

Analiza skuteczności adaptacyjnej zmiany nastaw funkcji podimpedancyjnej zabezpieczenia przesuwника fazowego

Streszczenie. Zabezpieczenie podimpedancyjne stanowi główne zabezpieczenie rezerwowe jednostek transformatorowych najwyższych napięć (w tym przesuwników fazowych). Warunki działania tego zabezpieczenia są bardzo trudne, ponieważ impedancja przesuwnika zależy m.in. od pozycji przełącznika zaczeów. Niejednokrotnie powoduje to błędne działanie zabezpieczenia. W artykule przedstawiono koncepcję adaptacyjnego dostosowania nastaw zabezpieczenia do aktualnej pozycji przełącznika zaczeów. Zamieszczono wyniki testów skuteczności tego rozwiązania.

Abstract. The underimpedance protection is the main backup protection of the HV transformers (including Phase Shifting Transformers – PST). The operating conditions of this protection are very difficult because the PST's impedance depends among others on the position of the tap changer. This often results in the protection malfunction. The paper presents the concept of an adaptive adjustment of the underimpedance protection settings to the current position of the tap changer. This solution's effectiveness tests results are also included in the paper. (Effectiveness analysis of an adaptive change of the settings of the underimpedance function of the phase shifting transformer protection).

Słowa kluczowe: automatyka zabezpieczeniowa, zakłócenia w systemie elektroenergetycznym, przesuwnik fazowy.

Keywords: power system protection, power system disturbances, phase shifting transformer.

Wstęp

Przesuwniki fazowe (PF) stanowią jednostki transformatorowe coraz powszechniej stosowane w systemach elektroenergetycznych (SEE). PF pozwalają regulować poziom mocy przepływającej w gałęzi z PF, oddziałując na zmianę rozplywu mocy w SEE, także na połączeniach transgranicznych [1]. Wysoki poziom skomplikowania PF (niejednokrotnie jednostki dużej mocy są realizowane jako dwukadziowe) oraz wysoka newralgiczność w SEE (w szczególności dotyczy jednostek instalowanych na połączeniach transgranicznych) stawiają wysokie wymagania dla ich zabezpieczeń. Powoduje to, że te układy są bardzo zaawansowane [2], [3].

Podstawowym zabezpieczeniem PF jest zabezpieczenie różnicowoprądowe [2], [3], [4], [5], zwykle w wykonaniu niestandardowym złożonym z kilku funkcji różnicowych, co zapewnia wysoką skuteczność ich działania praktycznie we wszystkich spodziewanych stanach pracy PF [3], [5]. Problemy z poprawnym działaniem zabezpieczeń PF identyfikuje się dla zabezpieczeń podimpedancyjnych [4], [5], [6] – stanowi to przedmiot analiz Autorów.

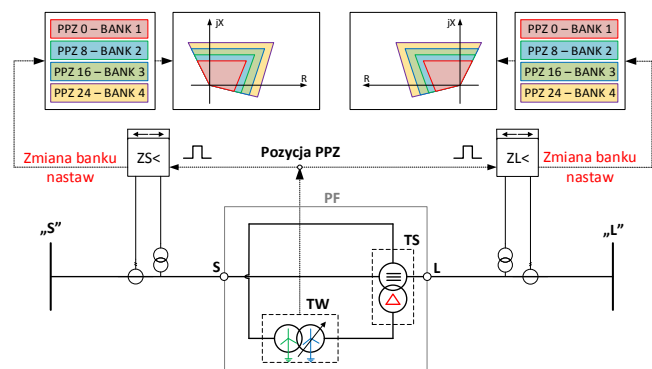
Zabezpieczenie podimpedancyjne PF stanowi główne zabezpieczenie rezerwowe i służy do ochrony PF przede wszystkim przed skutkami zwarć wewnętrznych, na wyprowadzeniach i w najbliższym otoczeniu sieciowym PF niewyłączonych przez zabezpieczenia podstawowe. Zabezpieczenie podimpedancyjne identyfikuje stan pracy PF, sprawdzając położenie wektora impedancji wyznaczonej w zabezpieczeniu względem stref pomiarowych tego zabezpieczenia. Powyższe wskazuje, że właściwe wyznaczenie parametrów impedancji „widzianej” przez zabezpieczenie stanowi determinantę poprawności działania zabezpieczenia. Jednak impedancja PF jest zmienna i zależy m.in. od pozycji przełącznika zaczeów (PPZ) i kierunku mocy przepływającej przez PF. Wymienione czynniki wpływają znacząco na impedancję wyznaczoną przez zabezpieczenie [6] i mogą powodować jego błędne działanie, jeśli nastawy zabezpieczenia zostały wyznaczone dla jednego stanu pracy PF. Dotychczas podczas określenia nastaw zabezpieczenia podimpedancyjnego PF zwykle przyjmuje się jedną – środkową – pozycję przełącznika zaczeów.

Jednak istniejące cyfrowe terminale zabezpieczeniowe pozwalają na zmianę nastaw funkcji zabezpieczeniowych i to podczas pracy chronionego obiektu. Możliwa jest m.in. zmiana zasięgów stref pomiarowych zabezpieczenia

podimpedancyjnego PF. Tę zmianę nastaw realizuje się poprzez dezaktywowanie jednego banku nastaw i aktywowanie innego banku, którego nastawy są lepiej dostosowane do aktualnych warunków pracy chronionego PF. Tą zwiększoną funkcjonalność terminali zabezpieczeniowych wykorzystano w niniejszej publikacji – autorzy przedstawili koncepcję adaptacyjnego dostosowania nastaw zabezpieczenia podimpedancyjnego PF do zmiennej pozycji PPZ. Zamieszczono wyniki testów skuteczności tego rozwiązania polegającej na weryfikacji poprawności identyfikacji zwarć w PF i poza PF.

Adaptacja zabezpieczenia podimpedancyjnego PF

Cyfrowe terminale zabezpieczeniowe umożliwiają wprowadzenie kilku zestawów nastaw aktywnych funkcji zabezpieczeniowych, określanymi mianem banków nastaw. Zależnie od producenta liczba dostępnych banków nastaw wynosi od 4 do 6. Możliwe jest również tworzenie „własnych logik” z wykorzystaniem bramek logicznych, funkcji matematycznych itp. Pozwala to powiązać poszczególne banki nastaw np. z określonymi wejściami binarnymi terminala. Stanowi to podstawę autorskiej koncepcji adaptacji zabezpieczenia podimpedancyjnego PF – stan wysoki określonego wejścia binarnego terminala przypisano jako sygnał sterujący układem logiki do zmiany aktywnego banku nastaw. Sygnałem sterowniczym jest sygnał pozycji PPZ w PF. Na rysunku 1 zobrazowano to dla dwukadziowego symetrycznego PF.



Rys.1. Koncepcja adaptacyjnej zmiany banku nastaw funkcji podimpedancyjnej zabezpieczenia PF; gdzie TS – transformator szeregowy, TW – transformator wzbudzący

Adaptacyjne zabezpieczenie podimpedancyjne PF poddano analizie jakościowej. Miała ona na celu weryfikację wpływu wykorzystania dodatkowej funkcjonalności cyfrowych terminali zabezpieczeniowych na poprawę identyfikacji zwarć przez zabezpieczenia podimpedancyjne PF. Testy tego nowego zabezpieczenia przeprowadzono w odniesieniu do rozwiązania klasycznego, nieadaptacyjnego – wyniki analiz określających skalę niepoprawnego działania tego zabezpieczenia przedstawiono w [6].

Model symulacyjny układu z PF

Model symulacyjny sieci elektroenergetycznej z PF, który został użyty do badań adaptacyjnego zabezpieczenia podimpedancyjnego PF, składa się z modeli cząstkowych SEE, linii przesyłowych oraz PF. Model symulacyjny wykonano w programie MATLAB Simulink. Schemat modelowanej sieci przedstawiono na rysunku 2, natomiast podstawowe parametry elektryczne elementów tej sieci zestawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Schemat modelu symulacyjnego układu z PF

Tabela 1. Dane elementów modelu symulacyjnego układu z PF

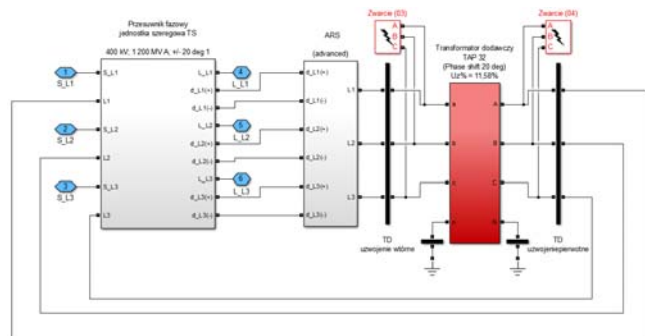
Element	U_n [kV]	S_k [GV·A]	X_0/X_1	R_0/X_1	ϕ [°]
SEE S	400	20	2,00	0,50	0
SEE L	400	15	1,50	0,35	var. *
Element	l [km]	R_1 [Ω]	X_1 [Ω]	R_0 [Ω]	X_0 [Ω]
L S	34,5	1,04	11,04	6,90	25,42
L L	34,5	1,04	11,04	6,90	25,42

*wartość kąta fazowego po stronie odbiorczej „L” dopasowywano do aktualnej pozycji PPZ w PF, tak aby w stanie przedzakłóceniami wymusił przepływ mocy przez PF o wartości zbliżonej do mocy przechodniej PF.

Model symulacyjny PF stanowi odwzorowanie PF zainstalowanych w stacji elektroenergetycznej 400 kV Mikułowa. Jest to PF w wykonaniu symetrycznym dwukadziowym (rys.3). Parametry opracowanego modelu PF określono, wykorzystując dane zamieszczone w [7]. Podstawowe dane elektryczne PF wynoszą:

- moc przechodnia PF: $S_n = 1200$ MV·A;
- napięcie znamionowe: $U_n = 410$ kV;
- kąt regulacji w stanie bez obciążenia: $\alpha = \pm 20,1^\circ$;
- kąt regulacji w stanie nominalnego obciążenia: $\alpha = +12,1^\circ / -27,9^\circ$.

Opracowany model PF to model dedykowany do symulacji warunków pracy obiektów elektroenergetycznych w stanach dynamicznych (zwłaszcza podczas elektromagnetycznych stanów przejściowych), co jest pożądane dla charakteru realizowanych badań warunków działania automatyki zabezpieczeniowej PF.



Rys. 3. Schemat modelu PF; gdzie: „S” oznacza stronę źródłową, „L” stronę odbiorczą, a ARS to przełącznik kierunku regulacji

W modelu PF, analogicznie do rzeczywistej jednostki zainstalowanej w stacji Mikułowa, PPZ posiada 32 pozycje. Dla każdej pozycji PPZ impedancja PF przyjmuje inną wartość. Wartości te, określone na podstawie danych zamieszczonych w [7], zestawiono w tabeli 2. Dla przyjętej koncepcji adaptacyjnego zabezpieczenia podimpedancyjnego PF poszczególne pozycje PPZ przyporządkowano do odpowiednich banków nastaw zabezpieczenia. Terminal zabezpieczeniowy, wykorzystany do przeprowadzenia testów, posiada 4 banki nastaw, dlatego obszar pracy PPZ podzielono na 4 części (tab.2). Dzięki temu każdy bank nastaw obejmuje 8 (9) pozycji PPZ.

Tabela 2. Parametry impedancyjne modelu PF oraz przyporządkowanie pozycji PPZ do banków nastaw zabezpieczenia podimpedancyjnego PF

Bank nastaw	PPZ	Z [Ω]	Bank nastaw	PPZ	Z [Ω]
BANK 1	0A/R *	11,547	BANK 3	16A/R	12,653
	1A/R	11,547		17A/R	12,760
	2A/R	11,560		18A/R	12,867
	3A/R	11,573		19A/R	13,013
	4A/R	11,587		20A/R	13,147
	5A/R	11,627		21A/R	13,307
	6A/R	11,680		22A/R	13,467
BANK 2	7A/R	11,747	BANK 4	23A/R	13,640
	8A/R	11,827		24A/R	13,800
	9A/R	11,893		25A/R	13,973
	10A/R	11,987		26A/R	14,147
	11A/R	12,067		27A/R	14,347
	12A/R	12,160		28A/R	14,547
	13A/R	12,253		29A/R	14,760
BANK 2	14A/R	12,373	BANK 4	30A/R	14,960
	15A/R	12,493		31A/R	15,200
				32A/R	15,440

*0, A i R to pozycje ARS; gdzie: 0 to pozycja ARS, w której nie dokonuje się regulacji kąta fazowego PF; A (ang. *Advanced*) to pozycja ARS zapewniająca regulację kąta fazowego PF w zakresie dodatnim od 0° do $+\alpha$, zależnie od pozycji PPZ; R (ang. *Retard*) to pozycja ARS zapewniająca regulację kąta fazowego PF w zakresie ujemnym od 0° do $-\alpha$, zależnie od pozycji PPZ.

Dla tak przyjętej koncepcji adaptacji zabezpieczenia podimpedancyjnego PF adaptację tę realizowano poprzez automatyczne aktywowanie odpowiedniego banku nastaw, nadążnie za zmianami pozycji PPZ w PF. W celu weryfikacji skuteczności tego rozwiązania w modelu symulacyjnym układu z PF wykonywano badania symulacyjne zwarć. Następnie wyniki symulacji eksportowano do pliku danych w formacie COMTRADE, po czym wykorzystywano je do testów rzeczywistych terminali zabezpieczeniowych z zaimplementowaną funkcją zabezpieczenia podimpedancyjnego.

Testy adaptacyjnego zabezpieczenia podimpedancyjnego PF

Nastawy adaptacyjnych zabezpieczeń podimpedancyjnych PF w modelowanym układzie sieciowym (zabezpieczenie ZS< zainstalowane po stronie źródłowej PF i zabezpieczenie ZL< zainstalowane po stronie odbiorczej PF) określono zgodnie z informacjami zamieszczonymi w [4], [8]. Zabezpieczenia te poddano testom weryfikującym poprawność identyfikacji zwarć. W tym celu przeprowadzono szereg symulacji zwarć dla różnych scenariuszy miejsca i rodzaju zwarcia. Dla ułatwienia rozpoznania scenariuszy wprowadzono oznaczenia kodowe zwarć: jednofazowe metaliczne (1f), jednofazowe przez dodatkową rezystancję $R_d = 10 \Omega$ (1f+Rd), dwufazowe (2f), dwufazowe przez dodatkową rezystancję $R_d = 10 \Omega$ (2f+Rd). Kodowano również lokalizację zwarcia (rys.2 i rys.3), gdzie: (1) to zwarcie na wyprowadzeniach PF od strony „L”, (2) na

wyprowadzeniach PF od strony „S”, (3) w części uzwojeń wtórnych TS i TD, (4) w części połączonych uzwojeń pierwotnego TS oraz TD, (5) zewnętrzne, na 30. km linii od strony „L” PF oraz (6) zewnętrzne, na 30. km linii od strony „L” PF. Symulacje wszystkich zwarć przeprowadzono dla trzech pozycji PPZ w PF. Przykład kodowania: 0A_1_1f oznacza zwarcie jednofazowe na wyprowadzeniach PF po stronie „L” przy pozycji 0 w PPZ i pozycji A w ARS. Dodatkowo, dla zachowania czytelności opisu wyników symulacji, zastosowano oznaczenia: S – strefa, w której symulowano zwarcie, D – strefa, w której zabezpieczenie zidentyfikowało występowanie zwarcia, I – I strefa pomiarowa zabezpieczenia podimpedancyjnego PF, II – II strefa, III – III strefa, V – strefa rozruchowa, Wst – strefa wsteczna.

Wybrane wyniki testów weryfikujących poprawność identyfikacji zwarć przez adaptacyjne zabezpieczenia podimpedancyjne PF zestawiono w tabeli 3, w ograniczeniu do wyników uzyskanych dla zabezpieczenia ZS< i scenariuszy symulacji wykonanych dla ARS w pozycji A. Zadziałania błędne zabezpieczenia wyróżniono szarym wypełnieniem tabeli.

Tabela 3. Wyniki zadziałań ZS< dla pozycji A ARS przy różnych lokalizacjach i rodzajach zwarć w układzie z PF

Scen.	BANK 1		BANK 2		BANK 3		BANK 4	
	S	D	S	D	S	D	S	D
1_1f	II	III	II	II	II	III	II	II
1_1f+Rd	II	III	II	I	II	I	II	I
1_2f	II	V	II	II	II	III	II	III
1_2f+Rd	II	V	II	II	II	II	II	II
2_1f	I	I	I	I	I	I	I	I
2_1f+Rd	I	I	I	I	I	I	I	I
2_2f	I	I	I	I	I	I	I	I
2_2f+Rd	I	I	I	I	I	I	I	I
3_1f	II	Brak	II	V	II	V	II	V
3_1f+Rd	II	Brak	II	Brak	II	Brak	II	Brak
3_2f	II	Brak	II	V	II	V	II	V
3_2f+Rd	II	Brak	II	Brak	II	Brak	II	Brak
4_1f	I	I	I	I	I	I	I	I
4_1f+Rd	I	I	I	I	I	II	I	I
4_2f	I	I	I	I	I	I	I	I
4_2f+Rd	I	I	I	I	I	I	I	I
5_1f	V	V	V	V	V	V	V	V
5_1f+Rd	V	V	V	V	V	V	V	V
5_2f	V	V	V	V	V	V	V	V
5_2f+Rd	V	V	V	V	V	V	V	V
6_1f	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst
6_1f+Rd	Wst	Wst	Wst	V	Wst	Wst	Wst	V
6_2f	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst	Wst
6_2f+Rd	Wst	Wst	Wst	V	Wst	V	Wst	V

Do oceny działania adaptacyjnych zabezpieczeń podimpedancyjnych PF wykorzystano współczynniki poprawności zadziałania dla zwarć międzyfazowych oraz doziemnych. Współczynniki te opisują zależności (2) i (3). Ich wykorzystanie ułatwia ocenę zmiany (poprawa lub pogorszenie) identyfikacji zwarć przez zabezpieczenia podimpedancyjne PF po zastosowaniu adaptacji. Wartości tych współczynników to iloraz sumy prawidłowych zadziałań zabezpieczenia ($\sum Dx$) i sumy przeprowadzonych symulacji ($\sum Sx$) dla danej pozycji ARS. Oznaczenie x przy każdym wyrażeniu odnosi się do strony PF zainstalowania zabezpieczenia ($x = S$ dla ZS< lub $x = L$ dla ZL<).

Sumaryczny współczynnik prawidłowych zadziałań zabezpieczenia podimpedancyjnego PF opisuje zależność:

$$(1) \quad Z_x < = \sum_{D=1} Dx \cdot \frac{1}{\sum Sx}$$

Współczynnik prawidłowych zadziałań zabezpieczenia podimpedancyjnego PF dla zwarć międzyfazowych (FF)

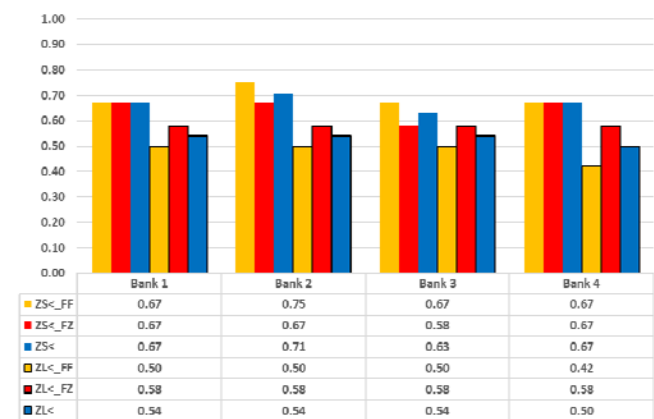
opisuje zależność:

$$(2) \quad Z_x < _{FF} = \sum_{D=1} Dx_{FF} \cdot \frac{1}{\sum Sx_{FF}}$$

Współczynnik prawidłowych zadziałań zabezpieczenia podimpedancyjnego PF dla zwarć doziemnych (FZ) opisuje zależność:

$$(3) \quad Z_x < _{FZ} = \sum_{D=1} Dx_{FZ} \cdot \frac{1}{\sum Sx_{FZ}}$$

Współczynniki prawidłowych zadziałań obliczono dla każdego banku nastaw zabezpieczenia oraz wykonanych scenariuszy symulacji. Punktem odniesienia jest wartość równa 1,0, co odpowiada sytuacji idealnej – wówczas wszystkie zwarcia byłyby prawidłowo zidentyfikowane przez zabezpieczenie. Dla takich przypadków wpisy w kolumnach S i D tabeli 3 byłyby identyczne, tj. strefa, w której zabezpieczenie zidentyfikowało występowanie zwarcia pokrywa się ze strefą, w której symulowano to zwarcie. Jednak przeprowadzone testy wskazują, że dla żadnego banku nastaw zabezpieczeń podimpedancyjnych PF wskaźniki te nie osiągnęły oczekiwanej wartości 1,0. Wartości współczynników prawidłowych zadziałań zabezpieczeń uzyskanych dla testowych scenariuszy symulacji przedstawiono na rysunku 4.



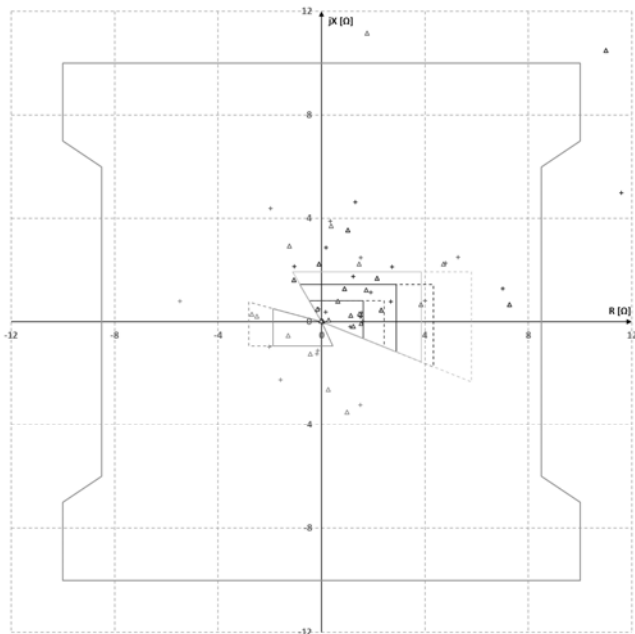
Rys.4. Współczynniki prawidłowych zadziałań zabezpieczeń podimpedancyjnych PF dla pozycji A ARS

Przeprowadzona analiza wyznaczonych wartości współczynników prawidłowych zadziałań zabezpieczeń podimpedancyjnych PF wskazuje na brak zauważalnej poprawy identyfikacji zwarć po zastosowaniu adaptacji tych zabezpieczeń. W porównaniu do „klasycznych” zabezpieczeń bez adaptacji banków nastaw (patrz [2]) nie zauważono wyraźnego zwiększenia liczby prawidłowych zadziałań. Najwyższa wartość współczynnika prawidłowych zadziałań wynosi 0,75 (patrz rys.4). Natomiast najniższa odnotowana wartość tego współczynnika to 0,50, co oznacza, że zabezpieczenie zadziałało poprawnie jedynie w połowie badanych przypadków.

Niepoprawne zadziałania zabezpieczeń podimpedancyjnych PF można podzielić na dwie grupy: zadziałania brakujące i zadziałania opóźnione. Zadziałanie brakujące to brak oczekiwanej identyfikacji zwarcia przez zabezpieczenie – w takim przypadku w tabeli 3 wpisywano *Brak* w kolumnie D. Niestety, wywołuje to niebezpieczną sytuację w pracy PF i układu sieciowego z PF – wymagane wyłączenie PF objętego zwarcie nie nastąpi, ponieważ nie zadziałało zabezpieczenie, które miało doprowadzić do tego wyłączenia (ostatecznie PF jest wyłączany przez inne

układy automatyki zabezpieczeniowej PF). Natomiast zadziałanie opóźnione to zidentyfikowanie zwarcia przez zabezpieczenie w innej strefie pomiarowej niż strefa, w której symulowano zwarcie – w takim przypadku w tabeli 3 wartość w kolumnie D jest wyższa niż w wartość w kolumnie S. Wówczas wydłuża się czas przepływu prądu zwarciowego przez PF, ponieważ im wyższy numer strefy pomiarowej, tym dłuższe opóźnienie czasowe zadziałania zabezpieczenia.

Dla każdego przypadku niepoprawnego zadziałania zabezpieczeń podimpedancyjnych PF przyczyną jest błędne wyznaczenie impedancji w zabezpieczeniu. Jest to podyktowane skomplikowaną konstrukcją PF, co determinuje występowanie czynników fałszujących wyznaczanie impedancji [6], [9]. Wówczas parametry wektora impedancji obliczone przez algorytm pomiarowy zabezpieczenia przyjmują inne wartości niż parametry impedancji pętli zwarcia. Powoduje to, że zabezpieczenie „widzi” zwarcie jako zakłócenie zlokalizowane w innym miejscu niż rzeczywista lokalizacja tego zwarcia. Stąd algorytm decyzyjny wypracowuje błędną decyzję o niezadziałaniu zabezpieczenia lub zadziałaniu z opóźnieniem. Przykładowe położenia końców wektorów impedancji wyznaczanych w zabezpieczeniu podimpedancyjnym PF przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Impedancje „widziane” przez ZS< dla pozycji A ARS przy różnych lokalizacjach i rodzajach zwarć w układzie z PF

Podsumowanie

Analiza wyników przeprowadzonych testów weryfikacyjnych adaptacyjnych zabezpieczeń podimpedancyjnych PF pozwala wnioskować, że zwiększenie funkcjonalności istniejących zabezpieczeń podimpedancyjnych PF i zmiana nastaw zabezpieczeń nadążnie za zmianą pozycji PPZ w PF nie gwarantuje skutecznej poprawy identyfikacji zwarć przez te zabezpieczenia. Świadczy to o dużej złożoności problemu. Za niewystarczające można uznać uwzględnienie w procesie adaptacji wyłącznie zmian parametrów impedancyjnych PF, zależnie od pozycji PPZ w PF. Zjawiska zachodzące w PF podczas zwarć nie są tożsame

ze znanymi dla układów z jednostkami transformatorowymi (patrz m.in. [4], [10]). Jest to podyktowane m.in. złożonością konstrukcji PF, skomplikowanym układem połączeń TS i TW w PF, sprzężeniami magnetycznymi między wieloma obwodami, co uwidacznia się zwłaszcza w stanach przejściowych tak istotnych dla działania automatyki zabezpieczeniowej.

Przedstawione w niniejszej publikacji spostrzeżenia (także wnioski zawarte w [6]) wskazują na konieczność podjęcia dalszych prac naukowo-badawczych. W pierwszej kolejności prace te powinny być ukierunkowane na zdefiniowanie nowej postaci algorytmu wyznaczania impedancji w układach sieciowych z PF. Autorzy przypuszczają, że jednym z możliwych rozwiązań może być modyfikacja koncepcji nowego algorytmu pomiarowego opracowanego dla złożonych linii elektroenergetycznych, przedstawionego w [11], [12], [13].

Autorzy: mgr inż. Tomasz Bednarczyk, dr inż. Mateusz Szablicki, prof. dr hab. inż. Adrian Halinka, dr inż. Piotr Rzepka, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Bolesława Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: tomasz.bednarczyk@polsl.pl.

LITERATURA

- [1] Korab R, Owczarek R., Impact of phase shifting transformers on cross-border power flows in the Central and Eastern Europe region. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 64 (2016), nr 1, 127-133
- [2] Ibrahim M.A., Plumtre F.P., Protection of Phase Angle Regulating Transformers, *IEEE Special publication*, 1999
- [3] Solak K., Rebizant W., Schiel L., Differential protection of single-core symmetrical phase shifting transformers, *16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering 2015*, 221-226
- [4] Wester C., Sevov L., Phase angle regulating transformer protection using digital relays, *International IEE Conference on Developments in Power System Protection 2004*, 376-379
- [5] Bednarczyk T., Halinka A., Rzepka P., Szablicki M., Structure of the automatic protection of a 2-tank symmetric phase shifting transformer. *Acta Energetica*, 9 (2018), nr 3, 4-13
- [6] Bednarczyk T., Halinka A., Rzepka P., Szablicki M., Wykorzystanie wyników symulacji komputerowych zwarć wieloprądowych do badania poprawności działania funkcji podimpedancyjnej terminala zabezpieczeniowego przesuwnika fazowego. *XX Konferencja Zabezpieczenia Przekaznikowe w energetyce 2017*, 97-107
- [7] Jemielity J., Opala K., Ogryczak T., *System Sterowania Przesuwnikami Fazowymi SSPF w SE Mikułowa*. IEN Gdańsk 2014
- [8] Zasady doboru i nastawiania zabezpieczeń elementów systemu elektroenergetycznego wysokiego napięcia, Prace badawcze i rozwojowe. Biblioteka PSE S.A., Warszawa 2010
- [9] Halinka A., Rzepka P., Szablicki M., Warunki działania zabezpieczeń odległościowych linii w układach sieciowych z przesuwnikami fazowymi. Studium przypadku. *Przegląd elektrotechniczny*, 93 (2017), nr 3, 28-31
- [10] Halinka A., Rzepka P., Szablicki M., „Przenoszenie” zwarć niesymetrycznych przez przesuwniki fazowe. *Przegląd elektrotechniczny*, 93 (2017), nr 4, 109-112
- [11] Szablicki M., Bednarczyk T., Halinka A., Rzepka P., The concept of a new of wide area distance protection – virtual tests using RelaySimTest. *PAC World Conference 2018*, 1-17
- [12] Halinka A., Rzepka P., Szablicki M., Agent model of multi-agent system for area power system protection. *Modern Electric Power Systems Conference 2015 (MEPS)*, 191-194
- [13] Halinka A., Rzepka P., Sowa P., Szablicki M., New area measuring and decision algorithm concepts for power lines' distance protection. *18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering 2017 (EPE)*, 1-5