

Optymalizacja nastaw automatu przełączania zasilania AZRS-2 pod kątem przełączeń bezprzerwowych szybkich

Antoni Salij – Enea Połaniec

Streszczenie

W referacie omówiono zagadnienie łączenia obiektów lub instalacji energetycznych prądu przemiennego do pracy równoległej. Przedstawiono zastosowane w Enea Połaniec urządzenie automatyki do synchronicznego, bezprzerwowego przełączania zasilania. Scharakteryzowano podstawowe warunki: zgodności wirowania napięć, równości ich wartości skutecznych i częstotliwości, oraz zgodności kąta fazowego pomiędzy nimi. Zaprezentowano wyniki analizy zdarzeń braku warunków dla synchronicznego przełączania zasilania wpływających na pewność zasilania odbiorów.

1. Wstęp

Pewność i niezawodność zasilania energią elektryczną urządzeń oraz instalacji w elektrowniach z uwagi na ciągłość pracy układów technologicznych jest konieczna. W szczególnych wypadkach niedopuszczalne są przerwy w zasilaniu energią elektryczną infrastruktury krytycznej w elektrowni. Mogą one być przyczyną występowania strat ekonomicznych, jednak istotniejsze jest zapewnienie bezpieczeństwa pracy ludzi i ochrona przed uszkodzeniem lub zniszczeniem urządzeń. Nie bez znaczenia dla systemu elektroenergetycznego jest, także nieplanowy (awaryjny) brak lub ograniczenie produkcji energii elektrycznej, który zmusza Operatora PSE do korzystania z rezerwy mocy. W celu zagwarantowania poprawnej pracy układów elektrycznych, w tym kontroli synchronizmu przy załączaniu za pośrednictwem wyłącznika dwóch węzłów sieci wymagane są odpowiednie urządzenia przełączania zasilania. Powinny one być wyposażone w moduły zawierające określanie dopuszczalnych warunków załączania elementów sieci opracowanych na podstawie odpowiednich metod obliczania nastawień tych urządzeń. Natomiast zastosowane układy automatyki muszą realizować przełączanie zasilania w sposób synchroniczny, bezprzerwowy, bezpieczny i niezawodny tam gdzie to jest wymagane. W Enea Połaniec szczególne wymagania w odniesieniu do algorytmów i nastaw urządzeń automatyki przełączania zasilania, zależą od rodzaju zasilanych odbiorów, potrzeb konkretnych procesów technologicznych oraz jakości/sztynności źródła zasilania rezerwowego. W referacie przedstawiono wybrany przykład zasilania odbiorów w elektrowni i na jego podstawie omówiono zagadnienia związane z warunkami pracy oraz gotowością ruchową automatu do przełączania zasilania.

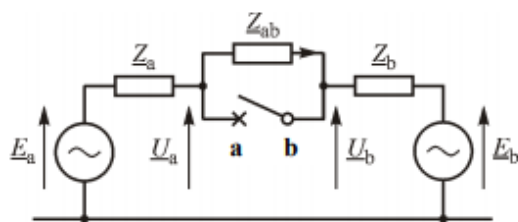
2. Łączenie obiektów lub instalacji energetycznych prądu przemiennego do pracy równoległej

Podstawową i wymaganą zasadą łączenia obiektów lub instalacji energetycznych prądu przemiennego do pracy równoległej jest uzyskanie minimalnej wartości prądów wyrównawczych w chwili ich załączenia. Spełnione powinny być warunki: zgodności wirowania napięć, równości ich wartości skutecznych i częstotliwości oraz zgodności kąta fazowego pomiędzy nimi. Urządzenia do kontroli synchronizmu łączy sprawdzają więc: różnicę modułów napięć, różnicę argumentów napięć, różnicę częstotliwości. W praktyce niejednokrotnie występuje trudność uzyskania takich samych wartości parametrów po obu stronach łączonych instalacji lub obiektów i odpowiednio różnicy zero pomiędzy nimi. Wobec powyższego istotnym jest określenie bezpiecznych warunków załączenia obiektów lub instalacji przy możliwie maksymalnych (dopuszczalnych) parametrach załączenia. Każde zamknięcie wyłącznika w układzie elektroenergetycznym przy różnicy potencjałów na jego biegunach wywołuje stan nieustalony i może być traktowane w zależności od skutków jako zakłócenie lub awaria.

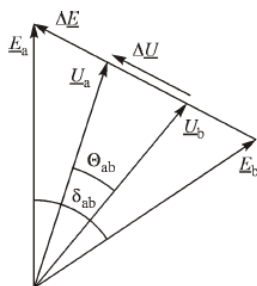
W celu zobrazowania charakterystyki układu na rys. 1 przedstawiono przykładowy schemat zastępczy i wykres fazorowy sieci elektroenergetycznej (SEE) w trakcie załączenia wyłącznika [4]. Układ zawiera dwa zastępcze źródła napięciowe oraz gałąź odwzorowującą wyłącznik i powiązania węzłów a, b poprzez sieć SEE.

Przedstawiony schemat zastępczy nie stanowi wystarczającej informacji do określenia warunków załączenia obiektów lub instalacji w SEE. W literaturze [3], [4] można zapoznać się z kompletnymi schematami odpowiednio przekształconymi i wyprowadzeniem wzorów oraz zależności, które pozwalają obliczyć wartość prądu załączania wyłącznika. Jednocześnie mogą one służyć do wyznaczenia warunków załączenia wyłącznika – różnic: modułów napięć, argumentów napięć i częstotliwości.

a)



b)



a - biegun wyłącznika od strony szyn SEE; b - biegun od strony elementu załączanego;
 U_a, U_b - napięcia na biegunach wyłącznika; $\Delta E, \Delta U$ - różnica napięć;
 E_a, E_b - zastępcze źródła napięciowe; Z_a, Z_b, Z_{ab} - gałęzie zastępcze impedancji

Rys. 1. Schemat zastępczy a) i wykres fazorowy b) systemu elektroenergetycznego w trakcie załączenia wyłącznika [4]

2.1. Wartości skuteczne napięć zasilających

Podstawowymi przyczynami odchylenia napięcia w SEE są zmiany rozpyły mocy biernej w sieci i obciążenia sieci w czasie, które powodują zmiany spadków napięć występujących na impedancjach poszczególnych elementów układów elektroenergetycznych. Odchylenie napięcia określa różnica wartości napięcia rzeczywistego i znamionowego SEE wyrażona w procentach napięcia znamionowego. W przypadku bezprzerwowego załączenia synchronicznego wymagane są: właściwy dopuszczalny warunek różnicy napięć pomiędzy biegunami wyłącznika i możliwość regulacji napięcia.

2.2. Kąt rozchyłu napięć zasilających

Rozchył kątowy napięć w systemach A i B zależy od mocy czynnej i biernej dopływającej do systemu B z systemu A, reaktancji X_{AB} zastępczej gałęzi łączącej systemy A i B oraz modułu napięcia po stronie systemu B [5]. Regulacja kąta rozchyłu napięć zasilających wymaga znaczącej ingerencji w rozpyły mocy i odpowiednią konfigurację układów połączeń w systemach A oraz B, co niejednokrotnie nie jest możliwe. Ponadto zmiana konfiguracji sieci w wybranym obszarze SEE wpływa na pozostały, związany układ i może powodować pogorszenie warunków do wykonania synchronicznych połączeń jego obiektów lub instalacji [3]. W związku z opisanymi trudnościami regulacji kąta rozchyłu napięć zasilających istotnym jest odpowiedni dobór jego wartości dopuszczalnej i wielkość napięcia różnicowego między zasilaniami.

2.3. Częstotliwości napięć zasilających

W normalnym stanie pracy SEE zmiany częstotliwości w szczególności w pobliżu źródeł wytwórczych energii elektrycznej są bardzo niewielkie, ok. $\pm 0,2$ Hz i nie mają istotnego wpływu na pracę urządzeń elektrycznych systemu oraz przyłączanie innych instalacji. W szczególności w tzw. sieci sztywnej można przyjąć, że częstotliwość jest stała. W praktyce jej oscylacje wynoszą kilkadziesiąt milihertzów wokół wartości bazowej 50 Hz. Zasadniczo w normalnym układzie pracy SEE ten parametr charakteryzujący napięcie zasilania nie stanowi problemu przy realizacji załączenia synchronicznego obiektów lub instalacji energetycznych.

3. Wybrane kryteria doboru wartości nastawczych

Na podstawie informacji zawartych w punkcie drugim można przyjąć, że w celu wykonania bezpiecznego i bezproblemowego synchronicznego połączenia dwóch węzłów SEE należy dokonać ograniczenia oraz kontroli warunków ich załączania. Przede wszystkim wynikiem podjętych działań powinna być minimalizacja skutków działania dużej wartości prądu w chwili po załączeniu. W procesie łączenia

wyłącznika może nastąpić [1], [2], [3], [4]: jego uszkodzenie w wypadku przekroczenia zdolności łączeniowej, pobudzenie się zabezpieczeń odległościowych, uszkodzenie uzwojeń transformatorów przez działanie sił dynamicznych i negatywny wpływ na zespoły wytwórcze oraz stabilność systemu elektroenergetycznego. Wobec powyższego powinny być stosowane pojedyncze lub grupowe kryteria doboru wartości nastawczych. Przykładowe podstawowe warunki do zabezpieczenia procesu łączenia wyłącznika podano niżej.

3.1. Kryterium kątowe załączenia wyłącznika

Wymienione kryterium nawiązuje do zagrożenia uszkodzenia wyłącznika podczas wykonywania operacji załączania elementu SEE. W ramach działania należy sprawdzić warunek $I_{osz} \leq I_{wz}$, gdzie obliczony szczytowy prąd załączenia I_{osz} i I_{wz} załączalny prąd wyłącznika. Szczegółowe informacje zawarto w literaturze [4].

3.2. Kryterium braku pobudzenia zabezpieczeń

W przypadku znacznej różnicy napięć na biegunach załączanego wyłącznika powstaje duży prąd załączenia i wówczas impedancja mierzona przez zabezpieczenie odległościowe może się obniżyć. Należy sprawdzić ograniczenie, czy wartość impedancji mierzonej przez przekaźnik odległościowy w kierunku załączanego elementu nie spowoduje pobudzenia zabezpieczenia. Analizę przedmiotowego kryterium i wnioski przedstawiono w dokumencie [3].

3.3. Kryterium zagrożenia uzwojeń transformatorów

Kryterium to sprawdza, czy wartość szczytowa prądu załączenia transformatora, który od jednej strony jest już załączony, nie wywoła zbyt duże siły dynamiczne mogące uszkodzić jego uzwojenia. Przyjmuje się warunek, że prąd załączenia transformatora nie powinien być większy od prądu zwarcia trójfazowego na jego zaciskach (wytrzymałość zwarcia transformatora). Temat omówiono w monografii [4].

4. Automat przełączania zasilających typu AZRS-2

Mikroprocesorowy automat typu AZRS-2 służy do samoczynnego załączania rezerwy, planowego przełączania zasilających i samoczynnego przełączania powrotnego. Przeznaczony jest dla rozdzielni wymagających dużej pewności zasilania pracujących w układach z rezerwą jawną. Automat może wykonywać następujące rodzaje przełączeń [6]:

a) synchroniczne bezprzerwowe

Automat załącza wyłącznik nowego zasilania i po potwierdzeniu jego załączenia wyłącza wyłącznik dotychczasowego zasilania. W czasie przełączenia nie występują przerwy w zasilaniu odbiorów. Przełączenie synchroniczne jest możliwe, gdy spełnione są warunki zezwalające na realizację przełączeń.

b) synchroniczne z krótkotrwałą przerwą w zasilaniu

Cykl przełączenia obejmuje wyłączenie wyłącznika dotychczasowego zasilania i bezzwłoczne załączenie wyłącznika nowego zasilania. Czas przerwy w zasilaniu zależy od czasu własnego wyłącznika załączanego. Do wykonania przełączenia powinny istnieć warunki do przełączeń synchronicznych.

c) quasi-synchroniczne

Po wyłączeniu wyłącznika dotychczasowego zasilania automat opóźnia działanie do czasu uzyskania warunków do przełączeń quasi-synchronicznych, a następnie załącza wyłącznik nowego zasilania z czasem wyprzedzenia odpowiadającym czasowi własnemu załączenia wyłącznika. Przełączenie może być wykonane niezależnie od warunków do przełączeń synchronicznych.

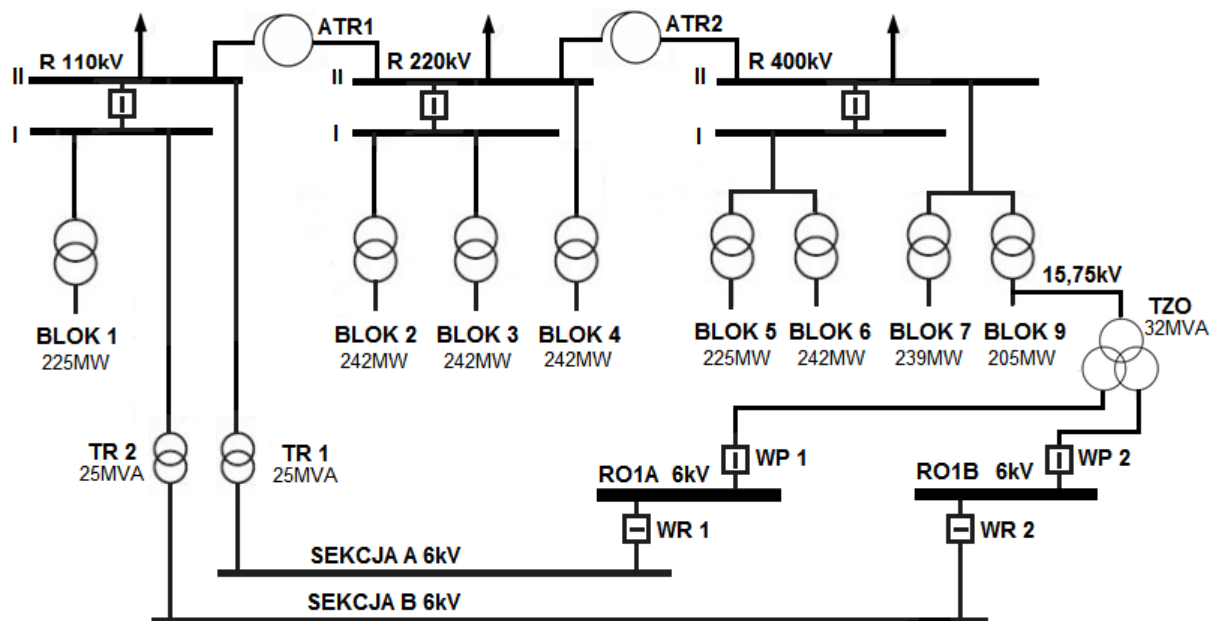
d) wolne

Po wyłączeniu wyłącznika dotychczasowego zasilania, gdy napięcie na szynach obniży się poniżej nastawionej wartości progowej, automat załącza wyłącznik nowego zasilania. Czas przerwy w zasilaniu zależy od szybkości zaniku napięcia na szynach do wartości progowej.

Urządzenie AZRS-2 kontroluje w sposób ciągły: poziomy napięcie w torach zasilających podstawowym i rezerwowym UP i UR, poziom napięcia na szynach rozdzielni U_{sz} , wielkość napięcia różnicowego między zasilaniami $dU_{fi}(sz-R)$ i $dU_{fi}(sz-P)$, kąt rozchyłu statycznego $d\phi_{fi}(sz-P)$ i $d\phi_{fi}(sz-R)$ oraz różnicę częstotliwości (poślizg) między napięciami na zasilaniach $d\phi_{fi}(sz-R)$ i $d\phi_{fi}(sz-P)$. W wypadku pojawienia się wartości większej niż dopuszczalna, tj. $dU_{fi} \geq 1,2 \text{ kV}$, $d\phi_{fi} \geq 15^\circ$ lub $d\phi_{fi} \geq 0,3 \text{ Hz}$ następuje brak warunków do przełączeń szybkich (synchronicznych).

5. Układ elektryczny w Enea Połaniec do badania problemu blokady automatu AZRS-2

Automaty AZRS-2 zostały zainstalowane w rozdzielni 6 kV potrzeb ogólnych RO1A,B elektrowni sekcji A i B. Dokonują one samoczynnego załączenia rezerwy (SZR) w stanach awaryjnych i umożliwiają planowe przełączenie zasilania (PPZ) w normalnych warunkach ruchowych pracy rozdzielni. Rozdzielnie RO1A i RO1B przeznaczone są do zasilania urządzeń elektrycznych Członu Ciepłowniczego nr 2, Instalacji Odsiarczania Spalin, Zakładu Przeróbki Kamienia Wapiennego i Zakładu Biomasy. Podstawowe zasilanie dla obu sekcji rozdzielni RO1A,B stanowi transformator trójzwojeniowy 15,75/6,3/6,3 kV TZO zasilany z wyprowadzenia mocy bloku energetycznego nr 9. Zasilanie rezerwowe stanowią transformatory TR1,2 i międzybłokowe mosty zasilania rezerwowego 6 kV sekcja A oraz B. Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat połączeń układu elektrycznego elektrowni i stacji przyelektrownianej oraz rozdzielnię RO1A,B z wyłącznikami zasilania WP, WR.



Rys. 2. Uproszczony schemat połączeń układu elektrycznego elektrowni i stacji przyelektrownianej.

BLOK 1 - 7,9 - bloki energetyczne w elektrowni; TR1,2 - transformatory potrzeb ogólnych elektrowni;

TZO - transformator zasilający rozdzielnice RO1A,B; ATR1,2 - autotransformatory w stacji WN;

WR1,2 - wyłączniki 6 kV zasilania rezerwowego; WP1,2 - wyłączniki 6 kV zasilania podstawowego

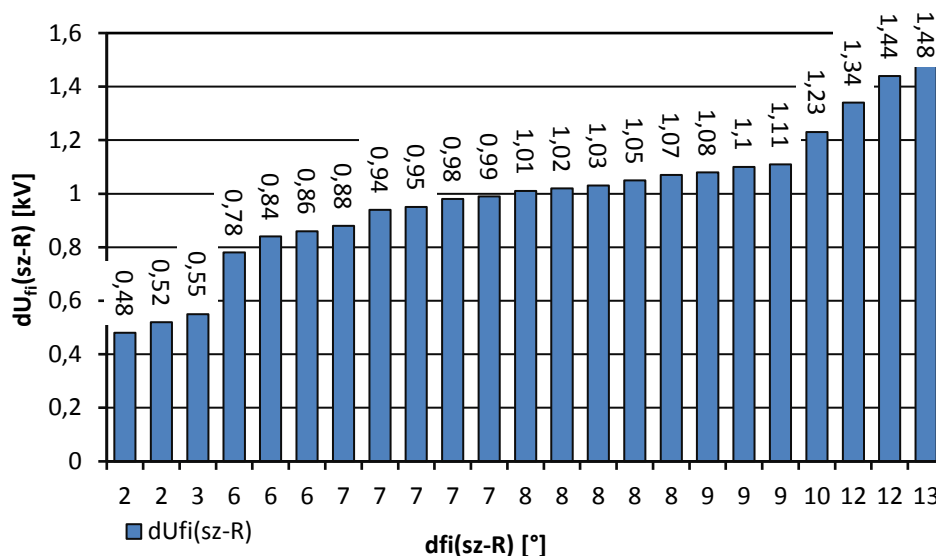
Rozdzielnica RO1A,B zbudowana jest z pól rozdzielczych typu RD-1 z wyłącznikami mocy typu SCI-4 oraz WV32. Prąd szczytowy szyn zbiorczych i załączalny dla wyłączników WV32 zainstalowanych w polach zasilania rozdzielnic wynosi 80 kA. Moc czynna pobierana przez sekcje A i B rozdzielnic w normalnym układzie pracy zawiera się w przedziale od 4-5 MW.

6. Przegląd warunków dla bezprzerwowego załączenia zasilania automatem AZRS-2 w Enea Połaniec

6.1. Charakterystyka zmiany wartości $dU_{fi}(sz-R)$ od kąta rozchyłu napięć zasilających $d\varphi_i(sz-R)$

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i odczytów zmiany wartości $dU_{fi}(sz-R)$ i kąta rozchyłu napięć zasilających $d\varphi_i(sz-R)$ w automacie AZRS-2 można wyznaczyć charakterystykę zależności dU_{fi} od $d\varphi_i$, rys. 3. Z uwagi na ograniczoną techniczną możliwość regulacji kąta rozchyłu napięć zasilających $d\varphi_i(sz-R)$ otrzymana charakterystyka nie jest kompletna dla wszystkich wartości $dU_{fi}(sz-R)$.

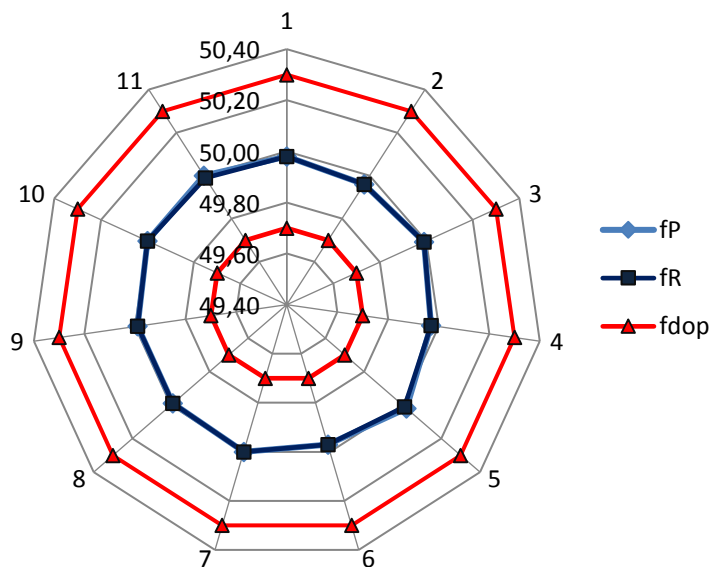
W szczególności powtarzalne wartości kątów rozchyłu napięć dla 7° i 8° pozwoliły na dokładne określenie zmiany wartości różnicy napięć. Pozostałe dane występowały nieregularnie i obrazują skrajne przypadki pracy układu elektrycznego w elektrowni, oraz przyelektrownianej stacji najwyższych napięć. Zasadniczy problem występuje gdy $dU_{fi} \geq 1,2$ kV ponieważ następuje brak warunków do przełączeń szybkich (synchronicznych).



Rys. 3. Charakterystyka zależności dU od dfi

6.2. Charakterystyki częstotliwości napięć na zasilaniu podstawowym fP i rezerwowym fR

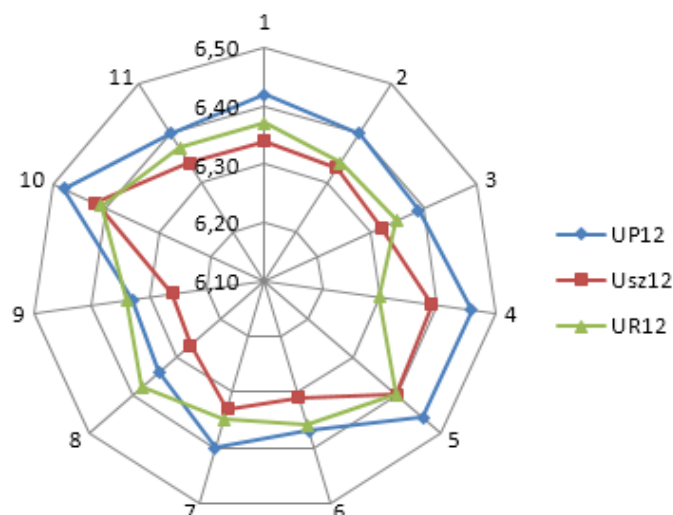
Częstotliwość napięć na zasilaniach podstawowym i rezerwowym w badanym układzie rozdzielni RO1AB nie ulega znacznym zmianom. Odchylenie robocze częstotliwości w analizowanym okresie wynosi $-0,04$ Hz i $+0,02$ Hz od znamionowej wartości $50,00$ Hz. Stabilny przebieg częstotliwości jest wynikiem bezpośredniego oddziaływania jednostek wytwórczych (bloków energetycznych w elektrowni) na parametry jakościowe napięcia w SEE. Na rys. 4 ukazano wartości ww. częstotliwości w przedziale dopuszczalnym $50 \pm 0,3$ Hz odczytane w automacie AZRS-2. Zobrazowane dane opisują okres dwóch miesięcy w tym dni robocze i świąteczne oraz godziny doby dzienne i nocne. Na podstawie otrzymanych wyników można przyjąć, że w normalnym układzie pracy SEE i elektrowni nie wystąpi problem braku warunków dla synchronicznego, bezprzerwowego załączenia zasilania z przyczyny przekroczenia wartości dopuszczalnej częstotliwość napięć na zasilaniach.



Rys. 4. Wartości częstotliwości na zasilaniach podstawowym i rezerwowym w przedziale dopuszczalnym $50 \pm 0,3$ Hz

6.3. Charakterystyki wartości napięcia na zasilaniu podstawowym UP12, rezerwowym UR12 i szynach rozdzielni Us12

Automat AZRS-2 wyposażono w dodatkowe człony pomiarowe kontrolujące aktualne międzyfazowe L1-L2 wartości napięć w torach zasilających UP12, UR12 i na szynach rozdzielni Us12. W Enea Połaniec przyjęto $6,3$ kV jako normalną wartość roboczą dla wszystkich instalacji zasilających urządzenia odbiorcze 6 kV. Odchylenia poszczególnych ww. napięć w analizowanym okresie przedstawiono na rys. 5.

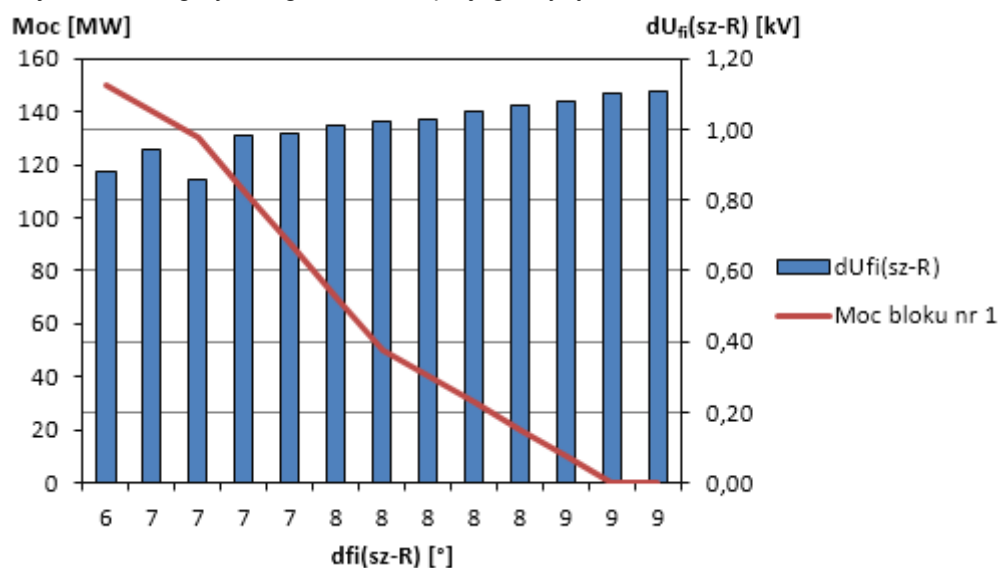


Rys. 5. Odchylenia napięć UP12, UR12 i Us12 w analizowanym okresie

Odchylenie napięć pomiędzy minimalną a maksymalną wartością odczytaną w automacie AZRS-2 wynosi ok. 0,28 kV w zakresie od 6,20 kV do 6,48 kV. Regulację napięć realizuje się automatycznie na bieżąco przełącznikami zaczeów transformatorów zasilania podstawowego TZO i rezerwowego TR.

6.4. Zmiana kąta $d\phi(\text{sz-R})$ i różnicy napięć $dU_{\text{fi}}(\text{sz-R})$ od zmiany wartości mocy bloku energetycznego nr 1

Bieżąca kontrola gotowości automatu AZRS-2 do realizacji synchronicznego, bezprzerwowego załączenia zasilania wykazała kilkakrotny „brak warunków do przełączeń szybkich”. Przegląd konfiguracji układów elektrycznych w elektrowni ujawnił, że ww. sytuacja występuje w szczególności gdy blok energetyczny nr 1 jest wyłączony. Na rys. 6 zilustrowano zmianę kąta $d\phi(\text{sz-R})$ i różnicy napięć $dU_{\text{fi}}(\text{sz-R})$ w czasie obniżenia mocy czynnej bloku energetycznego nr 1 oraz po jego wyłączeniu.



Rys. 6. Zmiana kąta $d\phi(\text{sz-R})$ i różnicy napięć $dU_{\text{fi}}(\text{sz-R})$ w czasie obniżenia mocy czynnej bloku energetycznego nr 1 oraz po jego wyłączeniu

W nawiązaniu do ogólnych informacji z punktu 2.2. i danych z rysunku można stwierdzić, że wyłączenie bloku energetycznego oraz ubytek ok. 160 MW w rozdzielni 110 kV powoduje wzrost kąta rozchyłu napięć na zasilaniu rozdzielni RO1AB o ok. trzy stopnie. W analizowanym przypadku nie nastąpił wzrost napięć $dU_{\text{fi}}(\text{sz-R})$ do wartości dopuszczalnej 1,2 kV. Porównanie czterech sytuacji w AZRS-2, w których nastąpił „brak warunków do przełączeń szybkich” przy wyłączonym bloku energetycznym nr 1 wskazuje, że jest to wynikiem przede wszystkim rozplływów mocy w systemach 110 kV, 220 kV oraz 400 kV w rozdzielni przebiegającej. Istotne znaczenie ma, także konfiguracja i wytwarzane moce bloków energetycznych w elektrowni.

7. Podsumowanie

W układach elektroenergetycznych zmieniają się moce wytwarzane, obciążenia w węzłach zasilających i pracujące jednostki wytwórcze, co wpływa na wartości modułów, argumentów napięć oraz różnicę częstotliwości. Wskutek braku możliwości powszechnej kontroli ww. parametrów w stacjach SEE nie można określić bieżącej profilaktyki regulacyjnej układu elektroenergetycznego. Temat jest trudny i wymaga podjęcia działań po stronie SEE. W opinii autora, możliwym rozwiązaniem byłoby ogólne zastosowanie układów kontrolujących wartości argumentów napięć i regulacja konfiguracji lub realizacja optymalizacji rozpliwów mocy w stacjach WN zgodnie z empirycznie lub matematycznie określonymi dopuszczalnymi warunkami załączania elementów sieci.

Na podstawie obserwacji układu elektroenergetycznego w przelektrownianej stacji w Połańcu i pracy urządzenia automatyki do synchronicznego, bezprzerwowego przełączania zasilania w Enea Połaniec przyjęto, że istnieją dwa istotne przypadki konfiguracji bloków energetycznych, w których „występują warunki do przełączeń szybkich” w automacie AZRS-2 w rozdzielni RO1AB:

- a) postój bloku energetycznego nr 9,
- b) bloki energetyczne nr 1 i 9 w ruchu.

W pozostałych układach pracy bloków energetycznych w elektrowni i niekorzystnych wartości obciążenia w węzłach stacji WN występuje „brak warunków do przełączeń szybkich” w automacie AZRS-2. Zdaniem służb Enea Połaniec należy rozważyć koncepcję zmiany nastaw w AZRS-2, tak aby zapewnić realizację trybu „przełączania szybkie” w ilości maksymalnej i jednocześnie chronić urządzenia w czasie łączenia przed uszkodzeniem lub zniszczeniem. Dalsza szczegółowa analiza zagadnienia powinna ocenić słuszność proponowanej zmiany nastaw z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania przedmiotowego układu elektrycznego w Enea Połaniec.

Literatura

- [1] Kacejko P., Machowski J., Miller P., Pijarski P., Kuczyński R.: Przywracanie zdolności przesyłowej sieci po ruchowym lub awaryjnym odstawieniu linii. Elektroenergetyka-Współczesność i rozwój, nr 3 (9), 2011, s. 25-45
- [2] Lis R.: Problemy z oceną i sposoby poprawy stabilności napięciowej sieci przesyłowej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013
- [3] Machowski J.: Regulacja i stabilność systemu elektroenergetycznego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007
- [4] Miller P.: Synchroniczne i asynchroniczne operacje łączeniowe w systemie elektroenergetycznym. Politechnika Lubelska, Lublin 2013
- [5] Sobierajski M., Rojewski W.: Probabilistyczna analiza synchronicznych łączy polskiej i niemieckiej sieci 110 kV. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 53 XVIII Konferencja Naukowa AKTUALNE PROBLEMY W ELEKTROENERGETYCE APE'17 Jastrzębia Góra, 7-9 czerwca 2017
- [6] Instrukcja użytkowania AUTOMATU PRZEŁĄCZANIA ZASILAŃ TYPU AZRS-2. Wersja „standard 2010”. ENERGOTEST, Gliwice 2016ENTSO-E Guidance document for national implementation for network codes on grid connection. Parameters of Non-exhaustive requirements - z dnia 16 listopada 2016 r.

