

FALOWA LOKALIZACJA MIEJSCA ZWARCIA W LINII WN

mgr inż. Krzysztof Glik / Politechnika Warszawska
dr inż. Ryszard Kowalik / Politechnika Warszawska
dr hab. inż., prof. nadzw. Politechniki Warszawskiej Désiré Dauphin Rasolomampionona
/ Politechnika Warszawska

1. WSTĘP

Określenie miejsca zwarcia w liniach wysokiego napięcia jest jednym z ważniejszych zagadnień, z którym stykają się służby zabezpieczeniowe.

Lokalizacja miejsca zwarcia może być wykonywana w celu poprawnego działania urządzeń zabezpieczeniowych lub w celach inspekcyjno-remontowych. W pierwszym przypadku niezwykle ważna jest szybkość lokalizacji miejsca zwarcia, przy czym dokładność może się ograniczać jedynie do określenia strefy działania zabezpieczenia. Lokalizacja w celach inspekcyjno-remontowych musi przede wszystkim charakteryzować się dużą dokładnością. Jest ona przeprowadzana przez funkcję lokalizacji miejsca zwarcia zaimplementowaną w urządzeniu zabezpieczeniowym, rejestratorze zakłóceń lub przez odrębny lokalizator.

Dokładne wyznaczenie miejsca zwarcia w celach inspekcyjno-remontowych pozwala na:

- szybsze przywrócenie linii do pracy
- przeciwdziałanie zwarciom trwałym
- weryfikację działania zabezpieczeń.

Szybsze przywrócenie linii do pracy wynika z bardziej efektywnej pracy służb energetycznych, które mając dokładne informacje o odległości do miejsca zwarcia, mogą nawet w obszarach górzystych czy zalesionych szybko je zlokalizować.

Większość zwarć występujących w liniach wysokiego napięcia to zwarcia przemijające. Dokładne określenie miejsca tych zwarć umożliwia przeprowadzenie prac zapobiegawczych (np. wymiana izolatorów, przycinanie drzew) w celu przeciwdziałania zwarciom trwałym.

Wykorzystanie informacji, dotyczącej wyznaczonej odległości, do weryfikacji działania zabezpieczeń polega na potwierdzeniu działania zabezpieczeń w odpowiedniej strefie, w przypadku symulacji zwarcia w wyznaczonym miejscu.

2. PORÓWNANIE IMPEDANCYJNEJ I FALOWEJ LOKALIZACJI MIEJSCA ZWARCIA

Największe znaczenie, spośród stosowanych w praktyce, mają dwa rodzaje lokalizatorów: impedancyjne i falowe. Lokalizatory impedancyjne mogą być częścią urządzenia zabezpieczeniowego, rejestratora zakłóceń lub stanowić, podobnie jak lokalizatory falowe, oddzielne urządzenie.

Działanie lokalizatorów impedancyjnych oparte jest na pomiarze prądu i napięcia w czasie trwania zwarcia. Ze względu na wykorzystywanie tych dwóch wielkości elektrycznych w lokalizacji miejsca zwarcia mamy do czynienia z pomiarem, który jest obciążony błędami wynikającymi z wielorakich czynników, takich jak:

- składowe przejściowe w prądzie
- odkształcenia prądu w wyniku nasycenia się rdzeni przekładników prądowych
- prąd wstępnego obciążenia linii bezpośrednio przed wystąpieniem zwarcia
- rezystancja przejścia w miejscu zwarcia

Streszczenie

W artykule porównano metody impedancyjne i falowe, wykorzystywane do lokalizacji miejsca zwarcia w linii wysokiego napięcia, przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z rozpatrywaniem zjawisk falowych,

opisano falowe metody pomiarowe oraz poszczególne elementy wchodzące w skład układów pomiarowych falowych lokalizatorów.



- pojemność doziemna linii
- sprzężenie magnetyczne między torami w liniach dwutorowych
- niedokładności w danych co do impedancji linii, szczególnie niedokładność określenia impedancji zerowej linii, ze względu na zmianę rezystancji ziemi wzdłuż linii
- w liniach rozgałęzionych zjawisko sptywu prądu w miejscu przyłączenia linii odczepowej.

Dzięki wieloletniej eksploatacji impedancyjnych lokalizatorów miejsca zwarcia, istnieją metody, które ograniczają lub eliminują wpływ poszczególnych czynników na dokładność pomiaru. Mimo to dokładność określenia miejsca zwarcia za pomocą impedancyjnych lokalizatorów określa się w zakresie 1–20 proc. Dolna granica błędu odnosi się do zwarcń metalicznych, lokalizacji przeprowadzanej na dwóch krańcach linii, zaś górna granica występuje w przypadku linii długich, przeważnie szeregowo kompensowanych. Błąd lokalizacji miejsca zwarcia, przeprowadzanej za pomocą funkcji w zabezpieczeniu 7SA522 firmy Siemens, jest zadeklarowany dla określonych warunków na 2,5 proc. długości linii. Taka dokładność jest niewystarczająca, biorąc pod uwagę, że linie przesyłowe mają długości nierzadko setek kilometrów w zróżnicowanych pod względem warunków środowiskowych obszarach. Zlokalizowanie przez obsługę danego uszkodzenia w takich warunkach może powodować zbyt długą przerwę w przesyłce energii elektrycznej.

W falowych lokalizatorach miejsca zwarcia zamiast pomiaru prądu i napięcia jest mierzony czas. Dzięki temu eliminowany jest wpływ wielu wyżej wymienionych czynników na błąd pomiaru.

Falowe lokalizatory miejsca zwarcia nie są jednak pozbawione wad. Głównymi czynnikami, które wpływają w tych lokalizatorach na błąd określania odległości do miejsca zwarcia, są:

- małe kąty zwarcia
- zwarcia bliskie miejsca zainstalowania lokalizatora
- błąd synchronizacji urządzeń
- źle określona prędkość propagacji fali w linii
- błąd wykrywania fali wędrownej.

Określenie „małe kąty zwarcia” odnosi się do sytuacji, w której zwarcie pojawia się w chwili, gdy wartość chwilowa napięcia jest bliska zeru, co uniemożliwia wykrycie zwarcia ze względu na małą wartość amplitudy powstałej fali elektromagnetycznej. Aby w linii wysokiego napięcia pojawiła się fala napięciowa i prądowa o dużej amplitudzie, potrzebna jest nagła zmiana napięcia, co w takiej sytuacji nie jest spełnione. Problem ten może być wyeliminowany poprzez jednoczesne określenie miejsca zwarcia przez falowy i impedancyjny lokalizator, przy czym ten drugi odpowiadałby za lokalizację zwarcia zachodzącego przy małym kącie.

Błąd związany ze **zwarcie bliskim** miejsca zainstalowania lokalizatora, który powoduje wielokrotne odbicia fali między miejscem zainstalowania lokalizatora a miejscem zwarcia, może być wyeliminowany dzięki stosowaniu odpowiednio wysokiej częstotliwości próbkowania.

Błąd synchronizacji urządzeń występuje dla lokalizacji miejsca zwarcia wykorzystującej pomiary na dwóch krańcach (lokalizacja typu D). Błąd ten wynosi zwykle $\pm 1 \mu\text{s}$, co wiąże się z niedokładnością określania odległości wynoszącą $\pm 150 \text{ m}$ dla jednego lokalizatora.

Prędkość propagacji fali w linii jest jedną z wielkości, która jest wykorzystywana do wyliczania odległości do miejsca. Zależy ona od parametrów linii oraz od drogi, którą fala elektromagnetyczna biegnie – przewodami (zwarcie bez udziału ziemi) lub przewodami i ziemią (zwarcie doziemne).

Błąd wykrywania fali wędrownej jest związany ze zjawiskiem zmniejszania amplitudy i wydłużania fali poruszającej się w linii. Jeśli zwarcie nastąpi bliżej stacji A niż stacji B, to ze względu na większe wydłużenie czoła fali docierającej do stacji B wykrycie wystąpienia fali w tej stacji nastąpi później, co wprowadzi dodatkowy błąd.

Falowe lokalizatory charakteryzują się dokładnością wyznaczania miejsca zwarcia w zakresie 150–500 m niezależnie od długości linii. Dokładność taka odnosi się także do linii długich, szeregowo kompensowanych, wielotorowych, z odcinkami kablowymi, oraz linii prądu stałego.

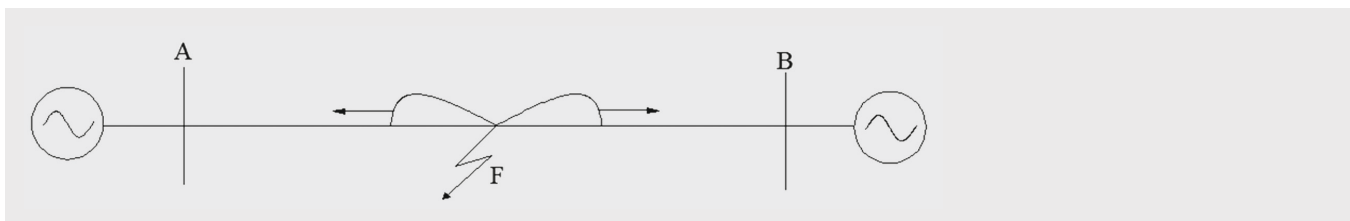
Duża dokładność określania odległości do miejsca zwarcia oraz zwiększenie niezawodności sieci i oszczędności wynikające ze stosowania falowych lokalizatorów miejsca zwarcia spowodowały, że są one obecnie powszechnie używane w takich krajach, jak m.in. USA, Chiny, RPA, Szkocja i Kanada. W krajowym systemie elektroenergetycznym eksploatowane są falowe lokalizatory typu LAS, produkowane przez Zakład Automatyki Energetycznej ZAE z siedzibą we Wrocławiu, oraz lokalizator typu TWS firmy Qualitrol.

Poniżej opisano podstawowe zagadnienia związane z działaniem falowych lokalizatorów miejsca zwarcia.

3. ZJAWISKA FALOWE

Ze wszystkich stanów nieustalonych, które zachodzą w SEE, zjawiska falowe w liniach WN charakteryzują się najkrótszym czasem trwania, wynoszącym od mikrosekund do milisekund.

Zjawiska falowe są związane z propagacją fal elektromagnetycznych, będących następstwem: wystąpienia zwarcia w liniach elektroenergetycznych, wyładowań atmosferycznych lub operacji łączeniowych w sieci. Nagła i znacząca zmiana napięcia, w co najmniej jednym miejscu linii WN (rys. 1) prowadzi do zainicjowania fali elektromagnetycznej, która propaguje z tego punktu w dwie przeciwne strony.



Rys. 1. Propagacja fali elektromagnetycznej w wyniku zwarcia

Falę elektromagnetyczną można podzielić na falę napięciową, związaną ze zjawiskami zachodzącymi w polu elektrycznym, i prądową, związaną z polem magnetycznym. Istotną cechą takiej fali jest przesuwanie się wzdłuż linii określonych wartości napięcia i prądu ze skończoną prędkością.

Wykorzystanie zjawisk falowych w lokalizacji miejsca zwarcia wymaga rozpatrzenia wielu zagadnień teoretycznych, takich jak:

- prędkość propagacji fali w linii
- model linii elektroenergetycznej o parametrach rozłożonych
- tłumienie i odkształcanie fal
- przejście i odbicie fal
- przekształcenia diagonalizujące
- transformata falkowa.

Dokładność lokalizacji miejsca zwarcia, wykorzystująca zjawiska falowe, zależy od prawidłowego oszacowania **prędkości propagacji fali** w danej linii elektroenergetycznej. Prędkość ta zależy od parametrów linii elektroenergetycznej, które zmieniają się wraz ze zmianą temperatury otoczenia, zanieczyszczenia powierzchni przewodów, oblodzenia. Prędkość propagacji fali zależy także od drogi poruszania się fali elektromagnetycznej, a więc jest ona ustalana odrębnie dla poszczególnych linii, dla zwarć doziemnych i bez udziału ziemi. Prędkość propagacji fali w powietrzu (ang. *aerial-mode propagation*) wynosi ok. $v = 295\ 000\ \text{km/s}$, zaś przy fali poruszającej się ziemią (ang. *ground-mode propagation*) ok. $v = 188\ 000\ \text{km/s}$. Przy instalacji falowego lokalizatora wyznacza się prędkość propagacji fali, wymuszając przebieg fali wędrownej w linii elektroenergetycznej poprzez załączenie baterii kondensatorów lub wyłącznika.

Obwód o parametrach rozłożonych charakteryzuje się głównie tym, że sygnał pojawiający się na wejściu układu potrzebuje pewnego określonego czasu, by pojawić się na jego wyjściu. Obwody te opisywane są za pomocą równań różniczkowych cząstkowych. Napięcia i prądy w takim obwodzie są funkcją dwóch zmiennych – czasu t i położenia x . Linie elektroenergetyczne nie mogą być rozpatrywane jako obwody o parametrach skupionych, gdy ich długość l [m] jest współmierna z długością fali $\lambda = v/f$ [m] występującej w tej linii. Linie przesyłowe, które pracują przy częstotliwości 50 Hz i są krótsze od 6000 km, modeluje się jako obwody o parametrach skupionych. Jeśli jednak częstotliwość sygnału wzrośnie przykładowo do 100 kHz, to linię już 3-kilometrową należy traktować jako obwód o parametrach rozłożonych.

Tłumienie i odkształcanie fal powoduje, że w wyniku przesuwania się po linii fali dochodzi do zmniejszenia się jej amplitudy i wydłużania. Jest to związane ze stratą energii w rezystancjach przewodów lub przewodów i ziemi, ładowaniem pojemności izolatorów i zjawiskiem ulotu.

Przejście i odbicie fal jest także przyczyną tłumienia i odkształcania fal wędrownych w punktach zmiany impedancji falowej. Impedancja falowa linii określa stosunek między amplitudą napięcia i prądu fali biegnącej tą linią. Przeważnie jej wartość mieści się w zakresie $200\text{--}400\ \Omega$ i jest zależna głównie od poziomu napięcia linii. Gdy fala nadchodząca napotyka na swojej drodze punkt zmiany impedancji falowej, zwany węzłem, część energii fali odbija się od tego punktu, a część przechodzi dalej.

Przekształcenia diagonalizujące stosuje się, aby móc rozpatrywać linie trójfazowe jako trzy oddzielne linie jednofazowe z pominięciem sprzężeń magnetycznych pomiędzy liniami. Teoretycznie istnieje nieskończenie wiele przekształceń diagonalizujących, z których najbardziej rozpowszechnione jest przekształcenie składowych symetrycznych. Jednak w przypadku analizy zjawisk falowych nie stosuje się tego przekształcenia, co wynika z charakteru zjawisk falowych opisywanych wartościami chwilowymi napięć i prądów, które nie mogą być przekształcane na składową zgodną, przeciwną i zerową. Zastosowanie natomiast znalazły macierze przekształcenia, które składają się z elementów niebędących liczbami zespolonymi (tak jak to miało miejsce w przekształceniu składowych symetrycznych).

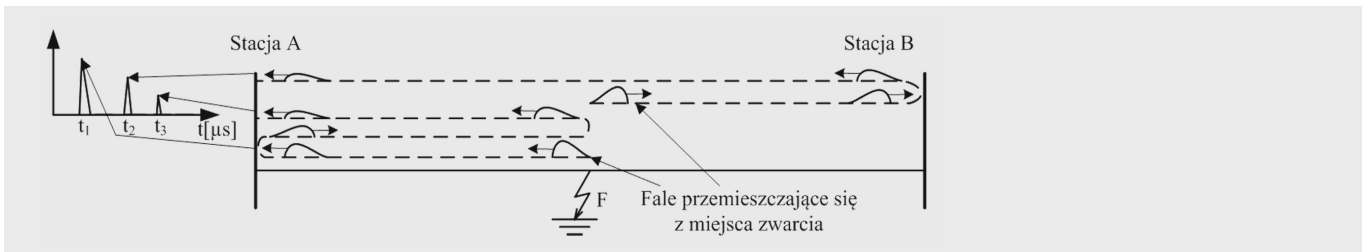
Transformata falkowa jest wykorzystywana do analizy sygnałów niestacjonarnych, czyli takich sygnałów, których charakterystyki statystyczne (wartość średnia, wartość średnia kwadratowa, funkcja korelacji) są funkcjami czasu (zależą od wyboru chwili początkowej). Jedną z najważniejszych cech transformaty falkowej jest zdolność do określenia czasu, w którym wystąpił sygnał o wysokiej częstotliwości, i w tym samym czasie rozpatrywanie składowych sygnału o niskiej częstotliwości.

4. METODY POMIAROWE

Falowe lokalizatory miejsca zwarcia dzielą się ze względu na używaną metodę pomiarową na pięć rodzajów: A, B, C, D, E. Działanie każdego typu lokalizatora opiera się na analizie przychodzącej fali elektromagnetycznej, powstałej w wyniku zwarcia. Poniżej opisano poszczególne typy lokalizatorów.

Lokalizatory typu A

Lokalizatory typu A wykonują pomiar na jednym krańcu linii. Odległość do miejsca zwarcia jest obliczana przez pomiar czasu między chwilą dotarcia do lokalizatora pierwszej fali, powstałej w miejscu zwarcia, oraz drugą chwilą, w której fala odbita od miejsca zwarcia dociera do lokalizatora. Fala elektromagnetyczna jest odbijana całkowicie od miejsca zwarcia, jeśli występujący łuk zwarciový charakteryzuje się rezystancją mniejszą od impedancji falowej linii. Rozpatrywany układ sieci i przebieg fal wędrownych został przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Zastosowanie falowego lokalizatora typu A

Odległość do miejsca zwarcia od stacji A wynika z zależności:

$$D = \frac{t_3 - t_1}{2} \times v \quad (1)$$

gdzie:

D – odległość do miejsca zwarcia [m]

t_1 – czas dotarcia do stacji A pierwszej fali powstałej w miejscu zwarcia [s]

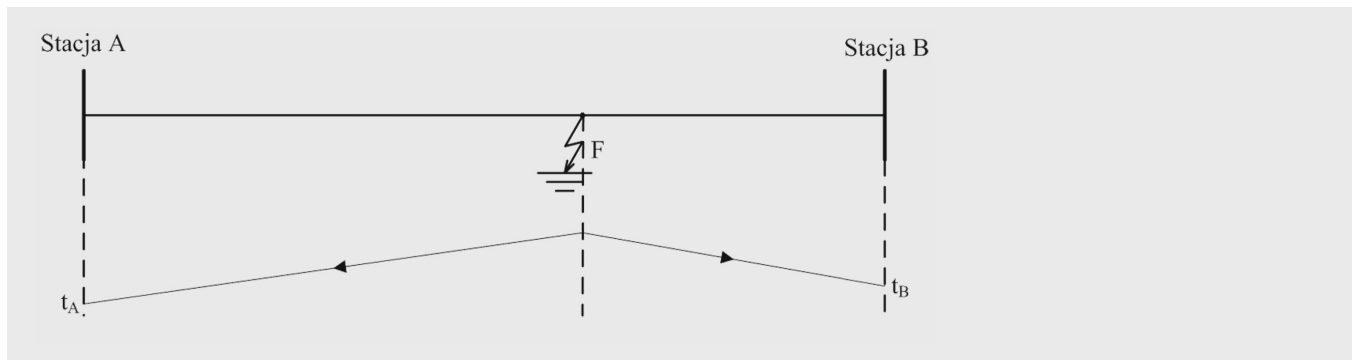
t_3 – czas dotarcia do stacji A fali odbitej od miejsca zwarcia [s]

v – prędkość propagacji fali [m/s].

Na błąd pomiaru odległości do miejsca zwarcia za pomocą metody A mają wpływ takie czynniki, jak krótki czas trwania łuku zwarciový, rezystancja przejścia, rozgałęzienia i odczepy w linii oraz trudności w identyfikacji odpowiedniej fali. Błędy te są eliminowane przy wykorzystaniu metody typu D.

Lokalizatory typu B

Lokalizatory typu B wykonują pomiar na dwóch krańcach linii. Fala powstała w miejscu zwarcia biegnie w stronę stacji A i B. Nadejście pierwszej fali po kilku mikrosekundach do stacji A powoduje włączenie timera. Wyłączenie timera w stacji A następuje w wyniku wystania sygnału z urządzenia zainstalowanego w stacji B, gdy zostanie w nim wykryta fala biegnąca z miejsca zwarcia. Rozpatrywany układ sieci i przebieg fal wędrownych został przedstawiony na rys. 3.

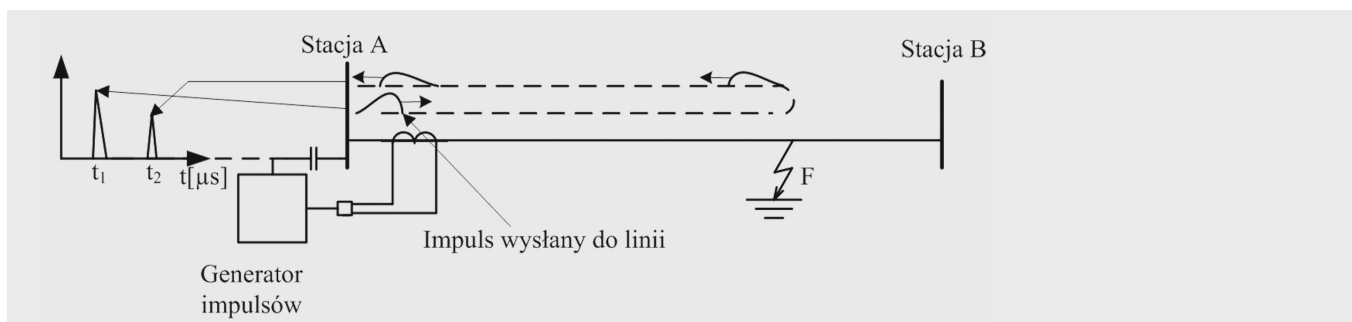


Rys. 3. Zastosowanie falowego lokalizatora typu B

Wylczenie odległości miejsca zwarcia jest podobne jak w metodzie pomiarowej typu D, przy czym w obliczeniach należy uwzględnić opóźnienie związane z transmisją sygnału ze stacji B do stacji A, który zatrzymuje timer.

Lokalizatory typu C

Lokalizatory typu C wykonują pomiar na jednym końcu linii. Lokalizator wysyła impuls do linii, w której nastąpiło zakłócenie. Odległość do miejsca zwarcia jest obliczana przy użyciu różnicy czasu między chwilą wystania impulsu oraz momentem, w którym urządzenie odbiera falę odbitą od fuku zwarciego. Rozpatrywany układ sieci i przebieg fal wędrownych został przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Zastosowanie falowego lokalizatora typu C

Odległość do miejsca zwarcia od stacji A wynika z zależności:

$$D = \frac{t_2 - t_1}{2} \times v \quad (2)$$

gdzie:

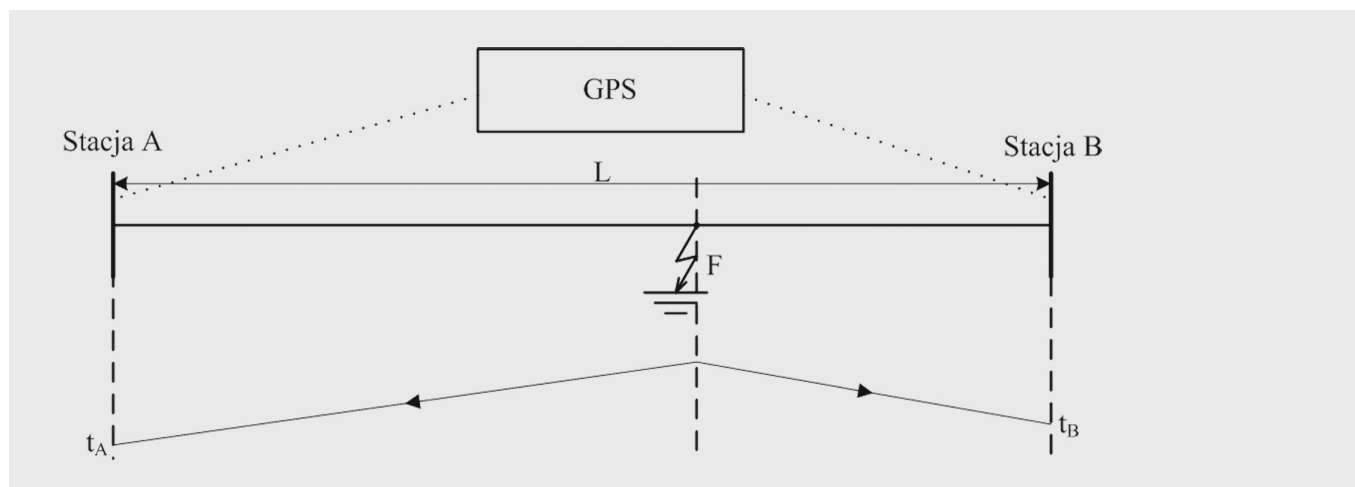
t_1 – czas wystania impulsu przez generator [s]

t_2 – czas dotarcia do stacji A fali odbitej od miejsca zwarcia [s].

Należy zaznaczyć, że obecnie stosowanie tego typu lokalizatorów napotyka na trudności związane z poprawnym sprzężeniem generatora impulsów z linią elektroenergetyczną oraz ich wysoką ceną.

Lokalizatory typu D

Lokalizatory typu D wykonują pomiar na dwóch krańcach linii. Fale powstałe w miejscu zwarcia biegną w stronę stacji A i B, do których docierają w przeciągu kilku mikrosekund. Do poprawnego określenia miejsca zwarcia lokalizator typu D wymaga zastosowania dwóch urządzeń zsynchronizowanych ze sobą w czasie (przykładowo za pomocą systemu GPS), zainstalowanych na dwóch krańcach linii. Lokalizator określa chwilę czasową, w której fala nadchodzi do stacji A i stacji B, następnie są one używane do wyliczenia odległości do miejsca zwarcia. Rozpatrywany układ sieci i przebieg fal wędrownych został przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Zastosowanie falowego lokalizatora typu D

Odległość do miejsca zwarcia od stacji A wynika z zależności:

$$D = \frac{L + (t_A - t_B) \times v}{2} \quad (3)$$

gdzie:

t_A – czas dotarcia do stacji A pierwszej fali powstałej w miejscu zwarcia [s]

t_B – czas dotarcia do stacji B pierwszej fali powstałej w miejscu zwarcia [s]

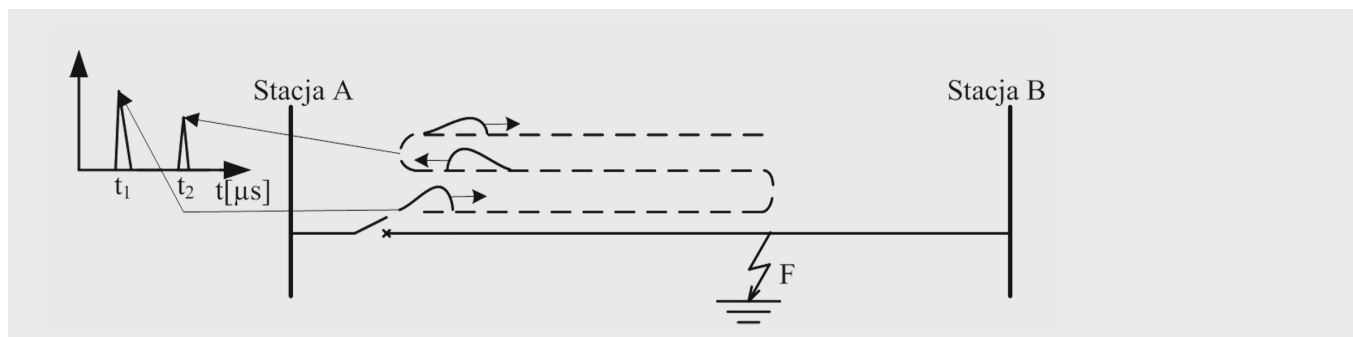
L – długość linii [m].

Dokładność lokalizatorów typu D nie zmniejsza się ze względu na krótki czas trwania zwarcia czy rozgałęzienia linii. Kolejne odbicia fali w punktach zmiany impedancji falowej nie wpływają na określanie odległości do miejsca zakłócenia. Głównym błędem wyliczenia odległości do miejsca zwarcia jest błąd synchronizacji.

Należy zaznaczyć, że lokalizatory typu D są odporne na wymienione wcześniej w artykule czynniki uniemożliwiające prawidłowe określenie miejsca zwarcia lub wprowadzające dodatkowy błąd w lokalizatorach typu A.

Lokalizatory typu E

Lokalizatory typu E wykonują pomiar na jednym krańcu linii. Wykorzystują w tym celu falę wywołaną zamknięciem wyłącznika na linii. W swoim działaniu metoda typu E jest podobna do metody impulsowej, stosowanej w lokalizacji miejsca zwarcia w kablach. Wyłącznik załączający linię WN można traktować jak trzy oddzielne generatory impulsów. Napięcia faz załączonych różnią się między sobą amplitudą i przesunięciem fazowym, co wynika z załączania poszczególnych biegunów wyłącznika z minimalnie różnym czasem. Różnica czasu między impulsem wytworzonym przez załączenie wyłącznika i odbitym impulsem z miejsca zwarcia jest używana do wyznaczania odległości do miejsca zwarcia. Zasadę działania lokalizatora tego typu przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Zastosowanie falowego lokalizatora typu E

Odległość do miejsca zwarcia od stacji A wylicza się z zależności:

$$D = \frac{t_2 - t_1}{2} \times v \quad (4)$$

gdzie:

D – odległość do miejsca zwarcia [m]

t_1 – czas powstania fali w wyniku zamknięcia wyłącznika [s]

t_2 – czas dotarcia do stacji A fali odbitej [s]

v – prędkość propagacji fali [m/s].

Lokalizatory typu E mogą być wykorzystane do detekcji i lokalizacji przerwanego przewodu linii. Ponadto dzięki tej metodzie można sprawdzić, czy długość elektryczna zdrowych linii odpowiada długości linii zmierzonej inną metodą. Procedura taka polega na zamknięciu wyłącznika w linii i następnie zmierzeniu czasu, w jakim fala odbita wróci do lokalizatora. Znana długość linii jest porównywana ze zmierzonym czasem przemieszczania się fali odbitej.

Najnowsze rozwiązania falowych lokalizatorów miejsca zwarcia są zastosowane jednocześnie w typach A, D i nowo wprowadzonym typie E. W swoim działaniu wykorzystują one głównie fale prądowe. Metoda typu D stanowi przeważnie podstawową metodę pomiarową stosowaną w falowych lokalizatorach. Metody typu A i E stanowią dodatek do metody typu D, która w wyniku doświadczeń eksploatacyjnych okazała się niezawodna i dokładna.

5. OPIS ELEMENTÓW UKŁADÓW POMIAROWYCH FALOWYCH LOKALIZATORÓW

Ze względu na charakter zjawisk falowych warto opisać poszczególne najważniejsze elementy wchodzące w skład układów pomiarowych systemów falowych lokalizatorów miejsca zwarcia, tj.:

- przekładniki prądowe i napięciowe
- układy cyfrowego przetwarzania sygnałów
- systemy nawigacji satelitarnej.

Początkowo wykorzystywano przekładniki napięciowe w wychwytywaniu fali wędrownej, jednak ze względu na niesatysfakcjonującą charakterystykę przenoszenia tych przekładników obecnie stosuje się głównie przekładniki prądowe. Lokalizację zwarcia dokonuje się za pomocą zabezpieczeniowych przekładników prądowych, które dobrze przenoszą sygnał o częstotliwości do 100 kHz. Najpopularniejszym rozwiązaniem jest układ, w którym jako przekładnik główny stosuje się zabezpieczeniowy przekładnik prądowy, zaś jako przekładnik pośredniczący stosuje się przekładnik prądowy z otwieranym rdzeniem.

W falowych lokalizatorach miejsca zwarcia potrzebne są odpowiednie układy, które będą w stanie odbierać i analizować dużą liczbę danych, rozróżniać odpowiednie kształty fal dochodzące do urządzenia. Falowy lokalizator miejsca zwarcia wymaga zastosowania jednostki zbierania danych o częstotliwości próbkowania większej bądź równej 1 MHz, co jest zdecydowanie większą wartością niż w przypadku konwencjonalnych zabezpieczeń. Im większa częstotliwość próbkowania sygnału wejściowego, tym otrzymany wynik jest dokładniejszy. Z drugiej jednak strony zwiększona liczba próbek na okres zwiększa obciążenie procesora i wymaga większej pojemności



pamięci, w której dane mogłyby być przechowywane. Ponadto ważnym problemem jest zaszumienie sygnału mierzonego.

Synchronizacja czasu lokalizatorów zainstalowanych na dwóch krańcach linii jest realizowana za pomocą systemu GPS. Błąd synchronizacji czasu wynosi $1 \mu\text{s}$, co odpowiada błędowi określenia odległości do miejsca zwarcia $\pm 150 \text{ m}$ dla pojedynczego lokalizatora. Szansę na zmniejszenie tego błędu stwarza europejski system nawigacji satelitarnej Galileo. Odbiorniki GPS osiągają dokładność rzędu kilku metrów, przy czym błąd Galileo osiągnie dokładność poniżej 1 m w 2012 roku.

6. PODSUMOWANIE

Stosowanie falowych lokalizatorów w liniach wysokiego napięcia pozwala na dokładniejsze określenie miejsca zwarcia w porównaniu z lokalizatorami impedancyjnymi. Zebrane doświadczenia eksploatacyjne z wielu krajów wskazują na dużą dokładność falowych lokalizatorów w przypadku wystąpienia różnych zakłóceń (np. z dużą rezystancją przejścia) i w przypadku stosowania dla różnych rodzajów linii (linie szeregowo kompensowane, linie długie, wielotorowe, z odcinkami kablowymi).

BIBLIOGRAFIA

1. Gale P.F., Taylor P.V., Naidoo P., Hitchin C., Clowes D., Travelling wave fault locator experience on Eskom's transmission network, Seventh International Conference on Developments in Power System Protection (IEE) April 2001, s. 327–330.
2. Siemens: 7SA522 distance protection relay for transmission lines. Catalogue 2009.
3. Lee H., Mousa A.M., GPS travelling wave fault locator systems: investigation into the anomalous measurements related to lightning strikes, *IEEE Transactions on Power Delivery*, volume 11, issue 3, July 1996, s. 1214–1223.
4. Christopoulos C., Wright A., *Electrical Power System Protection*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1999.
5. Flisowski Z., *Technika wysokich napięć*, WNT, Warszawa 2005.
6. IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines, IEEE Std C37.114™-2004.
7. Samper J.M., Lagunilla J.M., Perez R.B., GPS and Galileo: Dual RF Front-end receiver and Design, Fabrication, And Test (Communication Engineering), McGraw-Hill Professional, 2008.
8. Gale B.Y., Su P.F., Ge Y.Z., Fault location based on fault induced current transients, International Conference on New Development in Power System Protection & Local Control, Beijing, China, May 25–28, 1994, s. 377–381.
9. Redfern M.A., Terry S.C., Robinson F.V.P., The application of distribution system current transformers for high frequency transient based protection, Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection, volume 1, 5–8 2004, s. 108–111.