

Analiza retrospektywna warunków pracy baterii kondensatorów statycznych wykorzystywanych w sieci przesyłowej

Streszczenie. Obecność w sieci elektroenergetycznej baterii kondensatorów statycznych może pogłębiać występujące stany przejściowe i w efekcie prowadzić do wyłączania tych jednostek, np. podczas prowadzonych operacji łączeniowych. W artykule przedstawiono wyniki analizy retrospektywnej niepoprawnych wyłączeń baterii kondensatorów statycznych przyłączonych do elementów sieci przesyłowej Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Wskazano potencjalne środki zaradcze, które powinny zminimalizować ryzyko niepotrzebnych wyłączeń tych jednostek.

Abstract. Functioning of large static capacitor banks in the power network may intensify the transient states. This may lead to switch off of these devices. This paper presents the results of retrospective analysis of incorrect switch off of static capacitor banks which are in use in the transmission network of the Polish Power System. The paper also presents potential remedial actions that could minimize the risk of static capacitor banks incorrect switch off. (**Retrospective analysis of static capacitor banks operating conditions used in a transmission network**).

Słowa kluczowe: baterie kondensatorów statycznych, sieć przesyłowa, stany przejściowe, automatyka zabezpieczeniowa.

Keywords: static capacitor banks, transmission network, transients state, power system protection.

Wstęp

W Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) do utrzymania właściwych parametrów napięć węzłowych wykorzystuje się m.in. dedykowane urządzenia przeznaczone wyłącznie do generacji mocy biernej. Do urządzeń tych zalicza się baterie kondensatorów statycznych (BKS) dużej mocy (sięgającej kilkudziesięciu Mvar) i dławiki elektroenergetyczne.

W sieci przesyłowej KSE gospodarka mocą bierną dopiero od niedawna (w niewielkim stopniu) jest realizowana za pomocą BKS. Pracujące obecnie BKS w większości zostały zainstalowane po awarii napięciowej w KSE, która miała miejsce 26 czerwca 2006 r., jako efekt zaleceń szeregu raportów z analizy tej awarii (w tym [1], [2]). Na bazie wyników tych zaleceń oraz innych analiz systemowych w KSE zainstalowano kilkanaście BKS o mocy rzędu kilkudziesięciu Mvar. W praktyce krajowej BKS są przyłączone do uzwojeń wyrównawczych autotransformatorów 400/110 kV/kV i 220/110 kV/kV oraz bezpośrednio do sieci 110 kV i 220 kV. Instalacje BKS zlokalizowano w 12 węzłach sieci przesyłowej KSE. Zestawiono je w tabeli 1 z podziałem na obszary podległe poszczególnym oddziałom operatora sieci przesyłowej.

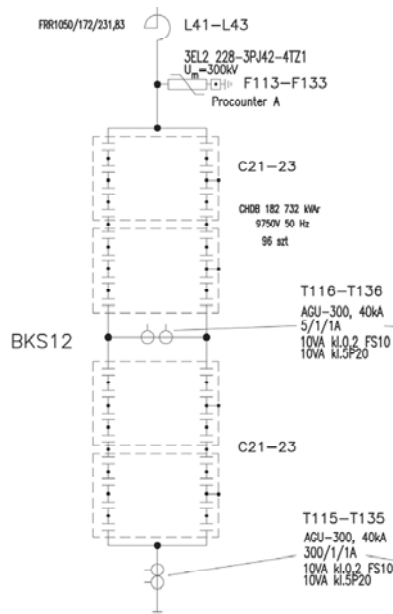
Tabela 1. Zestawienie miejsc instalacji BKS

Lp.	Stacja elektroenergetyczna	Poziom napięcia	Oddział PSE S.A.
1	SE Toruń Elana	WN	PSE S.A. Oddział w Bydgoszczy
2	SE Włocławek Azoty		
3	SE Gdańsk Błonia	SN	
4	SE Grudziądz Węgrowo		
5	SE Jasinieć		
6	SE Olsztyn Mątki		
7	SE Plewiska	NN	PSE S.A. Oddział w Poznaniu
8	SE Narew	WN	PSE S.A. Oddział w Warszawie
9	SE Mory		
10	SE Ełk	SN	
11	SE Miłosna		
12	SE Mory		

Pomimo szeregu zalet, jakie daje instalacja BKS w sieci przesyłowej, odnotowuje się również negatywne oddziaływanie tych urządzeń na sieć. Urządzenia te powodują pogłębienie stanów przejściowych występujących w układach sieciowych (zwiększają skalę stanów nieustalonych). Ryzyko niekorzystnego oddziaływania BKS

na warunki pracy sieci jest największe podczas bliskich operacji łączeniowych oraz podczas dużych stanów zakłóceńowych wywołanych zwarciami – w szczególności, jeśli występują niekorzystne warunki sieciowe, tzn. obowiązuje awaryjny lub remontowy stan pracy sieci cechujący się np. znaczącym obniżeniem mocy zwarciowej. Może to prowadzić do zbędnych włączeń nie tylko samych BKS, lecz również innych obiektów elektroenergetycznych najbliższego otoczenia miejsca przyłączenia BKS. Zwiększa to niekorzystne oddziaływanie BKS na warunki pracy sieci – wyłączenie kilku elementów sieciowych może zmniejszyć stabilność pracy sieci.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy retrospektywnej niepoprawnych wyłączeń BKS pracujących w sieci przesyłowej KSE. Wskazano również podstawowe przyczyny występowania zbędnych wyłączeń BKS oraz metody ich ograniczania.



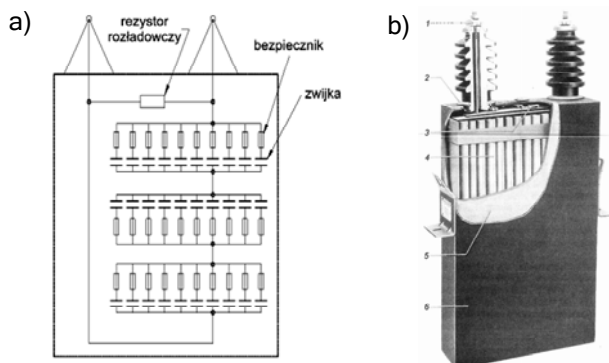
Rys.1. Schemat ideowy baterii kondensatorów statycznych

Charakterystyka pracy BKS

Wpływ BKS na stany przejściowe występujące w sieci elektroenergetycznej warunkowany jest bezpośrednio kwestiami konstrukcyjnymi tych jednostek. Układy BKS

o dużej mocy charakteryzują się złożoną budową (posiadają kilkadziesiąt elementów podstawowych). W ogólnym ujęciu BKS składają się z odpowiednio połączonych jednofazowych sekcji baterii kondensatorów, dławika ochronnego „na wejściu” oraz niezbędnej aparatury (rys.1).

Sekcje kondensatorów tworzy się z jednostek kondensatorowych, których liczba zależy m.in. od napięcia znamionowego pracy danej jednostki. Pojedyncza jednostka kondensatorowa (rys. 2) składa się z wielu zwojek kondensatorowych (zabezpieczonych bezpiecznikami) połączonych szeregowo-równolegle i umieszczonych we wspólnej obudowie wraz z rezystorami rozładowczymi zdolnymi do rozładowania jednostki w określonym czasie (np. 10 min.) po odłączeniu jej od źródła zasilania.



Rys.2. Ilustracja budowy jednofazowej jednostki kondensatorowej dużej mocy [4]: a) schemat ideowy; b) przekrój 1 – zacisk przyłączeniowy; 2 – izolator; 3 – rezystor wyładowczy; 4 – zwojki; 5 – izolacja do obudowy; 6 – metalowa obudowa

BKS o napięciu znamionowym sieci NN zwykle charakteryzują się układem typu H połączenia jednostek kondensatorowych (połączenie szeregowo-równoległe wielu jednostek kondensatorowych w każdej fazie). BKS o napięciu znamionowym sieci WN (także niektóre BKS o napięciu NN) charakteryzują się połączeniem jednostek kondensatorowych wykonanym w układzie gwiazdy z uziemionym punktem neutralnym. Natomiast BKS przyłączane do uzwojenia wyrównawczego autotransformatorów NN/WN charakteryzują się układem pojedynczej lub podwójnej gwiazdy z izolowanym punktem neutralnym połączenia jednostek kondensatorowych.

Bezpośrednie przyłączenie BKS do sieci powoduje pojawienie się stosunkowo dużych prądów udarowych związanych z ładowaniem BKS – w szczególności przy odkształconym przebiegu napięcia. Prądy te niejednokrotnie przekraczają poziom prądu znamionowego BKS i to pomimo instalacji dławika ochronnego „na wejściu” BKS (rys. 1). Dławiki te oprócz funkcji związanej z tłumieniem udarów prądowych, ograniczają również przepięcia i możliwość wystąpienia rezonansów w układzie. Instalacje BKS są również bardzo czułe na nadmierny wzrost napięcia (wartość generowanej mocy biernej zależy od kwadratu napięcia na zaciskach BKS). Względny wzrost wartości napięcia spowodowany przyłączeniem BKS można wyznaczyć ze wzoru [5]:

$$(1) \quad \frac{\Delta U_S}{U_S} = \frac{Q_{BKS}}{S_{kQ}^{//}}$$

gdzie: ΔU_S – wzrost napięcia w sieci zasilającej w kV, U_S – wartość napięcia przed przyłączeniem BKS, $S_{kQ}^{//}$ – moc zwarciowa w miejscu zainstalowania BKS w MV·A, Q_{BKS} – moc BKS w Mvar.

Należy podkreślić, że nie bez znaczenia jest wpływ samego układu BKS na wartość napięcia w punkcie przyłączenia BKS. Jest to aspekt szczególnie istotny w sieciach cechujących się niewielką mocą zwarciową. Dlatego BKS mogą prowadzić do przekroczenia dopuszczalnych wartości napięć w sieci i z tego powodu muszą być zabezpieczone przed przepięciami oraz wyposażone w zabezpieczenia nadnapięciowe. Podczas doboru nastawień zabezpieczeń nadnapięciowych należy uwzględnić, że BKS zwykle są projektowane do długotrwałej pracy przy napięciu nieprzekraczającym 110% napięcia znamionowego oraz mocy nie większej niż 130% ± 150% mocy znamionowej.

Układy BKS są również bardzo wrażliwe na obecność wyższych harmonicznych w napięciu. Powoduje to przepływ przez BKS prądu o dużej wartości, gdyż reaktancja pojemnościowa kondensatora jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości. Im wyższa częstotliwość składowych napięć, tym mniejsza reaktancja BKS – wówczas wartość prądu może znacząco przekraczać prąd znamionowy BKS, co może prowadzić do przeciążenia BKS. Obecnie w sieciach przesyłowych KSE ryzyko występowania wyższych harmonicznych napięć o znacznej wartości jest niewielkie, dlatego ochronę BKS przed skutkami obecności wyższych harmonicznych w napięciu realizuje się wykorzystując zabezpieczenia od przeciążeń BKS.

Należy również podkreślić, że w układach sieciowych z BKS może dochodzić do występowania pulsacji o charakterze ferorezonansowym. Dochodzi wówczas do ferorezonansowych oscylacji prądu w równoległym układzie wypadkowej pojemności obwodu elektrycznego (ze znaczącym udziałem BKS) i nieliniowej indukcyjności transformatorów. W skrajnym przypadku drgania te mogą przyjąć charakter drgań nietłumionych i w efekcie wywołać przepływy prądów o dużych wartościach oraz doprowadzić do wyłączeń obiektów sieciowych. Drgania ferorezonansowe mogą wystąpić w szczególności podczas operacji łączeniowych w sieci, tzn. np. przy wyłączeniu linii WN i NN lub załączaniu autotransformatora w sąsiedztwie BKS.

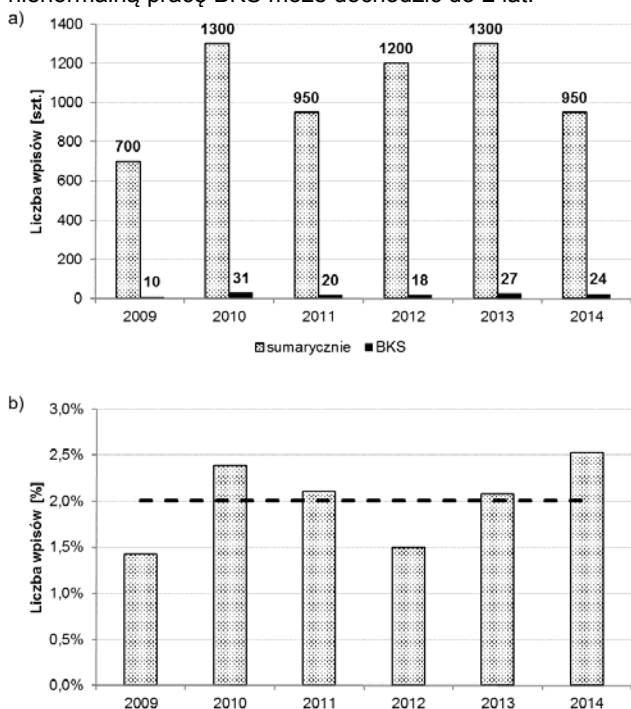
Opisane zjawiska mogą prowadzić do pogłębiania się stanów przejściowych w układzie sieciowym – w szczególności w awaryjnych stanach pracy sieci – co w efekcie może skutkować zbędnymi wyłączeniami obiektów sieci.

Analiza retrospektywna wyłączeń BKS

Analizę retrospektywną zdarzeń sieciowych w KSE, którym towarzyszyły wyłączenia BKS, przeprowadzono, dokonując wnikliwego przeglądu raportów sporządzanych przez PSE S.A. Na rysunku 3 porównano sumaryczną liczbę wszystkich wpisów dotyczących zdarzeń sieciowych zaistniałych w całej sieci podległej PSE S.A. z liczbą wpisów odnoszących się do BKS. Zestawienia takie wykonano dla każdego roku analizowanego okresu.

Liczba wpisów dotyczących BKS stanowi niewielki udział w ogólnej liczbie wszystkich wpisów o zdarzeniach w sieci podległej PSE S.A. – średniorocznie wynosi ok. 2% (rys.3.b). Bezwzględna liczba wpisów na rok waha się od 10 do 31. Odnosząc to do 12 układów BKS zainstalowanych w KSE, średniorocznie na każdy układ BKS przypada blisko 2 wpisy (średnia ok. 1,8). Zaznacza się, że do jednego zdarzenia może być przyporządkowanych kilka wpisów, zależnie od szczegółowości opisu i działań podejmowanych przez służby ruchowe. Uwzględniając niejednokrotnie wielowpisowy opis zdarzeń sieciowych, w efekcie na pojedynczy układ BKS przeciętnie na rok przypada 0,54 zdarzenia sieciowego związanego z awaryjnym

wyłączeniem BKS, w tym z zadziałaniem zabezpieczeń lub ich pobudzeniem. W efekcie dla pojedynczego układu BKS odstęp między kolejnymi zdarzeniami skutkującymi nienormalną pracą BKS może dochodzić do 2 lat.



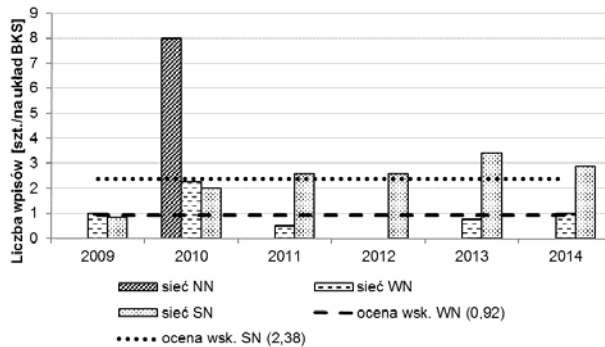
Rys. 3. Statystyka zdarzeń sieciowych obejmujących BKS w ujęciu rocznym: a) zestawienie liczby wpisów; b) udział wpisów dotyczących BKS

Zestawienia przedstawione na rysunku 3 uogólniają wnioski do wszystkich BKS zainstalowanych w KSE. Z uwagi na różne typy BKS przyłączanych do sieci NN, WN i SN analiza retrospektywna wymagała wyróżnienia układów z uwagi na poziom napięcia nominalnego sieci. Szczegółową statystykę zdarzeń sieciowych uwzględniającą ten aspekt zamieszczono na rysunku 4. Zaznacza się, że uzyskane wyniki przedstawiono w odniesieniu do liczby układów BKS przyłączonych do poszczególnych sieci. Oznacza to, przykładowo dla 2010 r., że dla każdego układu BKS przyłączonego do sieci SN zanotowano średnio dwa wpisy w analizowanym roku.

Analiza szczegółowa pozwala na określenie poziomu średniorocznego wskaźnika przeciętnej liczby zdarzeń sieciowych (wyrażonego liczbą wpisów w raportach PSE S.A.) na jeden układ BKS. Odrzucając przypadki skrajne (jeden układ BKS przyłączony do sieci NN – SE Plewiska PSE S.A. Oddział w Poznaniu – dla którego odnotowano 8 wpisów wyłącznie w 2010 r.), wskaźnik ten dla sieci SN jest ponad 2,5-krotnie wyższy niż dla BKS przyłączonych do sieci WN (2,38 dla BKS SN względem 0,92 dla BKS WN). Zobrazowano to na rysunku 4. Dla układów BKS SN jedynie w 2009 r. przeciętna liczba wpisów na jeden układ była mniejsza od 2. Dla okresu 2011 ÷ 2014 wskaźnik ten wzrósł, osiągając w 2013 r. poziom praktycznie równy 3,5. W raportach PSE S.A. zanotowano wówczas 24 wpisy dotyczące BKS przyłączonych do sieci SN. Natomiast dla układów WN jedynie w 2010 r. liczba wpisów na jeden układ wynosiła 2,25. Z kolei w 2012 r. nie zarejestrowano żadnego zdarzenia sieciowego obejmującego BKS WN.

Szczegółową analizę retrospektywną zdarzeń sieciowych związanych z zadziałaniem zabezpieczeń BKS przeprowadzono odrębnie dla poszczególnych układów zainstalowanych w KSE. Wyniki szczegółowej analizy raportów sieciowych wskazują, że w okresie eksploatacji BKS (2009 ÷ 2014) wystąpiło 29 zdarzeń związanych

z awaryjnym wyłączeniem BKS. Wyłączenia te występowały na skutek zadziałania różnego rodzaju zabezpieczeń, przy czym znaczną część zdarzeń tych zabezpieczeń traktuje się jako nieuzasadnioną. Dla 11 zdarzeń wyłączenia wystąpiły wskutek nieuzasadnionego zadziałania zabezpieczeń, a bezpośrednią przyczyną 6 przypadków były awarie terminali zabezpieczeniowych BKS lub elementów z nimi współpracujących.



Rys. 4. Ocena wskaźnikowa przeciętnej liczby zdarzeń sieciowych przypadających na jeden układ BKS w okresie 2009-2014

Zestawienie zdarzeń sieciowych związanych z zabezpieczeniami zainstalowanymi w polach BKS zamieszczono w tabeli 2, wyróżniając poszczególne stosowane funkcje zabezpieczeniowe oraz przypadki uzasadnionych i nieuzasadnionych zadziałań zabezpieczeń. Warto przy tej okazji zwrócić uwagę, że w raportach o zdarzeniach sieciowych odnotowano również przypadki nieuzasadnionych wyłączeń układów BKS powodowane pomyłkami służb ruchowych lub pomyłkami monterów podczas prac w stacji z BKS. Niemniej, zdarzeń tych nie ujęto w poniższym zestawieniu, z uwagi na brak bezpośredniego powiązania z podstawowym celem niniejszego artykułu.

Tabela 2. Zestawienie zdarzeń sieciowych z BKS

Rodzaje zabezpieczeń BKS		Poziom napięcia przyłączenia BKS			
		NN	WN	SN	
Nadprądowe	od skutków zwarc międzyfazowych	1u	3n	2u	4n
	od skutków zwarc międzyfazowych				
	od skutków przeciążeń				3u
	od skutków uszkodzeń wewnętrznych	1n	2u		2u
	od skutków asymetrii				
Napięciowe	nadnapięciowe				1u
	podnapięciowe			1u	3n
Awaria terminalu zabezpieczeniowego lub elementów współpracujących			1n		5n

1u uzasadnione zadziałanie zabezpieczenia BKS
1n nieuzasadnione zadziałanie zabezpieczenia BKS

Najwięcej przypadków zbędnych zadziałań zaobserwowano dla zabezpieczenia nadprądowego od skutków zwarc międzyfazowych (7 zdarzeń). Niestety, w raportach o zdarzeniach sieciowych zwykle nie zamieszczano opisu przyczyn zaistnienia tych zdarzeń. Niemniej wnioskuje się, że dla 4 przypadków (dotyczy układów SN) zbędne zadziałania tych zabezpieczeń były

skutkiem udarów prądowych towarzyszących załączeniu autotransformatorów pracujących w tej samej stacji co BKS. Dla pozostałych 3 zdarzeń (dotyczy układów BKS WN) mała szczegółowość opisu zdarzenia uniemożliwia ustalenie choćby potencjalnych przyczyn.

Uogólniając stwierdza się, że przyczyną zbędnego działania zabezpieczeń nadprądowych od skutków zwarć międzyfazowych BKS było początkowe nieuwzględnienie w nastawieniach tych zabezpieczeń czynników, których zaistnienie mogło doprowadzić do nadmiernego wzrostu wartości prądu kontrolowanego przez zabezpieczenie – w tym np. maksymalnej wartości udarów prądowych podczas załączania autotransformatorów. Potwierdzają to efekty działań podjętych przez służby zabezpieczeniowe. Zmiana nastawień zabezpieczeń nadprądowych (często w niewielkim zakresie) unieważniła działanie tych zabezpieczeń na występowanie czynnika fałszującego.

Podobna sytuacja wystąpiła w przypadku zabezpieczeń od skutków uszkodzeń wewnętrznych BKS zainstalowanych w SE Plewiska. W raportach o zdarzeniach sieciowych odnotowano jedno zbędne pobudzenie tego zabezpieczenia. Analogicznie jak dla zabezpieczenia nadprądowego, zmiana nastawień spowodowała, że w dalszej eksploatacji BKS nie odnotowano zbędnego pobudzenia zabezpieczenia.

Dla zabezpieczenia od skutków przeciążeń odnotowano 3 zadziałania (dotyczy układów SN). Sklasyfikowano je jednak jako uzasadnione, gdyż ich przyczyną były niedoskonałości konstrukcyjne układów BKS (m.in. wyciek syciwa prowadzący do długotrwałego wzrostu wartości prądu BKS kontrolowanego przez zabezpieczenie od przeciążeń i – w efekcie – zadziałania zabezpieczenia).

Dla zabezpieczenia podnapięciowego BKS odnotowano 3 zdarzenia, które traktuje się jako nieuzasadnione, gdyż występowały podczas załączeń układów BKS (dotyczy układów SN). Prawdopodobną przyczyną był zapad napięcia spowodowany przepływem prądu udarowego podczas załączenia BKS.

Należy również podkreślić, że podczas włączania BKS w „słabej” stacji elektroenergetycznej (stacje o niewielkim poziomie mocy zwarciowej) może dochodzić do znaczącego wzrostu napięcia. Taka sytuacja wystąpiła w jednej z analizowanych stacji. Po włączeniu BKS wartość napięcia w stacji trwale wzrosła do takiego poziomu, że zabezpieczenia nadnapięciowe znajdowały się w stanie ciągłego pobudzenia. Dopiero modyfikacja ich nastawień wprowadzona przez służby zabezpieczeniowe wyeliminowała to nieprawidłowe działania zabezpieczeń. Wskazuje to, że podczas doboru nastawień zabezpieczeń napięciowych BKS (dokonywanych na etapie ich instalacji) nie uwzględniono warunków jakie mogą się pojawić w awaryjnych stanach pracy KSE.

Z przedstawionych wywodów wynika bezpośrednio, że zabezpieczenia BKS mogą prowadzić do zbędnych wyłączeń BKS, przy czym w wielu przypadkach niewielka modyfikacja nastawień tych zabezpieczeń skutecznie eliminuje ten problem. Wynika stąd, że dobór nastawień tych zabezpieczeń prawdopodobnie był dokonany bez szczegółowego uwzględnienia możliwych warunków pracy sieci, do której był przyłączany dany układ BKS. Wobec powyższego sugeruje się, aby w przyszłości dla nowoinstalowanych BKS dobór nastawień zabezpieczeń BKS przygotowywać na bazie szczegółowych analiz uwzględniających docelowe warunki pracy otoczenia sieciowego miejsca przyłączenia BKS. Zaleca się przeprowadzenie takich analiz z uwzględnieniem stanów awaryjnych pracy sieci, tzw. n-1 lub nawet n-2.

Podkreśla się, że błędy popełnione przy określaniu nastawień zabezpieczeń BKS mogą prowadzić

do niepotrzebnych wyłączeń BKS i w efekcie znacząco pogarszać stabilność napięciową KSE.

Podsumowanie i uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonej analizy retrospektywnej zdarzeń sieciowych związanych z zadziałaniem zabezpieczeń zainstalowanych w polach BKS można przedstawić następujące uwagi końcowe i spostrzeżenia.

- W całym analizowanym okresie eksploatacji (2009 ÷ 2014) 12 układów BKS zainstalowanych w KSE odnotowano 29 zdarzeń związanych z zabezpieczeniami BKS. Składają się na to: 12 zadziałań uzasadnionych, 11 zadziałań nieuzasadnionych oraz 6 awarii terminali zabezpieczeniowych.

- Najwięcej przypadków zbędnych (nieuzasadnionych) zadziałań zaobserwowano dla zabezpieczenia nadprądowego od skutków zwarć międzyfazowych (7 zdarzeń). Dla zabezpieczeń napięciowych BKS stwierdzono 3 nieuzasadnione zadziałania zabezpieczenia podnapięciowego podczas załączania układów BKS. Odnotowano również 1 zbędne pobudzenie zabezpieczenia od skutków uszkodzeń wewnętrznych BKS.

- Odnotowano przypadki wyłączeń układów BKS, w których przyczyną zadziałania zabezpieczeń w polu BKS były zakłócenia wewnątrz układów BKS (m.in. wyłączenie BKS wskutek zadziałania zabezpieczenia wywołane odkręceniem się klemy kondensatora BKS lub spowodowane innymi czynnikami technicznymi). Takie zadziałanie BKS traktowano jako prawidłowe.

- W wielu przypadkach nieznaczna zmiana nastawień zabezpieczeń BKS może w znaczącym stopniu ograniczyć ryzyko zbędnych wyłączeń BKS.

Reasumując stwierdza się, że nastawienia zabezpieczeń BKS powinny być dobierane na podstawie szczegółowej analizy pracy tych urządzeń w docelowym układzie sieciowym, z uwzględnieniem parametrów układu sieciowego obowiązujących zarówno w normalnym, jak i awaryjnym stanie pracy sieci. Brak szczegółowego rozpoznania możliwych warunków pracy konkretnego układu BKS może prowadzić do nieprawidłowego działania tych zabezpieczeń i w konsekwencji do zbędnych wyłączeń.

Należy również podkreślić, że przedstawione wyniki analizy retrospektywnej (na tle posiadanych danych) nie potwierdzają częstego występowania zdarzeń sieciowych prowadzących do silnych ferorezonansów sieciowych z udziałem BKS, które mogłyby spowodować ich wyłączenie.

Autorzy: dr hab. inż. Maksymilian Przygodzki, dr inż. Piotr Rzepka, E-mail: piotr.rzepka@polsl.pl; piotr.rzepka@pse.pl, dr inż. Mateusz Szabliski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, PSE Innowacje Sp. z o.o., dr inż. Jacek Wasilewski, PSE Innowacje Sp. z o.o.

LITERATURA

- [1] Raport końcowy z analizy awarii napięciowej w KSE 26 czerwca 2006 r. Instytut Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej Raport serii Sprawozdania nr 1 (2007)
- [2] Raport końcowy z prac Zespołu ds. Analizy Zakłóceń w Systemie Elektroenergetycznym w 2006 roku. Ministerstwo Gospodarki (23 listopada 2006)
- [3] Statystyczne źródła mocy biernej – baterie kondensatorów SN i WN jako narzędzie do poprawy warunków pracy sieci elektroenergetycznych [on-line]. *Portal elektroonline* (dostęp 2 marca 2015). Dostęp w Internecie: <http://www.elektroonline.pl>.
- [4] Poradnik inżyniera elektryka. WNT, wydanie 3, tom 2, Warszawa (1997)
- [5] Zasady doboru i nastawiania zabezpieczeń elementów systemu elektroenergetycznego wysokiego napięcia. Prace badawcze i rozwojowe. *Biblioteka PSE S.A.*, Warszawa (2010)