

**Olgierd MAŁYSZKO, Sebastian SZKOLNY,
Michał ZEŃCZAK**

Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny, Katedra Elektroenergetyki i Napędów
Elektrycznych

Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa w systemie elektroenergetycznym z farmami wiatrowymi

Streszczenie. *W najbliższym czasie w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym przyłączonych będzie wiele farm wiatrowych. Jednym z aspektów przyłączania farm wiatrowych do systemu elektroenergetycznego jest współpraca elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej zainstalowanej w farmach wiatrowych z automatyką zabezpieczeniową zainstalowaną w systemie elektroenergetycznym. W artykule przeanalizowano współpracę obu automatyk biorąc pod uwagę aktualne wymagania według różnych przepisów.*

Abstract. *Many wind power farms are planned for connection to polish power system. The most important problem is cooperation of protection of wind power farms with protections installed in power system. The paper shows cooperation of these both system protections taking into consideration current rules. (Power system protection in power system with wind power farms).*

Słowa kluczowe: Farma wiatrowa, system elektroenergetyczny, zabezpieczenia.

Keywords: Wind power farm, power system, protection.

Wstęp

Do krajowego systemu elektroenergetycznego (KSEE) planuje się przyłączenie wielu farm wiatrowych (FW). Poza tym wiele farm wiatrowych już pracuje. Są one najczęściej przyłączane do sieci 110 kV i dalsze rozważania będą dotyczyły sieci 110 kV. Bardzo ważnym problemem jest współpraca elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ) zainstalowanej w farmach wiatrowych z EAZ zainstalowaną w KSEE. Ekspertyza określająca wpływ przyłączanych FW na pracę krajowego systemu elektroenergetycznego musi zawierać analizę tego problemu. Analizę taką należy wykonać uwzględniając wymagania obowiązujących rozporządzeń i instrukcji ruchu sieci przesyłowej i dystrybucyjnej, a także zasady wynikające z teorii i praktyki automatyki zabezpieczeniowej. Problemy te można podzielić na dwie grupy zagadnień.

Pierwszym problemem jest praca zabezpieczeń w liniach łączących farmę wiatrową z resztą systemu elektroenergetycznego oraz praca zabezpieczeń w liniach i stacjach sąsiadujących z daną FW. Podstawowy problem polega więc na ocenie wpływu tej farmy na pracę zabezpieczeń, które można założyć, że dotychczas pracowały prawidłowo.

Drugim problemem jest praca zabezpieczeń na terenie FW. Z jednej strony FW jest wyposażona fabrycznie w komplet zabezpieczeń. Z drugiej strony praca tych zabezpieczeń może być zakłócona przez zabezpieczenia zainstalowane w KSEE. Poza tym w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 21 sierpnia 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. z dnia 9 września 2008 r) oraz w instrukcjach ruchu sieci

przesyłowej i sieci dystrybucyjnej są dodatkowe warunki [1, 2, 3], jakie powinna spełniać FW. Część tych wymagań dotyczy zachowania się FW w czasie zakłóceń.

Praca zabezpieczeń w liniach łączących FW z GPZ

Zgodnie z Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 21 sierpnia 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [1] linie 110 kV powinny być wyposażona w następujące układy EAZ i urządzenia współpracujące: jedno zabezpieczenie podstawowe – odległościowe lub odcinkowe. Oprócz zabezpieczenia podstawowego należy zastosować jedno zabezpieczenie rezerwowe – odległościowe lub ziemnozwarciowe, a dla linii promieniowych – prądowe. Linie powinny się wyposażyć w urządzenia automatyki 3-fazowego samoczynnego ponownego załączania (SPZ). W liniach o dużej liczbie zakłóceń pożądanym jest lokalizator miejsca zwarcia.

W przypadku linii kablowych lub napowietrznych o długości do 2 km należy stosować zabezpieczenie odcinkowe. Podobne wymagania zamieszczone są w IRiESP [2].

IRiESD [3] szczegółowiej przedstawia automatykę zabezpieczeniową linii 110 kV. Zabezpieczenia należy dostosować do sposobu pracy i parametrów linii. Linie o napięciu 110 kV wyposaża się w:

- zabezpieczenie podstawowe odcinkowe lub odległościowe (w przypadku linii kablowych lub napowietrznych o długości do 2 km, należy stosować zabezpieczenie odcinkowe; dopuszcza się stosowanie zabezpieczenia prądowego dla linii promieniowych),
- zabezpieczenie rezerwowe odległościowe lub reagujące na zwarcie z ziemią (w przypadku, gdy zabezpieczenie odcinkowe jest zabezpieczeniem podstawowym, jako rezerwowe należy stosować zabezpieczenie odległościowe),
- urządzenia automatyki 3 fazowego SPZ (dla linii napowietrznych),
- w uzasadnionych przypadkach urządzenia synchronizacji np. w węzłach sieci połączonych liniami 110 kV bezpośrednio z elektrowniami,
- lokalizator miejsca zwarcia – wymagany dla linii o dużej liczbie zakłóceń.

Linie blokowe wyposaża się w:

- dwa zabezpieczenia podstawowe umożliwiające wyłączenia 3 fazowe,
- zabezpieczenie reagujące na zwarcia z ziemią w linii blokowej i sieci zewnętrznej,
- elementy układów automatyki zapobiegającej kołysaniom mocy oraz przeciążeniom sieci (APKO),
- układ bezwarunkowego wyłączenia wyłącznika blokowego od sygnału przesłanego z nastawni blokowej.

Wszystkie zabezpieczenia linii blokowej powinny działać na 3 fazowe wyłączenie wyłącznika blokowego.

Farma wiatrowa może zakłócić pracę zabezpieczeń odległościowych w liniach, a właściwie na ciągach liniowych obejmujących dany GPZ. W zależności od zastosowanych zabezpieczeń i dobranych nastaw poszczególnych stref, zabezpieczenia odległościowe muszą uwzględniać dodatkowy prąd wpływający do stacji GPZ z FW. Zgodnie z przyjętymi zasadami zabezpieczenie odległościowe w stacji A powinno mieć następujące nastawy stref dla ciągu liniowego A-B-C-D [4]:

$$(1) \quad \begin{aligned} \underline{Z}_I &= 0,8\underline{Z}_{A-B}, \underline{Z}_{II} = \underline{Z}_{A-B} + 0,5\underline{Z}_{B-C}, \\ \underline{Z}_{III} &= \underline{Z}_{A-B} + \underline{Z}_{B-C} + 0,25\underline{Z}_{C-D}. \end{aligned}$$

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Podparcie prądowe w stacji B (GPZ z przyłączoną FW) spowoduje zafałszowanie pomiaru w drugiej strefie i przekątnik odległościowy mierzy większą wartość niż jest w rzeczywistości. Następuje skrócenie zasięgu drugiej strefy i też trzeciej. Trzeba skorygować nastawę:

$$(2) \quad \begin{aligned} \underline{Z}_I &= 0,8\underline{Z}_{A-B}, \underline{Z}_{II} = \underline{Z}_{A-B} + 0,5\underline{K}_{rg} \underline{Z}_{B-C}, \\ \underline{Z}_{III} &= \underline{Z}_{A-B} + \underline{K}_{rg} (\underline{Z}_{B-C} + 0,25\underline{Z}_{C-D}). \end{aligned}$$

gdzie: $\underline{K}_{rg} = \frac{I_{B-C}}{I_{A-B}}$.

Współczynnik \underline{K}_{rg} uwzględnia generację FW przyłączonych do stacji B. Oznacza to, że praca zabezpieczeń odległościowych w stacji A na ciągu linii A-B-C-D będzie prawidłowa w I strefie i tak samo praca zabezpieczeń odległościowych w stacji C na tym ciągu będzie prawidłowa w I strefie. Praca w strefach II i III może być nieprawidłowa. Uwzględnienie współczynnika \underline{K}_{rg} może być trudne w praktyce ze względu na zmienność mocy generowanej przez FW. Dobre rezultaty można uzyskać stosując zabezpieczenie różnicowe z łączem telekomunikacyjnym. Wówczas podłączenie FW do GPZ nie spowoduje żadnych zmian w funkcjonowaniu EAZ.

Bardzo istotną sprawą jest współpraca FW z automatyką SPZ. Zgodnie z IRiESD farmy wiatrowe z generatorami asynchronicznymi należy wyposażyć w automatykę bezwłocznego wyłączenia farmy po przejściu do pracy na wydzieloną sieć. W przypadku zwarcia w linii, do której przyłączona jest farma wiatrowa automatyka zabezpieczeniowa farmy powinna:

- wyłączyć ją w czasie krótszym od czasu działania istniejącego zabezpieczenia linii,
- załączyć farmę samoczynnie po czasie nie krótszym niż 30 s, licząc od zakończenia udanego cyklu SPZ.

W przypadku zwarcia w FW z generatorami asynchronicznymi automatyka zabezpieczeniowa powinna wyłączać ją bezwłocześnie lub ze zwłoką czasową uzgodnioną z operatorem systemu dystrybucyjnego.

W przypadku zadziałania SZR w stacji, do której przyłączona jest FW, EAZ farmy powinna:

- wyłączyć ją w czasie krótszym od czasu działania istniejącego zabezpieczenia linii,
- załączyć farmę samoczynnie po czasie nie krótszym niż 30 s, licząc od zakończenia cyklu SZR.

Odpowiedź na pytanie, czy linię FW – GPZ należy wyposażyć w SPZ jest dość trudna [5]. Z jednej strony w przypadku zwarcie przemijających, likwidowanych w cyklu SPZ, konieczne jest odłączenie źródeł pracujących w sieci, aby przerwa bezprądowa była także przerwą beznapięciową, pozwalającą na skuteczną dejonizację przerwy łukowej.

Z drugiej strony warto linię FW – GPZ wyposażyć w SPZ. W przypadku zwarcie przemijających na tej linii udany cykl SPZ pozwala na załączenie linii od strony systemu czyli od GPZ. Na drugim końcu linii znajduje się wyłączona farma wiatrowa, która zgodnie z IRiESD może być załączona po czasie ponad 30 s. Zastosowanie SPZ znacznie usprawnia ruchowo linię FW – GPZ, z tym, że należy dobrać odpowiedni czas przerwy beznapięciowej, aby farma zdążyła się wyłączyć. Na liniach 110 kV stosuje się SPZ szybki jednokrotny trójfazowy. Czas przerwy bezprądowej od 0,3 s. Jeśli linię FW – GPZ potraktuje się jako linię blokową, to zgodnie z IRiESD nie trzeba ją wyposażyć w

SPZ. Jednocześnie należy uwzględnić sposób pracy SPZ. Często SPZ współpracuje z zabezpieczeniem odległościowym. Współpraca polega na zmianie zasięgu pierwszej strefy. Stosuje się dwa sposoby zmian: za skróceniem pierwszej strefy stale wydłużonej (zabezpieczenie bezłączone) lub z wydłużeniem pierwszej strefy normalnej (zabezpieczenie z łączem). Wydłużenie strefy wynosi około 1,15. W takim przypadku FW może mieć wpływ na pomiar impedancji w strefach wydłużonych linii powiązanych z GPZ.

Praca zabezpieczeń szyn zbiorczych rozdzielni 110 kV

Zgodnie z IRiESD w stacjach uproszczonych 110 kV typu „H” dopuszcza się możliwość rozwiązania zabezpieczeń szyn zbiorczych w oparciu o wsteczne strefy zabezpieczeń odległościowych pól liniowych. Przyłączenie FW do takiej stacji wymaga rozbudowy rozdzielni 110 kV tej stacji i zgodnie z IRiESD rozdzielnie 110 kV należy wyposażyć w niezależne układy zabezpieczenia szyn zbiorczych. Zabezpieczenie szyn zbiorczych działa na zasadzie bilansowania prądów dopływających do szyn zbiorczych. Dlatego przyłączenie FW nie zakłóci funkcjonowania zabezpieczeń szyn zbiorczych po stronie 15 kV. W funkcjonowaniu zabezpieczeń szyn zbiorczych 110 kV należy uwzględnić przyłączenie nowej linii FW – GPZ.

Praca zabezpieczeń podczęstotliwościowych, nadczęstotliwościowych i SCO

Zgodnie z IRiESP i IRiESD FW powinna mieć możliwość pracy w następującym zakresie częstotliwości:

- a) przy $49,5 \leq f \leq 50,5$ Hz FW musi mieć możliwość pracy trwałej z mocą znamionową,
- b) przy $48,5 \leq f < 49,5$ Hz FW musi mieć możliwość pracy z mocą większą niż 90% mocy wynikającej z aktualnej prędkości wiatru, przez co najmniej 30 minut,
- c) przy $48,0 \leq f < 48,5$ Hz FW musi mieć możliwość pracy z mocą większą niż 85% mocy wynikającej z aktualnej prędkości wiatru, przez co najmniej 20 minut,
- d) przy $47,5 \leq f < 48,0$ Hz FW musi mieć możliwość pracy z mocą większą niż 80 % mocy wynikającej z aktualnej prędkości wiatru, przez co najmniej 10 minut,
- e) przy $f < 47,5$ Hz FW można wyłączyć z sieci zamkniętej ze zwłoką czasową uzgodnioną z OSP,
- f) przy $50,5 < f \leq 51,5$ Hz FW musi mieć możliwość trwałej pracy z mocą ograniczaną wraz ze wzrostem częstotliwości, do zera przy częstotliwości 51,5 Hz,
- g) przy $f > 51,5$ Hz FW należy wyłączyć z sieci zamkniętej w ciągu maksymalnie 0,3 s, o ile właściwy operator systemu nie określi inaczej w warunkach przyłączenia do sieci.

Z powyższych wymagań wynika, że na FW zabezpieczenia podczęstotliwościowe powinny być nastawione na $f < 47,5$ Hz ze zwłoką czasową uzgodnioną z OSP. Zabezpieczenie nadczęstotliwościowe powinno być ustawione na $f > 51,5$ Hz ze zwłoką $t \leq 0,3$ s, o ile operator systemu nie określi innej nastawy.

W systemie elektroenergetycznym skuteczną metodą wyrównywania nagłych zachwiał bilansów mocy wytwarzanej i odbieranej jest automatyka SCO. Według IRiESD pola linii odpływowych rozdzielni SN w stacjach 110/SN powinny być wyposażone w układy umożliwiające realizację zadań automatyki SCO i automatyki SPZ po SCO z możliwością ich zablokowania. Zgodnie z IRiESP zainstalowane w sieci przekaźniki realizujące funkcję SCO powinny spełniać następujące wymagania:

- a) umożliwiać nastawienie wartości częstotliwości z zakresu od 47 do 50 Hz ze zmianą skokową co 0,05 Hz,

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

- b) umożliwiać nastawienie zwłoki czasowej w zakresie od 0,05 do 1 s ze zmianą skokową co 0,05 s.
- c) czas własny przekaźnika nie większy niż 200 ms.
- d) zapewniać poprawną pracę w zakresie od 0,5 do $1,1U_n$.
- e) dokładność pomiaru częstotliwości nie mniejsza niż 10 mHz.

Porównując wymagania dotyczące SCO i zasady pracy FW wynikające z IRiESP i IRiESD można stwierdzić, że przy częstotliwości powyżej 50 Hz SCO nie działa. Przy częstotliwościach poniżej 50 Hz zwłoki czasowe SCO (sekundy) są znacznie mniejsze niż czasy (minuty) wynikające z zasad pracy FW w zależności od częstotliwości według IRiESP i IRiESD. Wpływ FW na funkcjonowanie automatyki SCO jest więc nieistotny.

Rozstrzygnąć trzeba tylko zwłokę czasową zabezpieczeń podczęstotliwościowych FW przy częstotliwości poniżej 47,5 Hz. Wystarczy, aby była krótsza niż 10 minut a znacznie dłuższa od zwłoki SCO. Przy obniżeniu się częstotliwości poniżej 47,5 Hz FW odłączy się ze zwłoką uzgodnioną z operatorem systemu.

Wpływ FW na automatykę SNO

Z punktu widzenia analizy wzajemnego oddziaływania automatyki samoczynnego napięciowego odciążania SNO z automatyką zabezpieczeniową FW istotne są dwa problemy: opóźnienie czasowe i poziomy napięcia, przy których inicjuje się odciążanie. W praktycznych rozwiązaniach SNO opóźnienie nastawia się w granicach 1 do 10 s i zwykle podzielone jest na kilka stopni odpowiadających wyłączeniu poszczególnych grup odbiorów.

Zazwyczaj przekaźniki podnapięciowe uruchamiające proces odciążania nastawia się w zakresie $0,85 \div 0,97$ najmniejszej dopuszczalnej wartości napięcia roboczego w miejscu pomiaru. Stosuje się zabezpieczenia ze stałą zwłoką i ze zwłoką zależną od wielkości obniżenia się napięcia. Współczynnik powrotu powinien być bliski jedności.

Zgodnie z IRiESP w normalnym stanie pracy w rozdzielniach 110 kV, do których przyłączeni są odbiorcy końcowi przy $\text{tg}(\varphi) \leq 0,4$ dopuszczalne średnie odchylenie napięcia znamionowego w czasie 10 minut powinno zawierać się $\pm 10\%$, czyli $99 \div 121$ kV. W pozostałych stacjach powinno wynosić $105 \div 123$ kV. W stacjach zakłóceńowych napięcie w tych rozdzielniach powinno zawierać się $105 \div 123$ kV (w stacjach, do których bezpośrednio przyłączone są jednostki wytwórcze), a w pozostałych $99 \div 123$ kV. Przyjmując $U_{\min} = 99$ kV widać, że nastawa SNO powinna wynosić: $0,85 \div 0,97 U_{\min} = 84 \div 96$ kV, czyli $0,77 \div 0,87 U_n$ przy zwłoce od 1 do 10 s.

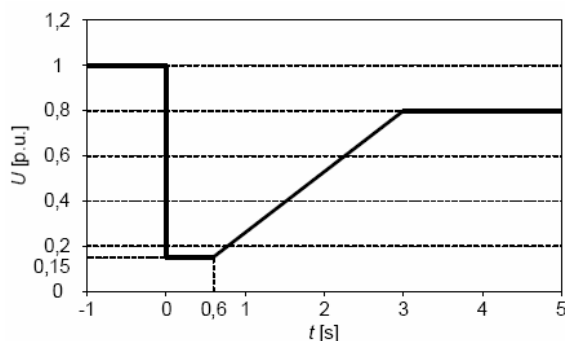
Ogólnie można stwierdzić, że FW pracujące w trybie regulacji napięcia wpływają usztywniająco na napięcia w węzłach systemu elektroenergetycznego i zmniejszają konieczność uruchamiania SNO.

Zachowanie się FW w czasie zwarć zewnętrznych

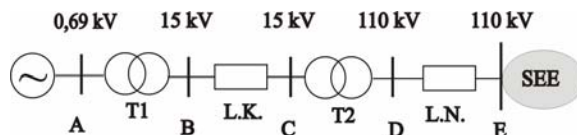
Automatyka zabezpieczeniowa FW powinna umożliwić pracę FW przy zakłóceniach w sieci, których krzywe czasowe leżą powyżej charakterystyki wymaganego zakresu pracy FW w przypadku wystąpienia zakłóceń w sieci (IRiESD). Taką pracę umożliwia zainstalowanie w elektrowniach systemu RFT (Ride Fault Through).

Z rys. 1 wynika, że FW powinna pracować przez co najmniej 0,6 s przy napięciu powyżej $0,15 U_n$. Problemem jest miejsce pomiaru tego napięcia [6]. Na rys. 2 przedstawiono

typowy sposób przyłączenia pojedynczej FW do SEE. Poszczególne punkty oznaczają miejsca zwarcia oraz miejsca pomiaru napięcia.



Rys. 1. Charakterystyka wymaganego zakresu pracy farmy wiatrowej w przypadku wystąpienia zakłóceń w sieci



Rys. 2. Elektrownia wiatrowa przyłączona do SEE

W Tabeli 1 przedstawione są wyniki obliczeń dla typowych elementów stosowanych w KSEE ($S_K=2500$ MVA, T1: $S_n=2,1$ MVA, 15/0,69, $\Delta U_Z=10\%$, T2: $S_n=50$ MVA, 115/15,6, $\Delta U_Z=8,5\%$, linia kablowa 1 km, linia napowietrzna 20 km).

Tabela 1. Względne wartości napięć przy zwarciah w różnych punktach.

Miejsce zwarcia	U (A) p.u.	U (B) p.u.	U (C) p.u.	U (D) p.u.	U (E) p.u.
A	0	0,954	0,968	0,971	0,988
B	0,338	0	0,321	0,738	0,939
C	0,341	0,01	0	0,686	0,905
D	0,373	0,026	0,02	0	0,716
E	0,377	0,032	0,026	0,007	0

Z obliczeń przeprowadzonych dla typowych urządzeń wynika, że w punkcie A napięcie nigdy nie spada poniżej $0,15 U_n$, z wyjątkiem zwarcia w punkcie A.

Dobór sposobu pracy punktu neutralnego w sieci SN na terenie FW

Sieć średniego napięcia na terenie FW w zależności od mocy farmy, ilości i usytuowania turbin w terenie może być na tyle rozległa, że nie można pracować z punktem neutralnym odizolowanym. Dodatkowym czynnikiem powiększającym prąd zwarcia doziemnego jest częste wykorzystywanie napięcia 30 kV zamiast 15 lub 20 kV. Dlatego często stosowanym rozwiązaniem jest praca z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor.

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Praca zabezpieczeń w FW

EAZ w FW obejmuje następujące obiekty:

- poszczególne siłownie wiatrowe wraz z wyposażeniem,
- kable łączące poszczególne siłownie z szynami SN w GPZ-FW,
- szyny zbiorcze rozdzielni SN w GPZ-FW,
- transformator 110/15 kV w GPZ-FW,
- linie 110 kV (napowietrzną, kablową lub napowietrzno-kablową).

Siłownie wiatrowe wyposażone są fabrycznie w układy zabezpieczeń. Są to zabezpieczenia nadprądowe, nadnapięciowe i podnapięciowe, nadczęstotliwościowe i podczęstotliwościowe oraz układy zabezpieczeń technologicznych: temperaturowe i nadprędkościowe.

Linie kablowe powinny być zabezpieczone od zwarć wieloprądowych (dwufazowych, trójfazowych, dwufazowych doziemnych) za pomocą zabezpieczeń nadprądowych zwłoczných. Nastawy powinny zapewnić niedziałanie zabezpieczeń przy przepływie prądów roboczych. Nastawa I_{rp} powinna spełniać zależność:

$$(3) \quad I_k'' > I_{rp} > I_{rob\ max}$$

gdzie: I_k'' - najmniejsza wartość prądu zwarciaowego płynącego w miejscu zainstalowania zabezpieczenia, $I_{rob\ max}$ - największa dopuszczalna wartość długotrwałego obciążenia prądowego.

Do wykrywania zwarć doziemnych małoprądowych można zastosować zabezpieczenie nadprądowe reagujące na składową zerową, wtedy, gdy spełniona jest nierówność:

$$(4) \quad \frac{I_{0S} - I_{0L}}{k_c} \geq I_{rp} \geq k_b I_{0L}$$

gdzie: I_{0L} - prąd zerowy ciągu zabezpieczanego, I_{0S} - prąd zerowy całej sieci, k_c - współczynnik czułości (najczęściej równy 2), k_b - współczynnik bezpieczeństwa równy 2 dla zwłocznego oraz 4 dla bezzwłocznego. Minimalna ilość ciągów musi być większa lub równa 9 dla bezzwłocznego i 5 dla zwłocznego, aby wykorzystać zabezpieczenia nadprądowe reagujące na składową zerową. Bardzo dobre rezultaty może dać kryterium kątowoprądowe, automatyka wymuszania składowej czynnej prądu zwarcia doziemnego lub kryterium admitancyjne.

W stacji GPZ-FW po stronie 15 kV mogą być użyte szyny zbiorcze, wówczas należy zainstalować ogólnie stosowane zabezpieczenia szyn zbiorczych wraz z LRW obejmującą linie ciągów głównych na terenie FW i ewentualnie potrzeb własnych. Po stronie 110 kV w GPZ-FW można przyjąć prosty bezzynowy układ stacji, który nie wymaga odrębnych zabezpieczeń.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 sierpnia 2008 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [1] transformator powinien być wyposażony w typowe zabezpieczenia dla tych jednostek.

Zabezpieczenie FW od pracy wyspowej

Zgodnie z IRIESD praca wyspowa jednostek wytwórczych jest możliwa jedynie na wyspę urządzeń tego wytwórcy, o ile uwzględniono to w warunkach przyłączenia. Zgodnie z

IRIESD FW z generatorami asynchronicznymi należy wyposażyć w automatykę bezzwłocznego wyłączenia farmy po przejściu do pracy na wydzieloną sieć. Brak wyłączenia FW po przejściu na pracę wyspowa może doprowadzić do poważnych zagrożeń zarówno dla FW jak i dla zasilanej wyspy. Czas wyłączenia powinien być dostatecznie krótki, aby wyłączenie FW nastąpiło przed ewentualnym przywróceniem zasilania z SEE (np. po SPZ).

Zachodzi więc potrzeba identyfikacji stanu połączenia FW z SEE. Stosowane są różne metody detekcji pracy wyspowej, które podzielić można na dwie grupy:

- aktywne: wprowadzające do sieci sygnał kontrolny,
- pasywne: opierające się na biernym monitorowaniu takich parametrów systemu jak: napięcie, prąd, częstotliwość.

Z metod pasywnych najlepsze rezultaty dają metody wykorzystujące przekąźniki mierzące szybkość zmian częstotliwości df/dt (ROCOF – rate of change of frequency) oraz przekąźniki mierzące przesunięcie wektora napięcia generatorów (VS – vector surge) [7].

Wnioski

Z powyższych rozważań wynika, że część problemów związanych ze wzajemną współpracą obu automatyk jest stosunkowo prosta do rozwiązania np. SNO, SCO. Są jednak problemy trudniejsze jak np. współpraca z SPZ, zabezpieczenia odległościowe, praca wyspowa i zwarcia.

Część z tych zjawisk można sprawdzić w okresie rozruchu FW nie powodując zakłóceń w KSEE. Bezpieczniej jest wszystkie problemy przeanalizować teoretycznie w ekspertyzie przyłączeniowej, zwłaszcza zakłócenia mogące wywoływać awarie systemowe.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 sierpnia 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. (Dz.U. z dnia 9 września 2008 r).
- [2] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej z dnia 5 listopada 2007 r. „Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci” wraz z późniejszymi zmianami.
- [3] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej obowiązująca od dnia 11.06.2008.
- [4] Winkler W., Wiszniewski A. Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych W N-T. 1999.
- [5] Koszkuł Z., Floryn P., Przyłączenie do sieci dystrybucyjnej 110 kV i ŚN lokalnych źródeł wytórczych w aspekcie EAZ, Automatyka Elektroenergetyczna, nr 4, 2006, str. 18-24
- [6] Kacejko P., Miller P., Wydra M., Ocena warunków napięciowych siłowni wiatrowych i spełnienie wymagań stawianych farmom odnośnie pracy w warunkach zakłóceńowych, XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa Aktualne Problemy w Elektroenergetyce, Gdańsk – Jurata, 3-5 czerwca 2009, Tom, IV, str. 39-47
- [7] Freitas W., A practical method for assessing the effectiveness of vector surge relays for distributed generation applications, Preparation, *IEEE Trans. On Power Delivery.*, (2005), n.1, 133-137

Autorzy: dr inż. Olgierd Małyszko, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Elektryczny, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: olgierd.malyszko@zut.edu.pl;
Dr inż. Sebastian Szkolny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Elektryczny, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: sebastian.szkolny@zut.edu.pl;
Dr hab. inż. Michał Zeńczak, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Elektryczny, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: michal.zenczak@zut.edu.pl