

# Wykorzystanie niekonwencjonalnych technik decyzyjnych do poprawy działania zabezpieczenia odległościowego linii napowietrznej WN o zmiennych w szerokich granicach zdolnościach przesyłowych, część I

**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano problematykę związaną ze sposobem kształtowania i określania zasięgów obszarów działania zabezpieczenia odległościowego linii napowietrznej WN o zmiennych w szerokich granicach zdolnościach przesyłowych. Przedstawiono także ideę działania zaproponowanego rozwiązania Adaptacyjnego Kryterium Odległościowego Linii AKOL, wykorzystującego niekonwencjonalne metody decyzyjne i adaptacyjne dostosowywania parametrów do aktualnych warunków pracy linii.

**Abstract.** Problems with zones forming and parameterization of distance protection for HV overhead line with widely varying capacity limit are discussed in the paper. The developed solutions Adaptive Line Distance Protection AKOL, using unconventional decision taking methods and adaptive adjustment of the parameters for the actual operating conditions of the line are also presented. (Using unconventional decision taking methods in distance protection of HV overhead line with widely varying capacity limit, part I).

**Słowa kluczowe:** zabezpieczenie odległościowe, zabezpieczenia adaptacyjne, napowietrzne linie WN, intensyfikacja zdolności przesyłowych.

**Keywords:** distance protection, adaptive protection, HV overhead line, increasing capacity.

doi:10.12915/pe.2014.03.03

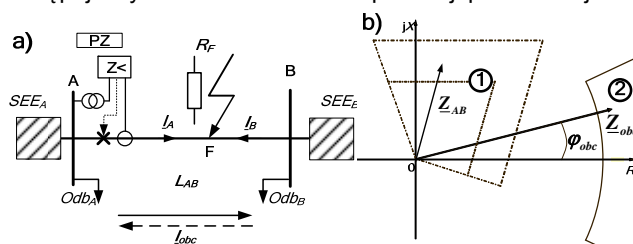
## Wstęp

Wykorzystanie zwiększenia zdolności przesyłowych w liniach napowietrznych WN poprzez zastosowanie obciążalności dynamicznej lub przewodów niskozwisowych wiąże się ze zwiększeniem – w stosunku do rozwiązań tradycyjnych – dopuszczalnych wartości prądów. Może to powodować nieprawidłowe działanie zabezpieczeń odległościowych dedykowanych tym liniom. Konsekwencją stosowania tych rozwiązań jest rozszerzenie (w kierunku mniejszych impedancji) obszaru spodziewanych położań końców wektorów impedancji „widzianych” przez zabezpieczenie odległościowe podczas pracy dopuszczalnej linii. To z kolei wpływa na zmniejszenie potencjalnego obszaru impedancyjnego działania zabezpieczenia odległościowego, co może prowadzić do ograniczenia jego skuteczności. Brak zmniejszenia obszaru działania zabezpieczenia dla stanów zwiększonych obciążeń, przekraczających obciążalność prądową dopuszczalną statycznie dla sezonu zimowego  $I_{dop.z}$  klasycznych linii, może prowadzić do jego nachodzenia na obszar pracy dopuszczalnej. Taka sytuacja stwarza ryzyko nadmiarowych zadziałań zabezpieczenia w szczególnie ważnych chwilach pracy systemu elektroenergetycznego (SEE) – gdy wykorzystanie zdolności przesyłowych linii jest bardzo duże. W celu przeciwdziałania nieprawidłowym reakcjom zabezpieczenia odległościowego poszukiwano metody umożliwiającej rozróżnienie stanów obciążeń dopuszczalnych i zwarciovych skutkujących umiejscowieniem końca wektora impedancji pomiarowej w obszarze wspólnym działania zabezpieczenia i normalnej pracy. Rozwiązania tego problemu poszukiwano, wykorzystując w procesie decyzyjnym metody niekonwencjonalne – opracowany w tym celu algorytm wykorzystuje ciągłe przekształcenie falkowe.

Prawidłowe i skuteczne działanie zabezpieczenia odległościowego linii o zmiennych w szerokich granicach zdolnościach przesyłowych (wynikających z wykorzystania np. obciążalności dynamicznej linii) wymaga przeanalizowania czynników wpływających na poprawność wyznaczania impedancji oraz sposobu parametryzacji obszarów działania (stref pomiarowych) tego zabezpieczenia.

## Czynniki fałszujące wyznaczenie impedancji

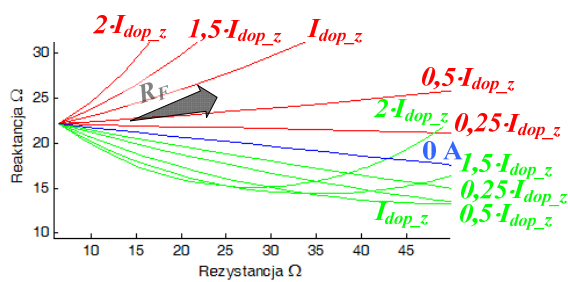
Zabezpieczenie odległościowe bazuje na kryterium podimpedancyjnym, nazywanym odległościowym, w którym na podstawie sygnałów prądowych i napięciowych, pochodzących z lokalnych układów pomiarowych (rys.1), następuje wyznaczenie wektora impedancji pomiarowej.



Rys.1. Miejsca pomiaru sygnałów wejściowych dla zabezpieczenia odległościowego linii: a) schemat ideowy, b) przykładowe położenie na płaszczyźnie impedancji zespolonej obszarów dedykowanych wyłączeniom (1) i obszaru obciążeń dopuszczalnych wyznaczonego dla obciążalności prądowej dopuszczalnej statycznie dla sezonu zimowego  $I_{dop.z}$  (2)

W stanach zwarciovych wyznaczona impedancja charakteryzuje się – z reguły – mniejszą wartością niż w stanach obciążeń dopuszczalnych. Stwarza to możliwość wyróżnienia na płaszczyźnie impedancji zespolonej obszarów: dedykowanych wyłączeniom, nazywanych strefami pomiarowymi (obszary (1) na rys.1b) i obciążeń dopuszczalnych (obszary (2) na rys.1b).

Wyznaczona impedancja może być obarczona błędami wynikającymi z występowania m.in.: niezerowej rezystancji przejścia w miejscu zwarcia, zjawiska sływu prądów zwarciovych, obciążenia linii w stanie przedzakłóceniovym. W przypadku linii o zmiennych w szerokich granicach zdolnościach przesyłowych, będących efektem wykorzystania obciążalności dynamicznej linii, dopuszczalna wartość prądu obciążenia może zmieniać się od niewielkich wartości do nawet dwukrotności obciążalności dopuszczalnej dla rozwiązań klasycznych [1]. Na rysunku 2 przedstawiono wpływ obciążenia linii w stanie przedzakłóceniovym na wyznaczone impedancje w trakcie zwarć o różnych wartościach rezystancji przejścia.



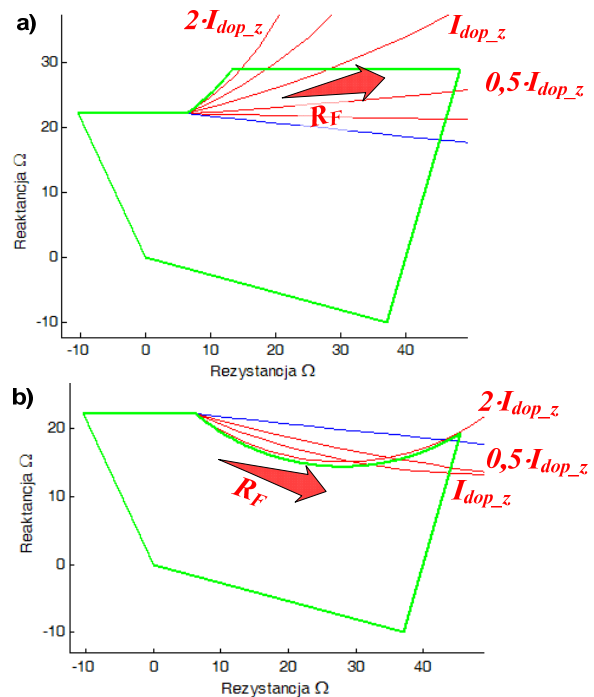
Rys.2. Przykładowe krzywe obrazujące położenia końców wektorów wyznaczonych impedancji dla zwarć trójfazowych o różnych rezystancjach przejścia  $R_F$  i dla obciążenia w stanie przedzakłóceniovym o charakterze czynnym i kierunku do szyn lokalnych (czerwony) lub od szyn lokalnych (zielony)

Wraz ze wzrastającym poziomem obciążenia w stanie przedzwarciovym nasila się nieliniowy wpływ rezystancji przejścia na wyznaczone w stanie zwarcia impedancje. Jedynie przy zwarciach metalicznych wartość obciążenia w stanie przedzakłóceniovym nie wpływa na wyznaczaną impedancję. W dotychczas stosowanych zabezpieczeniach odległościowych kształt stref pomiarowych nie jest dostosowywany do zmian obciążenia w stanie przedzakłóceniovym. W przypadku intensyfikacji zdolności przesyłowych linii obciążenie w stanie przedzakłóceniovym może mieć duże znaczenie dla poprawności działania zabezpieczenia. Opracowanym rozwiązaniem, które pozwala zmniejszyć wpływ obciążenia linii na poprawność działania zabezpieczenia odległościowego linii jest uzależnienie kształtu odcinka zasięgu reaktancyjnego pierwszej strefy pomiarowej od rodzaju i wartości prądu linii. Wymaga to jednak znacznego skomplikowania układu decyzyjnego, przykładowo, wykorzystując układy adaptacyjne. Ze względu na obserwowany szeroki zakres zmian wyznaczanych impedancji na skutek różnych obciążeń w stanie przedzwarciovym, uwzględnienie tego czynnika w całym zakresie dopuszczalnych jego zmienności jest niemożliwe. Zaproponowano więc rozwiązanie, polegające na uwzględnieniu tego czynnika fałszującego w możliwie szerokim zakresie, ograniczonym poprzez zdefiniowanie granicznej wartości reaktancji. Po przekroczeniu tej wartości, zasięg reaktancyjny nie będzie zwiększany.

Proponowana maksymalna graniczna wartość reaktancji wynosi 130% reaktancji zasięgu pierwszej strefy. Wartość ta wynika z kompromisu między możliwym poziomem zmian reaktancji na skutek prądu obciążenia linii w stanie przedzwarciovym a zasięgiem reaktancyjnym kolejnych stref. Dla przypadków zmniejszania zasięgu, nie przewiduje się wprowadzenia ograniczenia dopuszczalnej zmiany odcinka zasięgu reaktancyjnego, co zapewni minimalizację możliwych działań przyspieszonych.

Część adaptacyjną zasięgu reaktancyjnego I stref proponuje się aktualizować przy zmianach obciążenia co 200 A oraz przy zmianach kąta obciążenia co  $5^\circ$ . Jeżeli prąd przekroczy daną wartość progową, następuje wyznaczenie odcinka zasięgu reaktancyjnego wynikającego z następnego progu. Zasada ta obowiązuje przy powiększaniu się strefy. Przy zmniejszaniu strefy obowiązuje dobieranie progu dla niższych prądów obciążenia. Weryfikacja stanu obciążenia linii dokonywana będzie co 10 sekund.

Przykładowe kształty stref pomiarowych, wynikające z zaproponowanego sposobu określania zasięgu reaktancyjnego dla dużych obciążeń w stanie przedzakłóceniovym o charakterze czynnym, przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Przykłady kształtowania zasięgu reaktancyjnego I strefy pomiarowej dla obciążenia linii w stanie przedzakłóceniovym o kierunku: a) do szyn lokalnych b) od szyn lokalnych

### Sposoby określania zasięgu rezystancyjnego stref

O ile na obszar sieciowy działania zabezpieczenia wpływ ma przede wszystkim nastawa zasięgu reaktancyjnego, o czułości zabezpieczenia (zdolności do wykrywania zwarć pośrednich – wykrywanie zwarć o możliwie dużej rezystancji przejścia) decyduje przede wszystkim nastawa zasięgu rezystancyjnego. Dla stref działania o kształcie poligonalnym można wyróżnić szereg sposobów określania zasięgów poszczególnych stref pomiarowych, przy czym parametryzacji podlegają osobno zasięgi rezystancyjny i reaktancyjny, a parametry te dla każdej ze stref ustawiane są niezależnie. Przyjęto taką samą parametryzację dla stref doziemnych jak i międzyfazowych. W celu poprawy czułości działania zabezpieczeń odległościowych (uzyskania możliwie dużej zdolności do wykrywania zwarć pośrednich) opracowano sposoby parametryzacji, które w znacznej części opierają się na określaniu zasięgów rezystancyjnych stref względem obszaru obciążeń dopuszczalnych.

Do opracowanych sposobów parametryzacji należą m.in.:

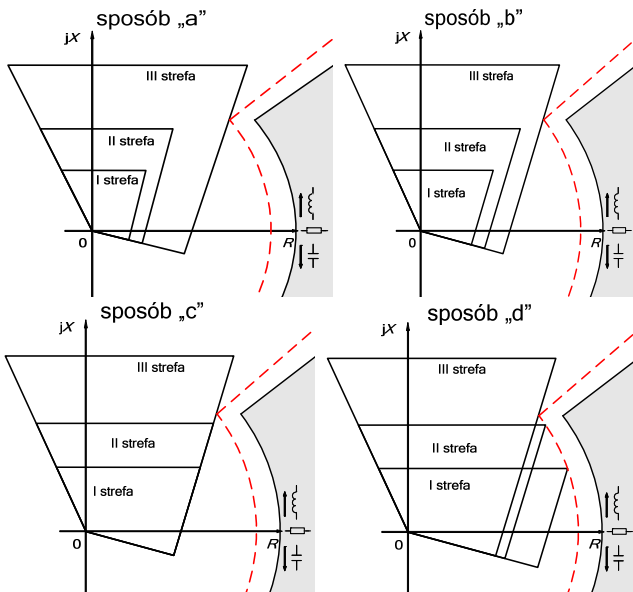
- sposób ze stałą, maksymalną wartością  $R_F$  wykrywanych zwarć na końcach stref (rys.4a) – proces parametryzacji polega na wyznaczeniu maksymalnego możliwego zasięgu rezystancyjnego najdalej sięgającej strefy (tak by nie przekroczyć granicy minimalnego obszaru rozdzielającego strefy działania od obszaru obciążeń dopuszczalnych), a następnie obliczeniu dla niej największej wartości rezystancji  $R_F$  przy zwarciu na końcu tej strefy, parametry zasięgów dla innych stref wyznaczone są w oparciu o obliczone  $R_F$ ,
- sposób z maksymalizacją zasięgu rezystancyjnego ostatniej strefy z utrzymaniem 10% rozsunęcia między zasięgami rezystancyjnymi kolejnych stref (rys.4b) – proces parametryzacji polega na wyznaczeniu maksymalnego możliwego zasięgu rezystancyjnego najdalej sięgającej strefy (tak by nie przekroczyć granicy minimalnego obszaru rozdzielającego strefy działania od obszaru obciążeń dopuszczalnych), zasięg reaktancyjny każdej poprzedniej

strefy określany jest jako 90% zasięgu rezystancyjnego strefy po niej następującej,

c) sposób z maksymalizacją zasięgu rezystancyjnego ostatniej strefy z powieleniem zasięgu dla innych stref (rys.4c) – proces parametryzacji polega na wyznaczeniu maksymalnego możliwego zasięgu rezystancyjnego najdalej sięgającej strefy (tak by nie przekroczyć granicy minimalnego obszaru rozdzielającego strefy działania od obszaru obciążeń dopuszczalnych), zasięg rezystancyjny pozostałych stref jest taki sam,

d) sposób z maksymalizacją zasięgów rezystancyjnych każdej ze stref z osobna (rys.4d) – proces parametryzacji polega na niezależnym wyznaczeniu maksymalnego możliwego zasięgu rezystancyjnego każdej ze stref (tak by nie przekroczyć granicy minimalnego obszaru rozdzielającego strefy działania od obszaru obciążeń dopuszczalnych).

Przykładowe kształty stref pomiarowych sparametryzowanych według zaproponowanych sposobów określania zasięgów rezystancyjnych wraz z obszarem obciążeń dopuszczalnych przedstawiono na rysunku 4. Kolejne z opracowanych sposobów parametryzacji charakteryzują się coraz większym wykorzystaniem obszaru rozdzielającego obszar obciążeń dopuszczalnych i działania zabezpieczenia. Na rysunku 4 zaznaczono także granicę minimalnego obszaru rozdzielającego strefy działania od obszaru obciążeń dopuszczalnych (czerwona przerywana linia), której szerokość wynosi 20% minimalnej impedancji obciążenia dopuszczalnego.



Rys.4. Strefy pomiarowe dla parametryzacji zasięgów rezystancyjnych różnymi sposobami

Należy zaznaczyć, że dobrana wg ostatniego z prezentowanych sposobów parametryzacji pierwsza strefa może być przyczyną nieprawidłowego działania zabezpieczenia odległościowego. Jest to związane z możliwą znaczną dynamiką zmian wektora impedancji w stanach przejściowych oraz praktycznie brakiem opóźnienia czasowego działania dla tej strefy.

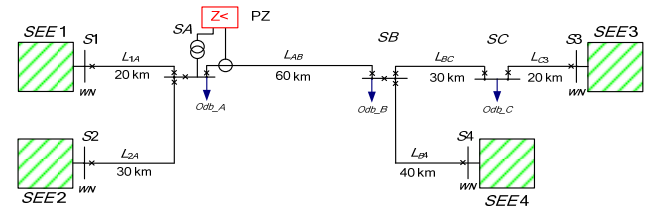
W celu ograniczenia ewentualności zaistnienia takich sytuacji możliwe jest zastosowanie:

- zwiększenia czasu, podczas którego koniec wektora impedancji musi cały czas znajdować się w części stref pierwszych wykraczających poza obszar innych stref, czyli de facto wprowadzenie dodatkowego opóźnienia dla części (lub dla całych) stref pierwszych wykraczających poza obszar innych stref o wartości przykładowo 10 ms,

- wprowadzenie dodatkowego warunku kryterialnego w części stref pierwszych wykraczających poza obszar innych stref – uzależnienie zadziałania od szybkości zmian impedancji, gdy dynamika zmian przekracza dopuszczalny poziom, zadziałanie zabezpieczenia jest blokowane mimo znajdowania się wektora impedancji wewnątrz strefy (blokowanie następuje do chwili zmniejszenia się dynamiki zmian impedancji).

### Badania symulacyjne

Dla przykładowej struktury sieciowej (rys.5), parametryzacji poddano zabezpieczenie odległościowe linii  $L_{AB}$  w stacji SA (punkt zabezpieczeniowy PZ). Parametryzacji dla wymienionych sposobów dokonano przy założeniu obszaru obciążeń dopuszczalnych określonych dla obciążalności dopuszczalnej dla sezonu zimowego.



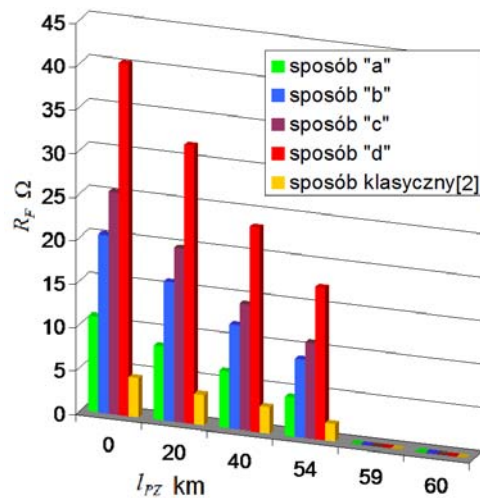
Rys.5. Struktura układu testowego sieci WN

Zestawienie uzyskanych parametrów, określonych dla punktów przecięć z osiami, zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry zasięgów stref pomiarowych

sposób parametryzacji	$X_I$ $\Omega$	$R_I$ $\Omega$	$X_{II}$ $\Omega$	$R_{II}$ $\Omega$	$X_{III}$ $\Omega$	$R_{III}$ $\Omega$
a	22,1	14,3	44,6	23,7	58,1	32,5
b		26,2		29,2		32,5
c		32,5		32,5		32,5
d		51,7		33,8		32,5

Następnie, wykorzystując oprogramowania Netomac (model układu) i Matlab (model kryterium odległościowego), wyznaczono maksymalne wykrywane wartości rezystancji przejścia zwarcia pośrednich w poszczególnych strefach dla zwarcia występujących w charakterystycznych punktach układu (na początkach, w środkach i na końcach poszczególnych linii oraz w miejscach odpowiadających końcom działania stref) przy braku obciążenia linii  $L_{AB}$  w stanie przedzakłóceniovym. Przykładowe wyniki przedstawiono na rysunku 6.



Rys.6. Zdolności do wykrywania zwarcia pośrednich w funkcji miejsca zwarcia  $l_{PZ}$  (od PZ) dla I stref międzyfazowych

Podobne badania przeprowadzono dla wszystkich trzech stref pomiarowych i obszaru obciążeń dopuszczalnych zdefiniowanych dla obciążalności prądowej dopuszczalnej dla sezonu letniego oraz przyjętej maksymalnej obciążalności dynamicznej linii, równej dwukrotności  $I_{dop\_z}$ , a także dla parametryzacji zabezpieczenia zgodnej z dokumentem [2], traktowanej jako klasyczny sposób parametryzacji.

Dla podstawowej strefy działania zabezpieczenia, parametryzacja zasięgu rezystancyjnego sposobem „d” pozwala na znaczne zwiększenie zdolności wykrywania zwarc. Wartość rezystancji przejścia wykrywanych wówczas zwarc pośrednich, zarówno międzyfazowych, jak i jednofazowych, jest nawet kilkukrotnie większa niż w innych sposobach określania zasięgu rezystancyjnego.

Jednak nawet zastosowanie sposobu parametryzacji o największej zdolności do wykrywania zwarc pośrednich (sposób „d”) dla klasycznego zabezpieczenia odległościowego linii o zmiennej w szerokich granicach obciążalności dopuszczalnej (wynikającej z wykorzystania obciążalności dynamicznej) ograniczy się do niezmiennych wartości parametrów zabezpieczenia wynikających z przyjętego maksymalnego obciążenia dopuszczalnego. W celu zwiększenia skuteczności działania zabezpieczenia proponuje się wykorzystanie technik adaptacyjnych do dostosowywania obszaru działania zabezpieczenia odległościowego linii m.in. do wyznaczanych wartości obciążalności dynamicznej linii.

### Zmienność obszaru obciążeń dopuszczalnych

W dotychczasowej praktyce parametryzacji zabezpieczeń odległościowych nie uwzględniano zmian obciążalności dopuszczalnej linii, utrzymując dla całego roku obszar obciążeń dopuszczalnych wynikający z obciążalności prądowej dopuszczalnej dla sezonu zimowego. Przyczynia się to do występowania w sezonie letnim znacznego obszaru między strefami pomiarowymi a obszarem obciążeń dopuszczalnych. Podobne zjawisko występuje w linii wykorzystującej obciążalność dynamiczną przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych (duże nasłonecznienie, mała prędkość wiatru równoległego). Zaproponowano, by obszar ten dla takich sytuacji objąć strefami pomiarowymi zabezpieczenia, umożliwiając zwiększenie zdolności do wykrywania zwarc pośrednich [3].

Natomiast dla obciążalności dynamicznej większej od obciążalności dla sezonu zimowego, obszar obciążeń ulega poszerzeniu w kierunku mniejszych impedancji. Stwarza to zagrożenie częściowego nachodzenia obszarów obciążeń dopuszczalnych i stref działania. W celu uzyskania jednocześnie dużej zdolności do wykrywania zwarc pośrednich i umożliwienia wykorzystania dużej zdolności przesyłowej, zaproponowano rozwiązanie bazujące na ciągłej transformacie falkowej CWT. Jego zadaniem jest wykrycie stanu zwarcia i rozróżnienie go od dopuszczalnych stanów pracy w obszarze sieciowym objętym działaniem zabezpieczenia odległościowego.

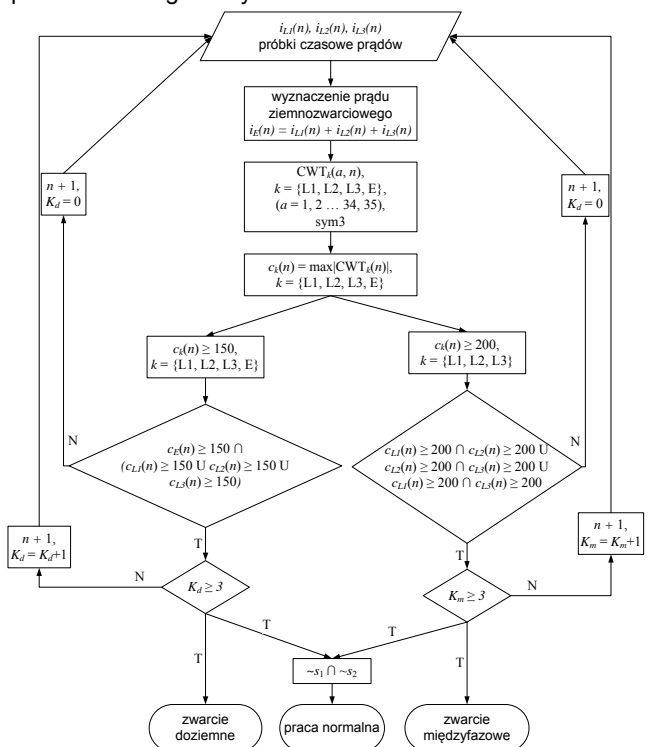
### Kryterium detekcji stanu zwarcia KDeSZ

Wykorzystanie ciągłej transformaty falkowej wynika z korzystnych właściwości tego przekształcenia dotyczących rozdzielczości w dziedzinie czasu i częstotliwości. Dla CWT występuje największa, spośród transformat falkowych, możliwość kształtowania współczynników skali i przesunięcia, dzięki czemu uzyskuje się szerokie możliwości analizy wyników ze względu na dużą liczbę informacji w niej zawartych.

Bazę sygnałów prądowych dla badań nad weryfikacją przydatności cech transformaty CWT, jak i algorytmem detekcji stanu zwarcia, utworzono przy wykorzystaniu

programu Netomac dla układu z rysunku 1a. Przyjęto długości linii  $L_{AB}$  równe 50 i 100 km oraz zmienne moce zwarciove systemów zastępczych  $SEE_A$  i  $SEE_B$ . Stworzona baza obejmuje przypadki wystąpienia różnych rodzajów zwarc pojedynczych, jednoczesnych o  $R_F$  z przedziału 0,5÷100  $\Omega$  i dla różnych obciążeń w stanie przedzakołoceniowym. Baza sygnałów obejmuje także (dla wymienionych układów sieciowych) przypadki zmiany charakteru obciążenia linii, jego wartości i kierunku przepływu.

Przeprowadzone analizy CWT uzyskane dla różnych: skal, stanów pracy linii, długości linii i funkcji falkowych m.in. wyłoniły funkcję falkową – symlet 3-rzędu o stosunkowo krótkiej odpowiedzi impulsowej, dobrej rozdzielczości w dziedzinie częstotliwości i niewielkich wartościach amplitud wstęg bocznych widma amplitudowego, której zastosowanie umożliwiło opracowanie kryterium KDeSZ o wystarczająco krótkim czasie uzyskiwania decyzji (znacznie krótszym od czasu wyznaczania składowych impedancji), wymagający częstotliwości próbkowania sygnałów prądowych równą 25 kHz. Ponadto analizy CWT pokazały, że nie zawsze ten sam zestaw skal transformaty jest reprezentatywny dla wykrycia i rozpoznania wystąpienia stanu zwarcia, a po dodatkowych analizach dokonano wyboru skal 1÷35 dla realizacji omawianych zadań. Dalsze analizy CWT, dla różnych sytuacji ruchowych, pozwoliły na określenie wartości progowych współczynników transformaty, umożliwiających rozróżnienie wystąpienia stanu zwarcia od zmian obciążenia linii w dopuszczalnym zakresie. Dla detekcji zwarc międzyfazowych wartość progowa wynosi 200, natomiast dla detekcji zwarc doziemnych: 150. Całościowe ujęcie przeprowadzonych badań i analiz uzyskanych wyników umożliwiło opracowanie algorytmu działania kryterium detekcji stanu zwarcia KDeSZ, przedstawionego na rysunku 7.

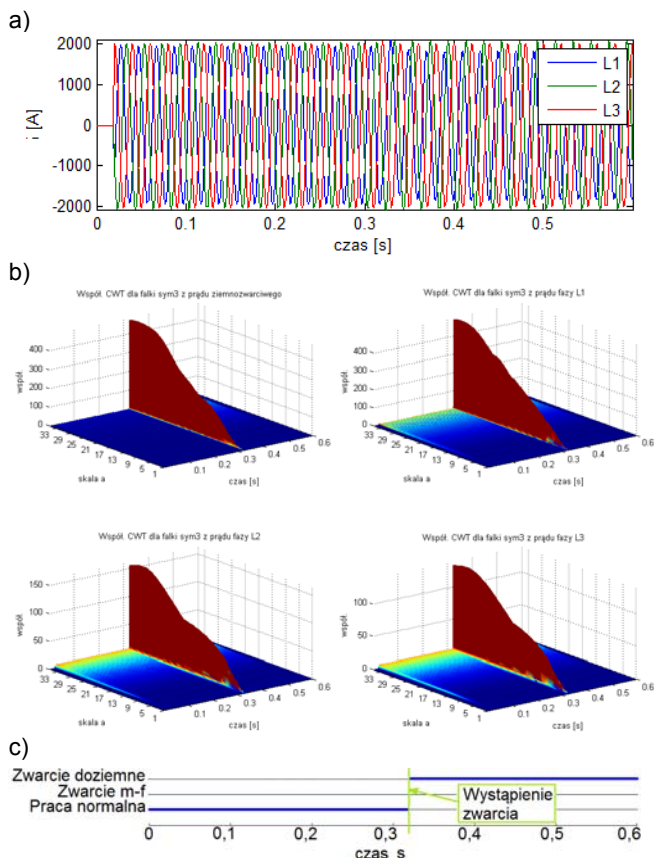


Rys.7. Algorytm działania opracowanego kryterium detekcji stanu zwarcia KDeSZ

Czas własny algorytmu KDeSZ wynosi maksymalnie 8 ms i wynika z długości funkcji falkowej dla największej z

analizowanych skal transformaty CWT, powiększony o warunek potwierdzenia decyzji.

Przykładowe działanie modułu KDeSZ przedstawiono na rysunku 8 dla zwarcia jednofazowego L1-E o  $R_F = 0,5 \Omega$ , występującego w 320 ms symulacji na linii  $L_{AB}$  o obciążeniu 193% prądu  $I_{dop\_z}$ . Przebiegi dwustanowych sygnałów kryterialnych pokazano na rysunku 8c. Warunek kryterialny detekcji zwarcia doziemnego spełniony został dla fazy L1. Warto podkreślić, że opracowane kryterium KDeSZ może również dostarczyć informacji o fazach objętych zwarcie. Nie jest to jednak pełna informacja o rodzaju zwarcia, gdyż dla zwarc trójfazowych wskazywane są, w niektórych przypadkach, tylko dwie fazy jako objęte zwarcie. Informacja ta może być cenna dla algorytmów decyzyjnych kryterium odległościowego dla określenia modułu pomiarowego dla której wyznaczona impedancja jest najbliższa impedancji pętli zwarciowej.



Rys.8. Działanie algorytmu KDeSZ w przypadku wystąpienia zwarcia jednofazowego o  $R_F = 0,5 \Omega$  na końcowym fragmencie linii o wysokim obciążeniu w stanie przedzwarciowym: a) przebiegi czasowe wartości chwilowych prądów fazowych, b) wyznaczone CWT dla prądów fazowych i ziemnozwarciowego, c) przebiegi dwustanowych decyzji końcowych KDeSZ

Ważną częścią prowadzonych badań było określenie reakcji kryterium KDeSZ na zmiany warunków pracy chronionej linii w stanach normalnych. W celu sprawdzenia poprawności reakcji na znaczne zmiany obciążenia linii symulowano odbiory o dużych mocach, których zmiana stanu pracy powodowała znaczne zmiany prądów linii  $L_{AB}$ . Wśród symulowanych stanów (dla obu długości linii po około 250 przypadków) nie zaobserwowano nieprawidłowej reakcji kryterium KDeSZ.

Dla przypadków wystąpienia zwarcia, dla każdego miejsca jego wystąpienia wykonano 560 symulacji

(obejmujących po 112 dla danej wartości  $R_F$  i po 140 dla danego rodzaju zakłócenia) dla różnych obciążeń linii w stanie przedzakłóceniowym. Zestawienie uzyskanych wyników wykrywania różnych rodzajów zwarc przez kryterium KDeSZ dla linii o długości 100 km przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie skuteczności wykrywania różnych rodzajów zwarc przez kryterium KDeSZ

Rodzaj zwarcia	Miejsce zwarcia, km										
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
1F	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
2F	140	136	120	120	120	119	118	118	116	126	125
3F	140	140	140	140	140	140	138	122	103	82	89
2F+E	140	140	140	140	140	140	140	133	116	112	104
$R_F = 0,5 \Omega$	112	112	108	108	108	108	108	110	112	108	112
$R_F = 2 \Omega$	112	112	108	108	108	108	108	110	112	107	112
$R_F = 10 \Omega$	112	112	108	108	108	108	108	110	110	104	109
$R_F = 50 \Omega$	112	112	108	108	108	108	108	103	93	89	82
$R_F = 100 \Omega$	112	108	108	108	108	107	104	80	48	52	43
Suma	560	556	540	540	540	539	536	513	475	460	458
Skuteczność	100	99,3	96,4	96,4	96,4	96,3	95,7	91,6	84,8	82,1	81,8

## Podsumowanie

Zwiększanie zdolności przesyłowych linii poprzez zastosowanie obciążalności dynamicznej może powodować niepoprawne działanie zabezpieczeń odległościowych. Przedstawione w artykule rozwiązania umożliwiają poprawę działania zabezpieczeń odległościowych linii napowietrznych WN o zmiennych w szerokich granicach zdolnościach przesyłowych.

Opracowane sposoby kształtowania zasięgów rezystancyjnych i reaktancyjnych umożliwiają zwiększenie selektywności działania zabezpieczenia odległościowego i uzyskanie większej zdolności do wykrywania zwarc pośrednich.

W artykule przedstawiono autorskie kryterium detekcji stanu zwarcia KDeSZ, wykorzystujące ciągłą transformatę falkową sygnałów prądowych. Rozwiązanie to umożliwia uzyskanie dużej zdolności do wykrywania zwarc pośrednich, w przypadkach linii napowietrznych WN o zmiennych w szerokich granicach zdolności przesyłowych.

## LITERATURA

- [1] Lawry D., Daconti J.: Overhead line thermal rating calculation based on conductor replica method, *Proceeding of Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE PES*, vol.3 (2003), 880-885
- [2] Nastawy zabezpieczenia impedancyjnego, C&C sp. j., [www.nxcandc.com/urządzenia/ZCR4ETP/dtr/Nastawy\\_zabezpieczenia\\_impedancyjnego.pdf](http://www.nxcandc.com/urządzenia/ZCR4ETP/dtr/Nastawy_zabezpieczenia_impedancyjnego.pdf) (dostęp 17.02.2013)
- [3] Halinka A., Niedopytalski M., Sowa P., Szewczyk M.: Działanie zabezpieczeń odległościowych w liniach WN i NN o sezonowej zmianie obciążenia dopuszczalnego, *Automatyka Elektroenergetyczna*, nr 4 (2010), 21-26

**Autorzy:** dr hab. inż. Adrian Halinka, prof. Pol. Śl., Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, e-mail: [Adrian.Halinka@polsl.pl](mailto:Adrian.Halinka@polsl.pl); dr inż. Marcin Niedopytalski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, e-mail: [Marcin.Niedopytalski@polsl.pl](mailto:Marcin.Niedopytalski@polsl.pl)