

Nowe kryterium sum impedancji algorytmu decyzyjnego obszarowych zabezpieczeń odległościowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono, opracowane przez autorów, nowe kryterium decyzyjne sum impedancji. Pozwala to ograniczyć skalę błędnych decyzji zabezpieczeń odległościowych w układach sieciowych złożonych funkcjonalnie i konfiguracyjnie.

Abstract. The article presents, developed by the authors, the sums impedances criterion. The new criterion allows reduces the scale of wrong decisions of the distance protection operate in the complex power grids. (**The new criterion of sums impedances for the distance protection**).

Słowa kluczowe: elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, zabezpieczenie odległościowe, kryterium decyzyjne.

Keywords: power system protection, distance protection, decision criterion.

doi:10.12915/pe.2014.03.13

Wstęp

Poprawność reakcji „klasycznego”, tj. dotychczas stosowanego, zabezpieczenia odległościowego na zmianę stanu pracy chronionego obiektu elektroenergetycznego jest silnie zależna od dokładności wyznaczenia wektora impedancji przez algorytm pomiarowy zabezpieczenia. Impedancja jest bowiem wielkością kryterialną algorytmu decyzyjnego i stanowi podstawę oceny stanu pracy obiektu przez kryterium podimpedancyjne. Realizacja tego kryterium polega na sprawdzeniu czy koniec wektora impedancji znajduje się na płaszczyźnie impedancji zespolonej wewnątrz bądź na zewnątrz impedancyjnej charakterystyki działania zabezpieczenia. Zatem niepoprawne wyznaczenie impedancji przez algorytm pomiarowy może skutkować wypracowaniem błędnej decyzji przez algorytm decyzyjny, a w konsekwencji prowadzić do niewłaściwego działania zabezpieczenia odległościowego.

Z doświadczeń autorów wynika, że największej skali nieprawidłowości w obliczaniu impedancji przez „klasyczne” metody wyznaczenia impedancji algorytmu pomiarowego należy się spodziewać w układach sieciowych złożonych funkcjonalnie i konfiguracyjnie. Przykładowe rezultaty analiz dla linii współpracujących ze źródłami wiatrowymi zamieszczono m.in. w [1] i [2]. Dlatego w [3], [4], [5] i [6] autorzy zaproponowali nowe metody wyznaczenia impedancji predestynowane dla linii z odczepami. Metody te są dedykowane obszarowym zabezpieczeniom odległościowym, tj. układom elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej realizującym funkcję zabezpieczeń odległościowych opartym na strukturach obszarowych o dostępności do zbioru sygnałów pomiarowych pozyskiwanych z fragmentu sieci elektroenergetycznej. Opracowane nowe metody wyznaczenia impedancji są przypisane określonym odcinkom linii z odczepami. Jest to determinowane zestawem sygnałów wejściowych oraz czynnikami fałszującymi „klasyczny pomiar” impedancji uwzględnionymi podczas wyprowadzania równań opisujących składowe impedancji każdej z metod. Tym samym implementacja tych metod w „klasycznym” zabezpieczeniu odległościowym wymagałaby wzbogacenia jego algorytmu decyzyjnego o procedurę lokalizacji odcinka linii objętego zakłóceniem. Następnie, dla wskazanego odcinka, należałoby aktywować przypisany mu zestaw metod wyznaczenia skorygowanej impedancji. Prowadziłoby to do znaczącego skomplikowania procesu decyzyjnego i wydłużenia czasu wypracowania decyzji wykonawczej zabezpieczenia.

W niniejszym artykule autorzy proponują nowe kryterium algorytmu decyzyjnego obszarowych zabezpieczeń odległościowych – kryterium sum impedancji.

Kryterium sum impedancji

Formułując nowe kryterium decyzyjne, wykorzystano zaobserwowaną prawidłowość, tj. dla zwarć zlokalizowanych w obrębie chronionej linii suma impedancji obliczonych w dwóch różnych krańcach linii opracowanymi metodami wyznaczenia skorygowanej impedancji predestynowanymi dla odcinka linii objętego zakłóceniem jest równa impedancji odcinków linii między tymi krańcami. Poszukiwaną wartość kryterialną, tj. wektor sumy impedancji, można wyznaczyć jako sumę wartości bezwzględnych składowych rzeczywistej i urojonej odpowiednich wektorów skorygowanej impedancji. Przykładowo, dla odcinka AP i krańców A i B linii z jednym odczepem (patrz rys.1), wektor sumy impedancji Z_{APAB} opisuje zależność:

$$(1) \quad \underline{Z}_{APAB} = \left(R_{AAP} + jX_{AAP} \right) + \left(R_{BAP} + jX_{BAP} \right),$$

gdzie: R_{AAP} (X_{AAP}) – rezystancja (reaktancja) obliczona w punkcie A dla odcinka AP metodą 2 wyznaczenia skorygowanej impedancji; R_{BAP} (X_{BAP}) – rezystancja (reaktancja) obliczona w punkcie B dla odcinka AP metodą 1 wyznaczenia skorygowanej impedancji (opis metod 1 i 2 zawarto w [4] i [6]).

Wyznaczana suma impedancji odpowiada impedancji odcinków linii łączących krańce linii, w których obliczano skorygowane impedancje będące składnikami wyznaczonej sumy, jedynie dla zakłóceń zwarciowych zlokalizowanych na tym z odcinków chronionej linii, dla którego określane są składniki sumy impedancji (przykładowo, wektor \underline{Z}_{APAB} może być równy sumie geometrycznej impedancji odcinków AP i BP linii ABC jedynie dla zwarć występujących na odcinku AP, dla którego wyliczane są składowe skorygowanej impedancji, tj. R_{AAP} i X_{AAP} oraz R_{BAP} i X_{BAP}). Tym samym realizacja proponowanego kryterium decyzyjnego polega na sprawdzeniu czy koniec wyznaczonego wektora sumy impedancji jest ulokowany na płaszczyźnie impedancji zespolonej w pobliżu punktu odpowiadającego końcowi wektora impedancji odpowiednich odcinków linii. Wymaga to określenia obszaru działania zabezpieczenia na płaszczyźnie impedancji zespolonej. Przyjęto, że obszar ten ma kształt równoległoboku, którego punkt przecięcia przekątnych jest zlokalizowany w punkcie będącym końcem wzmiankowanego wektora impedancji odcinków linii. Jedna para równoległych boków obszaru jest równoległa do osi odciętych, natomiast druga para boków jest nachylona względem osi odciętych o kąt chronionej linii wynikający z jej rezystancji i reaktancji. Odstęp między bokami obszaru tworzącymi pary odcinków równoległych jest zależny przede wszystkim od spodziewanej zmienności wartości składowych wektorów impedancji podczas zmiany stanu

pracy chronionej linii oraz oczekiwanej czułości i szybkości wypracowania decyzji wykonawczych przez algorytm decyzyjny. Przykładowe obszary działania zdefiniowane dla zestawu sum impedancji linii z jednym odczepem, stanowiące impedancyjną charakterystykę działania obszarowych zabezpieczeń odległościowych tej linii, przedstawiono na rysunku 2.

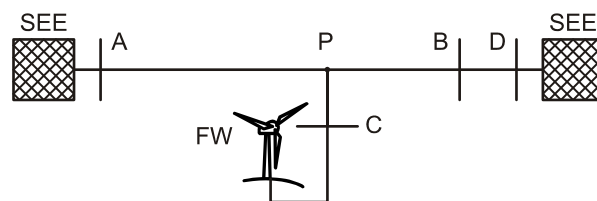
Proponowany sposób określania impedancyjnej charakterystyki działania znacząco różni się w stosunku do analogicznej charakterystyki dla rozwiązania „klasycznego”. Jest to podyktowane przede wszystkim wykorzystaniem różnych wielkości kryterialnych oraz różnych sposobów określania wektorów impedancji „widzianych” z poszczególnych krańców chronionej linii. Dla rozwiązania „klasycznego” obszar działania obejmuje znaczny fragment płaszczyzny impedancji zespolonej, odpowiadający co najmniej całej długości linii. Z kolei dla proponowanego kryterium decyzyjnego obszar działania stanowi jedynie niewielki wycinek „klasycznej” charakterystyki i obejmuje wyłącznie fragmenty płaszczyzny impedancji zespolonej zlokalizowane wokół krańców linii. Dodatkowo, dla rozwiązania „klasycznego”, kształtując impedancyjną charakterystykę działania zabezpieczenia, niezbędne jest uwzględnienie ewentualnych czynników fałszujących „klasyczny pomiar” impedancji. Pomija się to dla proponowanego kryterium decyzyjnego, ponieważ metody wyznaczania impedancji przedstawione w [3], [4], [5] i [6], które służą do obliczania składników wektorów sum impedancji, umożliwiają uzyskanie wyników estymacji niewrażliwych m.in. na: zjawisko splotu prądów zwarciovych, niezerową wartość rezystancji przejścia w miejscu zwarcia, kierunek i poziom przedzakłócenieowego obciążenia chronionej linii oraz zmienność wartości i charakteru prądu generowanego przez źródła prądu zwarciovego. Pozwala to kształtować impedancyjną charakterystykę działania identyczną dla zwarc fazowych, jak i międzyfazowych. Jest to znacząca różnica w stosunku do rozwiązania „klasycznego” – w procesie parametryzacji stref pomiarowych dla zwarc fazowych i międzyfazowych „klasycznych” zabezpieczeń odległościowych uwzględnia się zazwyczaj różne spodziewane wartości rezystancji przejścia w miejscu zwarcia, co determinuje niejednakowy kształt tych stref pomiarowych (patrz m.in. [6] i [7]).

Dla algorytmu decyzyjnego obszarowych zabezpieczeń odległościowych opartego na proponowanym kryterium sum impedancji sprawdzenie spełnienia warunku logicznego tego kryterium powinno być wykonywane dla każdego odcinka chronionej linii i każdej kombinacji krańców linii, w których oblicza się skorygowane impedancje będące składnikami tych sum. Pozwala to wypracować decyzje algorytmu decyzyjnego o wysokim stopniu wiarygodności. Przykładowo, dla linii z jednym odczepem (patrz rys.1) można określić zestaw 6 sum impedancji, po 2 dla każdego z 3 odcinków linii. Z kolei dla linii z dwoma odczepami można określić zestaw 16 sum impedancji. Wzajemne relacje między decyzjami cząstkowymi wypracowanymi przy użyciu proponowanego kryterium decyzyjnego dla poszczególnych wyznaczanych sum impedancji umożliwiają określenie lokalizacji zakłócenia oraz wypracowanie końcowej decyzji wykonawczej o wyłączeniu bądź braku wyłączenia chronionej linii. Przyjmując, że stan wysoki sygnału decyzji cząstkowej algorytmu decyzyjnego oznacza lokalizację końca wektora sumy impedancji wewnątrz obszaru działania przyporządkowanego do tej sumy, stan wysoki decyzji wszystkich warunków logicznych danego odcinka chronionej linii wskazuje na zaistnienie zwarcia w obrębie tego odcinka; stan wysoki decyzji wszystkich warunków logicznych sąsiadujących odcinków linii wskazuje na zaistnienie zwarcia w punkcie styku tych odcinków bądź

w bezpośrednim sąsiedztwie tego punktu (zależnie od przyjętego odstępstwa między bokami obszarów działania tworzącymi parę odcinków równoległych); stan niski decyzji wszystkich warunków logicznych dla całej chronionej linii wskazuje na stan pracy bezzakłócenowej linii bądź zaistnienie zwarcia poza linią w obiektach sąsiednich.

Określenie zestawu równań sum impedancji i kształtowanie impedancyjnej charakterystyki działania – studium przypadku

Liczba wyznaczanych wektorów sum impedancji i przypisanych do każdej z tych sum obszarów działania zabezpieczeń na płaszczyźnie impedancji zespolonej jest determinowana konfiguracją połączeń elektrycznych poszczególnych odcinków chronionej linii oraz liczbą krańców linii, w których wyznaczane są skorygowane impedancje. Jako studium przypadku układu sieciowego złożonego funkcjonalnie i konfiguracyjnie wybrano fragment sieci dystrybucyjnej WN. Jest to linia ABC, do której w punkcie P odczepowo przyłączono farmę wiatrową FW o mocy 60 MW. Założono, że jest to linia o parametrach typowych dla napięcia 110 kV (m.in. rezystancja jednostkowa: 0,12 Ω/km; reaktancja jednostkowa: 0,41 Ω/km) i długości poszczególnych odcinków: AP = 30 km, BP = 10 km i CP = 6 km. Dodatkowo, celem sprawdzenia poprawności reakcji zabezpieczeń na zwarcia poza obszarem chronionym, do stacji B przyłączono linię BD o długości 5 km. Obliczeniowe moce zwarciove zastępczych systemów elektroenergetycznych przyjęto na poziomie 1000 MV·A (dotyczy stacji A) oraz 500 MV·A. Rozpatrywany układ sieciowy odwzorowano w programie DlgSILENT PowerFactory (schemat ideowy układu przedstawiono na rys.1).



Rys.1. Schemat ideowy układu testowego

Dla rozpatrywanej linii ABC układu testowego można określić zestaw 6 równań opisujących wektory sum impedancji. Sposób definiowania tych równań jest analogiczny jak dla zależności (1) dotyczącej odcinka AP i krańców A i B linii. Celem zachowania kompletności zestawienia, przedstawiając wzmiankowane równania sum impedancji, powtórzono zależność (1):

▪ dla odcinka AP:

$$(1) \quad \underline{Z}_{AP AB} = \left(R_{A AP} + |R_{B AP}| \right) + j \left(X_{A AP} + |X_{B AP}| \right),$$

$$(2) \quad \underline{Z}_{AP AC} = \left(R_{A AP} + |R_{C AP}| \right) + j \left(X_{A AP} + |X_{C AP}| \right),$$

▪ dla odcinka BP:

$$(3) \quad \underline{Z}_{BP AB} = \left(R_{B BP} + |R_{A BP}| \right) + j \left(X_{B BP} + |X_{A BP}| \right),$$

$$(4) \quad \underline{Z}_{BP BC} = \left(R_{B BP} + |R_{C BP}| \right) + j \left(X_{B BP} + |X_{C BP}| \right),$$

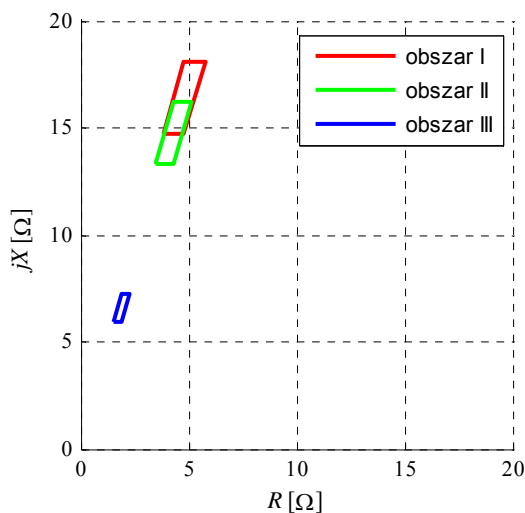
▪ dla odcinka CP:

$$(5) \quad \underline{Z}_{CP AC} = \left(R_{C CP} + |R_{A CP}| \right) + j \left(X_{C CP} + |X_{A CP}| \right),$$

$$(6) \quad \underline{Z}_{CP BC} = \left(R_{C CP} + |R_{B CP}| \right) + j \left(X_{C CP} + |X_{B CP}| \right).$$

Sposób wyznaczania składników sum impedancji, będących składowymi wektorów skorygowanej impedancji, jest analogiczny do zdefiniowanego w opisie zależności (1).

Dla każdego wektora sumy impedancji należy określić fragment płaszczyzny impedancji zespolonej impedancji charakterystyki działania obszarowych zabezpieczeń odległościowych. Dla linii z jednym odczepem (linia ABC układu testowego) wyróżnia się 3 kombinacje połączeń krańców, tj. A-B, A-C i B-C – wymagane jest zatem zdefiniowanie 3 obszarów działania zabezpieczeń: I, II i III. Obszar I, określony względem końca wektora impedancji odcinków AP i BP chronionej linii, jest przypisany do wektorów sum impedancji $Z_{AP AB}$ i $Z_{BP AB}$ opisanych zależnościami (1) i (3). Obszar II, odnoszący się do odcinków AP i CP linii, dotyczy wektorów sum impedancji $Z_{AP AC}$ i $Z_{CP AC}$ – zależności (2) i (5). Z kolei obszar działania III, wynikający z impedancji odcinków BP i CP, jest przyporządkowany wektorom $Z_{BP BC}$ i $Z_{CP BC}$ (zależności (4) i (6)). Zdefiniowane obszary przedstawiono na rysunku 2. Przyjęto, że odstęp między bokiem obszaru a punktem przecięcia przekątnych wynosi 10% rezystancji lub reaktancji rozpatrywanych odcinków linii (odniesienie do reaktancji dotyczy pary boków równoległych do osi odciętych).



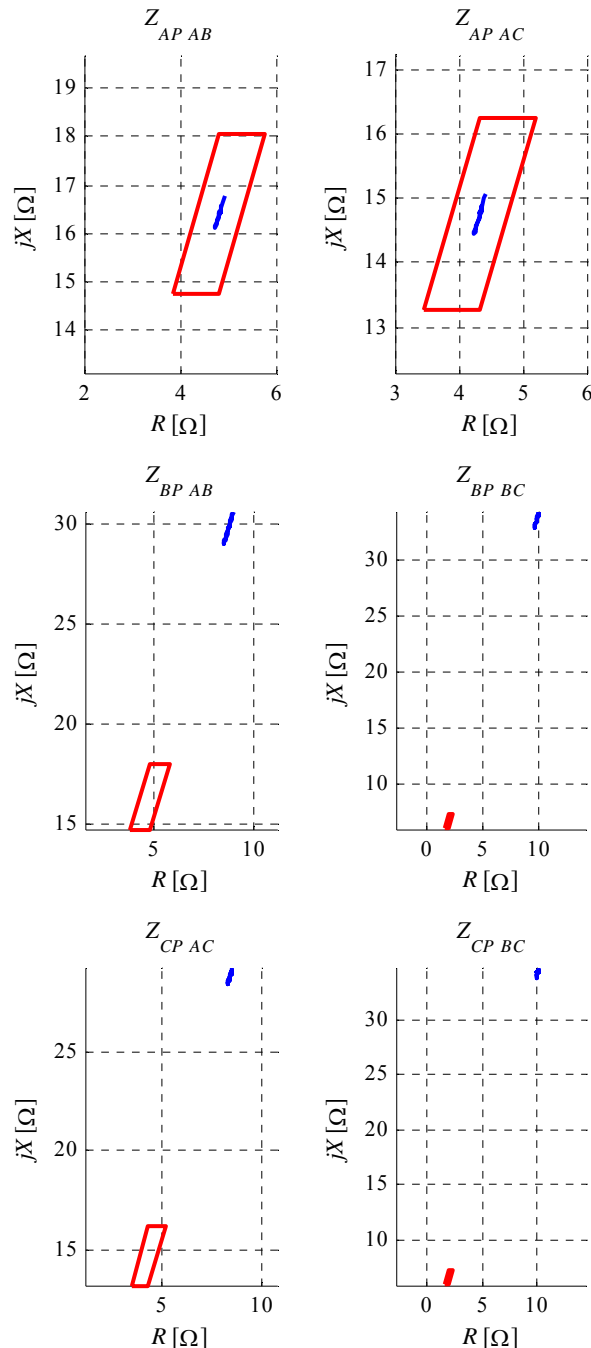
Rys.2. Obszary I, II i III impedancyjnej charakterystyki działania obszarowych zabezpieczeń odległościowych linii ABC układu testowego

Badania symulacyjne

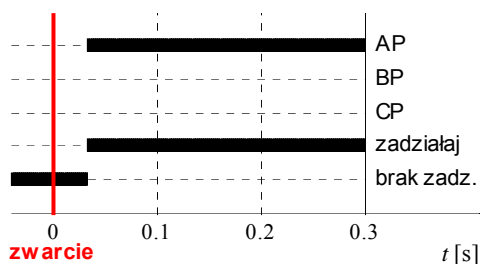
Wykonując badania symulacyjne określające warunki pracy zabezpieczeń odległościowych linii ABC, skupiono się na sprawdzeniu poprawności decyzji wypracowanych przez algorytm decyzyjny oparty na proponowanym kryterium sum impedancji. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki dla kilku przypadków, zmieniając lokalizację zwarcia (wewnątrz linii ABC i poza tą linią) oraz rodzaj zwarcia (1f, 2f lub 3f, z lub bez udziału ziemi, pośrednie lub metaliczne). Dla porównania zamieszczono również wyniki uzyskane w analogicznych warunkach dla „klasycznych” zabezpieczeń odległościowych.

Dla rozpatrywanego układu testowego detekcja zwarcia na poszczególnych odcinkach linii ABC wymaga sprawdzenia położenia końców odpowiednich wektorów sum impedancji względem przypisanych do nich obszarów impedancyjnej charakterystyki działania zabezpieczeń. Przykładowo, dla zakłócenia zwarciego zlokalizowanego na odcinku AP chronionej linii koniec wektora $Z_{AP AB}$ musi się znajdować wewnątrz obszaru I, a koniec wektora $Z_{AP AC}$ wewnątrz obszaru II. Jeśli oba warunki umiejscowienia końców wzmiankowanych wektorów są spełnione, algorytm

decyzyjny może zainicjować rozgłaszanie decyzji do układów wykonawczych o konieczności wyłączenia linii ABC. Zobrazowano to na rysunkach 3 i 4, przedstawiając fragmenty trajektorii wszystkich 6 wektorów sum impedancji (rys.3) oraz przebiegi czasowe decyzji algorytmu decyzyjnego (rys.4, gdzie AP – detekcja zwarcia na odcinku AP; BP – detekcja zwarcia na odcinku BP; CP – detekcja zwarcia na odcinku CP; zadziałaj – stan zwarcia na linii ABC i decyzja o jej wyeliminowaniu ze struktury układu testowego; brak zadziałania – stan pracy bezzakłóceniowej linii ABC). Prezentowane wyniki uzyskano dla jednofazowego zwarcia metalicznego zlokalizowanego na odcinku AP 1 km od stacji A (patrz rys.1).



Rys.3. Końcowe fragmenty trajektorii wektorów sum impedancji (pominięto stany nieustalone algorytmów pomiarowych zabezpieczeń) na tle obszarów I, II i III impedancyjnej charakterystyki działania obszarowych zabezpieczeń odległościowych linii ABC dla zwarcia na początku odcinka AP linii ABC



Rys.4. Przebiegi czasowe decyzji algorytmu decyzyjnego obszarowych zabezpieczeń odległościowych linii ABC dla zwarcia na początku odcinka AP linii ABC (AP, BP i CP – decyzje cząstkowe; zadziałaj i brak zadziałania – decyzje wykonawcze)

Na podstawie przebiegów czasowych sygnałów decyzyjnych przedstawionych na rysunku 4 można stwierdzić, że dla rozpatrywanego zwarcia detekcja zakłócenia nastąpiła po 34 ms od chwili jego wystąpienia. Czas ten wynika przede wszystkim z zastosowania w torze przetwarzania sygnałów zabezpieczenia pełnokresowych filtrów cyfrowych o długości okna równej 20 ms, wykorzystania procedury weryfikującej trwałość zmiany stanu dwustanowych decyzji cząstkowych algorytmu decyzyjnego (sprawdzenie dotyczyło próbek sygnałów wyznaczanych w okresie 3 ms) oraz przyjętego czasu transmisji sygnałów między poszczególnymi punktami zabezpieczeniowymi linii ABC na poziomie 10 ms. Wyłączenie linii nastąpi 94 ms po zaistnieniu rozpatrywanego zwarcia (dla przyjętego czasu wyłączenia wyłącznika rzędu 60 ms – z uwzględnieniem czasu przesyłu informacji od zabezpieczeń do wyłączników).

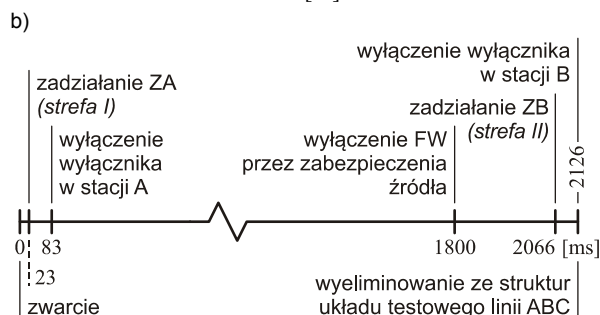
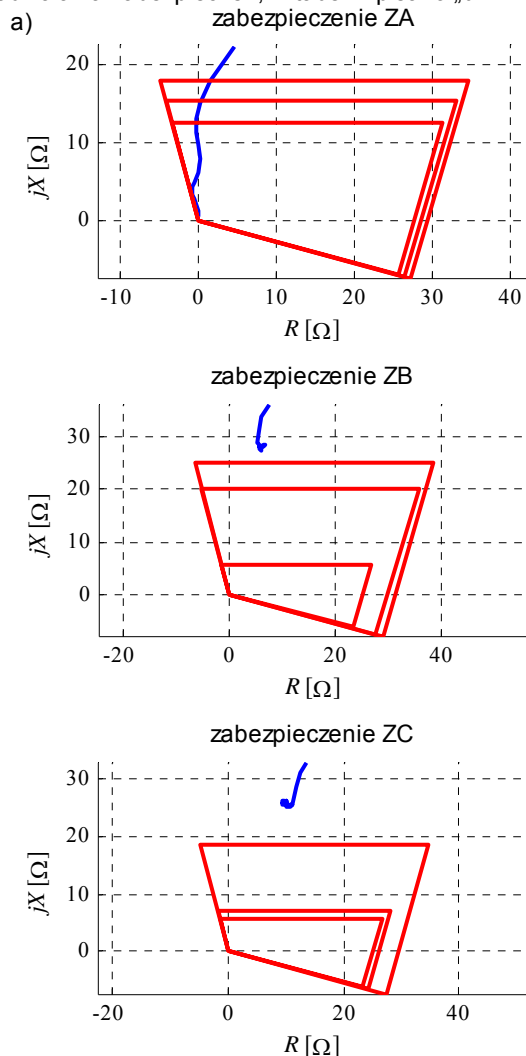
Dla porównania, w analogicznych warunkach pracy układu testowego „klasyczne” zabezpieczenia odległościowe nie doprowadzą do wyłączenia linii ABC w przypadku wystąpienia rozpatrywanego jednofazowego zwarcia metalicznego na 1. km odcinka AP. Spośród zabezpieczeń ZA, ZB i ZC jedynie algorytm decyzyjny ZA wypracował poprawną decyzję o zadziałaniu zabezpieczenia. Wymagane zadziałanie ZB i ZC nie nastąpiło z powodu znacznego zafalszowania wektorów impedancji wyestymowanych przez „klasyczną” metodę wyznaczania impedancji. Jest to wynikiem wystąpienia zjawiska splotu prądów zwarciovych, co skutkuje wydłużeniem tych wektorów impedancji poza strefy pomiarowe zabezpieczeń (rys.5a). Możliwy scenariusz wyłączeń linii ABC z „klasycznymi” zabezpieczeniami odległościowymi zobrazowano na rysunku 5b (zabezpieczenia rezerwowe linii dezaktywowano).

Tabela 1. Czasy wyłączenia linii ABC z symulowanymi zwarem przez proponowane obszarowe zabezpieczenia odległościowe (t_{prop}) i „klasyczne” bezłączowe zabezpieczenia odległościowe (t_{klas})

lokalizacja zwarcia	rodzaj zwarcia	t_{prop}	t_{klas}
		ms	ms
odcinek AP 27 km od A	2f z ziemią; $R_F = 2 \Omega$	34	794
odcinek AP 1 km od A	1f z ziemią; $R_F = 12 \Omega$	34	bz
	1f z ziemią	34	bz
	3f	34	1158
odcinek BP 4 km od B	1f z ziemią	34	768
	3f	34	326
odcinek CP 3 km od C	1f; $R_F = 2 \Omega$	34	410
	3f; $R_F = 2 \Omega$	34	201

W tabeli 1 zamieszczono czasy wyłączenia linii ABC ze struktur układu testowego dla kilku wybranych przypadków zakłóceń zwarciovych na tej linii. Zestawiono wyniki uzyskane dla obszarowych zabezpieczeń odległościowych z zaimplementowanymi proponowanym kryterium

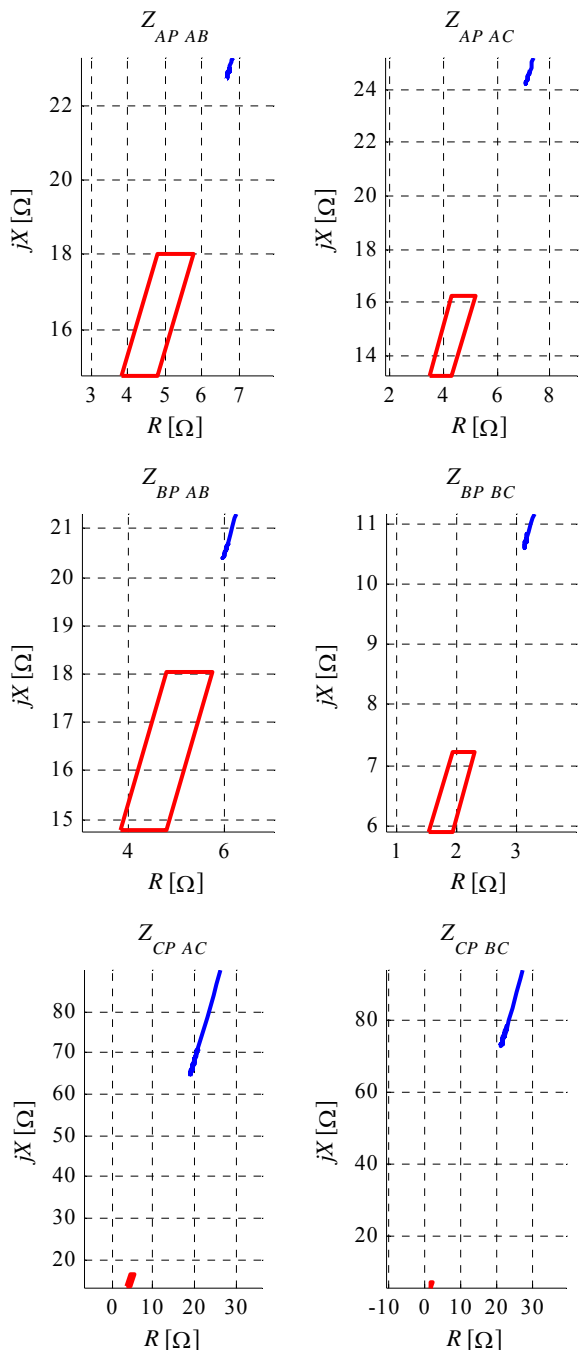
decyzyjnym sum impedancji i metodami wyznaczania skorygowanej impedancji oraz aktualnie stosowanych „klasycznych” zabezpieczeń odległościowych z podimpedancyjnym kryterium decyzyjnym i „klasyczną” metodą wyznaczania impedancji. Zaznacza się, że prezentowane czasy to moment wysłania sygnału wyłączającego do wszystkich wyłączników linii (dla proponowanego rozwiązania) bądź ostatniego z wyłączników linii (dla „klasycznego” rozwiązania). Jeśli linia nie została wyłączona z powodu braku wymaganego zadziałania zabezpieczeń, w tabeli wpisano „bz”.



Rys.5. Przykład błędnego działania „klasycznych” bezłączowych zabezpieczeń odległościowych linii ABC: a) końcowe fragmenty trajektorii wektorów impedancji „widzianych” przez zabezpieczenia na tle stref pomiarowych; b) ilustracja całkowitego czasu eliminacji ze struktur układu testowego linii ABC objętej zwarem

W artykule skupiono się na implementacji proponowanego kryterium sum impedancji w algorytmie decyzyjnym obszarowych zabezpieczeń odległościowych

realizujących ochronę podstawową linii (dla rozpatrywanego układu testowego dotyczy to linii ABC). Zatem wystąpienie zwarcia poza tą linią nie powinno prowadzić do zadziałania tych zabezpieczeń. Tym samym końce wszystkich wektorów sum impedancji powinny znajdować się poza obszarami I, II i III (odpowiednio dla poszczególnych sum). Potwierdzają to wyniki symulacji zrealizowanej dla dwufazowego zwarcia pośredniego zaistniałego w połowie linii BD, które zamieszczono na rysunku 6. Algorytm decyzyjny oparty na kryterium sum impedancji wskazuje na stan pracy bezzakłóceńowej linii ABC. Tym samym wypracowana decyzja wykonawcza o niezadziałaniu zabezpieczeń linii ABC jest poprawna.



Rys.6. Końcowe fragmenty trajektorii wektorów sum impedancji obszarowych zabezpieczeń odległościowych linii ABC dla zwarcia zlokalizowanego poza chronioną linią

Podsumowanie

Przeprowadzone badania weryfikujące poprawność decyzji wypracowanych przez algorytm decyzyjny obszarowych zabezpieczeń odległościowych oparty na opracowanym przez autorów nowym kryterium sum impedancji, których wybrane wyniki zamieszczono w artykule, pozwalają wnioskować, że wykorzystanie proponowanego kryterium umożliwia uzyskanie właściwych (tj. czułych, niezawodnych, selektywnych i szybkich) decyzji wykonawczych nawet przez zabezpieczenia stosowane w układach sieciowych złożonych funkcjonalnie i konfiguracyjnie.

Niewątpliwą zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość sprawdzenia spełnienia warunku logicznego kryterium sum impedancji dla każdego odcinka chronionej linii i każdej kombinacji krańców linii, w których oblicza się skorygowane impedancje będące składnikami tych sum. Pozwala to niezwłocznie wypracować poprawne decyzje algorytmu decyzyjnego o wysokim stopniu wiarygodności niezależnie od lokalizacji i rodzaju zakłócenia zwarciego w obrębie chronionej linii elektroenergetycznej.

W artykule przedstawiono przykład wykorzystania proponowanego kryterium decyzyjnego sum impedancji w obszarowych zabezpieczeniach odległościowych realizujących ochronę podstawową linii. Kryterium to można również zastosować w algorytmie decyzyjnym zabezpieczeń realizujących ochronę rezerwową sąsiednich obiektów elektroenergetycznych. Konieczne jest jedynie zwiększenie zbioru wejściowych sygnałów pomiarowych doprowadzanych do zabezpieczeń stosownie do wymagań metod wyznaczania skorygowanej impedancji dedykowanych obiektom sąsiednim (patrz [6]).

LITERATURA

- [1] Halinka A., Szewczyk M., Distance Protections in the Power System Lines with Connected Wind Farm, *From Turbine to Wind Farm – Technical Requirements and Spin-Off Products*, InTech, 2011
- [2] Halinka A., Szablicki M., Wpływ sposobu przyłączenia farm wiatrowych do sieci dystrybucyjnej WN na działanie zabezpieczeń odległościowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 8, 50-56
- [3] Halinka A., Szablicki M., Metoda estymacji składowych impedancji przez zabezpieczenia odległościowe niewrażliwa na odczepowe przyłączenie źródeł wiatrowych (część 1 – minimalizacja wpływu zjawiska spływu prądów zwarcioowych), *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 9a, 1-6
- [4] Halinka A., Szablicki M., Metoda estymacji składowych impedancji przez zabezpieczenia odległościowe niewrażliwa na odczepowe przyłączenie źródeł wiatrowych (część 2 – minimalizacja wpływu niezerowej wartości rezystancji przejścia w miejscu zwarcia), *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 9a, 7-11
- [5] Halinka A., Szablicki M., Zabezpieczenia odległościowe linii n-odczepowych (nowe metody wyznaczania impedancji), *Przegląd Elektrotechniczny*, przekazano do druku
- [6] Szablicki M., *Obszarowa adaptacyjna automatyka zabezpieczeniowa linii elektroenergetycznych WN z odczepowo przyłączonymi źródłami wiatrowymi*, Rozprawa doktorska, Gliwice, 2013
- [7] Ziegler G., *Numerical distance protection: principles and applications*, Berlin and Munich, 1999

Autorzy: dr hab. inż. Adrian Halinka, profesor Politechniki Śląskiej, E-mail: Adrian.Halinka@polsl.pl; dr inż. Mateusz Szablicki, E-mail: Mateusz.Szablicki@polsl.pl; Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice.