powiększoną o 100%. Jeśli koniunkcja nie jest spełniona, procedura wraca do punktu oczekiwania na identyfikację pierwszej fali o amplitudzie  $A_1$  i polaryzacji  $P_1$ . Jeśli koniunkcja jest spełniona, kolejnym etapem procedury jest przystąpienie do estymacji amplitud w module estymacji amplitud MEA.

Dokonuje się porównania wartości amplitud fali trzeciej i kolejnych  $A_k$ , zaakceptowanych na podstawie różnic w czasach odbioru fal do wartości minimalnej  $A_d$  i wartości maksymalnej  $A_g$ , określanych dla każdej fali osobno na podstawie spodziewanego tłumienia wprowadzanego przez linię, oszacowanego w module estymacji amplitudy MEA, na podstawie wartości amplitud pierwszych dwóch odebranych fal. Jeśli warunek wartości amplitudy nie jest spełniony, procedura wraca do punktu oczekiwania na identyfikację pierwszej fali o amplitudzie  $A_1$  i polaryzacji  $P_1$ .

Powyższe kroki procedury są powtarzane iteracyjnie przez moduł akwizycji danych MAD, detekcji danych MDF, zabezpieczenia linii SN MZL, estymacji amplitud MEA. Każda kolejna iteracja charakteryzuje się  $k$  większym o jeden. Iteracje są wykonywane dopóty, dopóki nie zostanie spełniony warunek  $k$  równe  $N$ .

Po poprawnym odebraniu i sprawdzeniu kryteriów wzajemnych różnic w czasach odbioru fal, tłumienności amplitudy i polaryzacji dla co najmniej 3 fal, przez moduł zabezpieczenia linii SN MZL, następuje wykrycie potencjalnego zwarcia i pobudzenie zabezpieczenia, skutkujące wywołaniem modułu odstrojenia i zadziałania MOZ.

Moduł odstrojenia i zadziałania MOZ dokonuje sprawdzenia, czy wykryte zwarcie leży poza strefami nieczułości oraz wystąpiło na zabezpieczanej linii. Sprawdzenie jest dokonywane na podstawie czasu propagacji fali do miejsca zwarcia, rozumianego jako połowa różnicy w czasach odbioru dwóch następujących po sobie fal, która jest porównywana z czasem

propagacji fali na całej długości linii L i czasami propagacji do miejsc nieczułości np. odległości od miejsca zainstalowania urządzenia do miejsca zainstalowania wyłącznika lub innych elementów, które mogą powodować gwałtowne zmiany napięcia, a nie powinny powodować wyłączenia linii. Jeżeli czas propagacji fali do miejsca zwarcia jest dłuższy niż czas propagacji fali na całej długości linii lub jest z określoną tolerancją równy czasowi propagacji fali do miejsc nieczułości, następuje zablokowanie działania.

Moduł odstrojenia i zadziałania MOZ, po poprawnym sprawdzeniu warunków stref nieczułości oraz warunku długości linii, stwierdza o wystąpieniu zwarcia w linii SN i wystawia sygnał na otwarcie wyłącznika za pośrednictwem interfejsów We/Wy 609, w celu zapewnienia przerwy w obwodzie i uniemożliwienie przepływu prądu zwarciovego. Po poprawnym cyklu lub w przypadku wystąpienia zwarcia poza zabezpieczoną linią SN, procedura wraca do punktu oczekiwania na identyfikację pierwszej fali o amplitudzie A1 i polaryzacji P1 i jest gotowa do wykrycia kolejnych fal.

Metoda detekcji zwarć w linii SN może mieć postać programu umieszczonego w pamięci nieulotnej PA procesora 607.