



Henryk Klein
OPA-LABOR SP. Z O.O.

Bezprzerwowe przełączanie zasilania w długim obwodzie obejmującym kilka poziomów napięć. Studium przypadku

Streszczenie: W artykule opisano rozwiązanie techniczno-ekonomicznego problemu bezprzerwowego przełączania zasilania w długim obwodzie z kilkoma poziomami napięć.

Uninterruptible swiching of power supplies in long circuit contains several levels of voltage. Case study

Summary: This paper describes enterprise of circuit contains voltages: 110 kV, 15 kV and 6 kV, three transformers and several cable lines, in which uninterruptible swiching of power supplies was deployed.

WSTĘP

W obecnych czasach projektanci urządzeń i instalacji elektroenergetycznych stają niejednokrotnie przed wyzwaniami zdeterminowanymi nie tylko zagadnieniami technicznymi i prawnymi, związanymi z dostarczeniem energii elektrycznej do sieci lub określonego węzła technologicznego odbiorcy, ale także z koniecznością znalezienia rozwiązania będącego odpowiedzią na założenia określonego długofalowego biznesplanu inwestycji planowanej przez Inwestora. Wymieniony w tytule układ bezprzerwowego przełączania zasilania w długim elektrycznym układzie, w którym konieczne było zaprojektowanie nietypowych układów regulacji jest właśnie przykładem takiego przypadku.

GAZ KOKSOWNICZY I CO Z NIM ZROBIĆ.

UWARUNKOWANIA I ZAŁOŻENIA PLANU BIZNESOWEGO

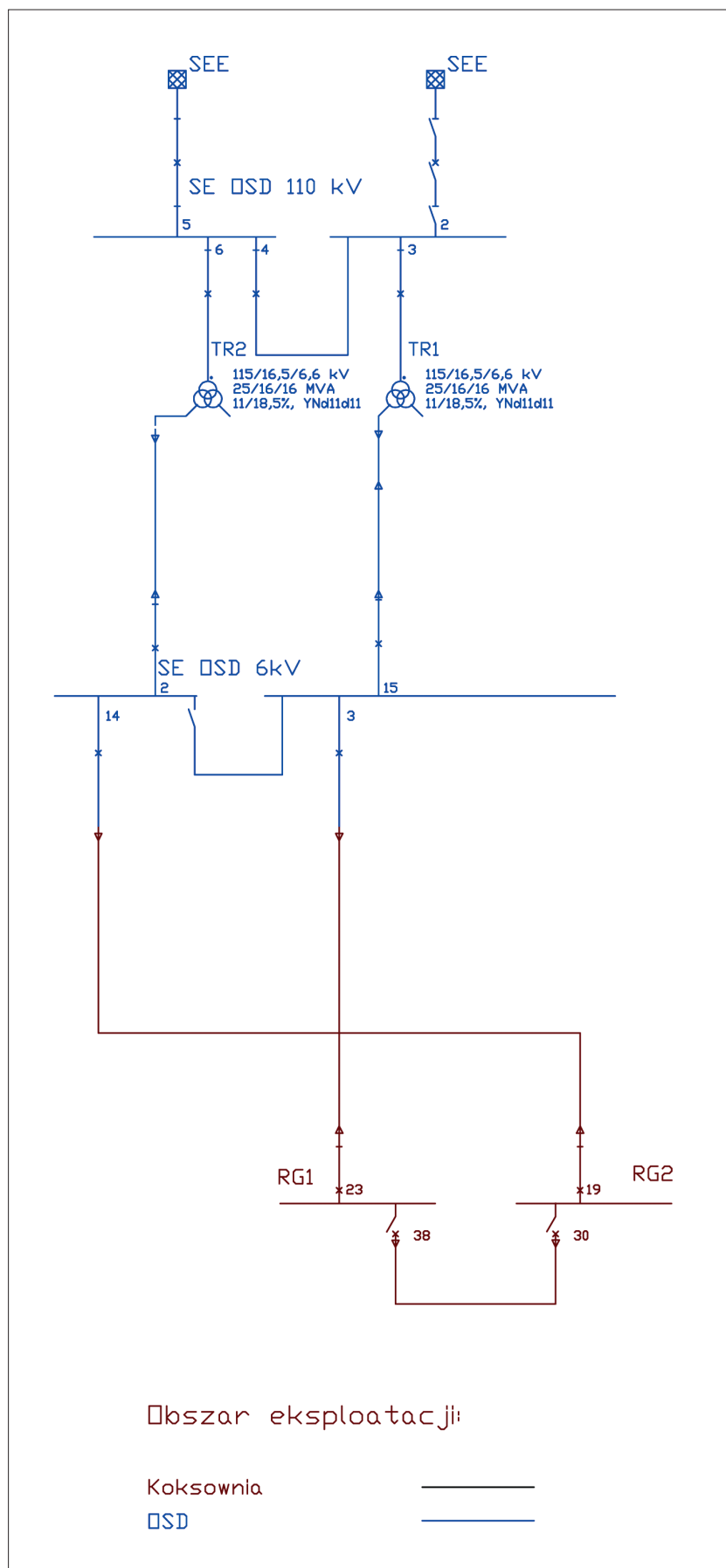
Gaz koksowniczy jest jednym z głównych produktów ubocznych powstającym w procesie koksowania węgla. W przypadku opisywanym w niniejszym artykule, w ramach opracowywania koncepcji rozwojowo-modernizacyjnych naszego Klienta (którego nazywać będziemy Koksownią) podjęto decyzję o budowie bloku energetycznego (zwanego dalej Blokiem), opalanego gazem koksowniczym. Energia produkowana przez Blok miałaby być sprzedawana do sieci Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) za pośrednictwem transformatora blokowego TB, a także zasilac sieć średniego napięcia (SN) Koksowni.

W momencie powstawania koncepcji, Koksownia zasilana była z sieci OSD napięciem 6 kV do dwóch głównych rozdzielni Koksowni w układzie prezentowanym na rysunku 1. Łączna moc zamówiona przez Koksownię wynosiła około 6 MW.

W wyniku przyjętej koncepcji, po analizie spodziewanej wydajności produkcji gazu koksowniczego zaprojektowano blok energetyczny, w skład którego wchodziły:

- generator synchroniczny G o parametrach: znamionowa moc pozorna $S_n = 37,5$ MVA, znamionowe napięcie $U_n = 15,0$ kV, znamionowy współczynnik mocy $\cos\phi_n = 0,8$;
- transformator blokowy TB o parametrach: znamionowa moc $S_{nTB} = 31,5$ MVA, znamionowe napięcie górne $U_{nG_TB} = 115,0$ kV, znamionowe napięcie dolne $U_{nD_TB} = 15,75$ kV, napięcie zwarcia $u_z = 11\%$, podobciążeniowa regulacja napięcia $\pm 10\% \pm 8\text{st}$, grupa połączeń YNd11;
- rozdzielnia 110 kV transformatora blokowego wraz z układem pomiaru rozliczeniowego energii oddanej i pobranej z sieci;
- rozdzielnie 15 kV bloku;
- linie kablowe, urządzenia i instalacje potrzeb własnych oraz System Sterowania i Nadzoru (SSiN) bloku.

Według projektu transformator blokowy TB miał zostać przyłączony do sekcji 2 rozdzielni 110 kV OSD, tej samej z której zasilany jest transformator TR2 zasilający Koksownię.



Rys. 1. Schemat zasilania zakładu – stan pierwotny

Aby umożliwić bezpośrednie zasilanie Koksowni z sieci SN Bloku konieczny był także dobór i zabudowa transformatora (transformatorów) w celu dopasowania napięcia sieci SN bloku (15 kV) do napięcia SN Koksowni (6 kV).

Niejako obok ustalania założeń technicznych budowy bloku rozwijała się koncepcja biznesowej realizacji przedsięwzięcia. Ostatecznie wybrano rozwiązanie, w którym produkcja energii w bloku energetycznym miała być prowadzona przez odrębną, powołaną do tego celu, samobilansującą się spółkę (Spółka Blok). I tutaj rozpoczyna się rozdział zagadnień technicznych wynikających z biznesplanu, które należało rozwiązać, aby tak określona koncepcja biznesowa była z jednej strony technicznie wykonalna, a z drugiej – akceptowalna zarówno dla Spółki Blok jak i dla Koksowni.

Skoro Spółka Blok miała być samobylan-
sująca, biznesplan zawierał analizę kosztów,
która obejmowała również koszty energii ku-
powanej na potrzeby bloku i koszty dystrybu-
cyjne. Potrzeby własne bloku energetycznego
oszacowano na 2 MW i taka też była zakładana
moc umowna poboru energii w punkcie przy-
łączenia Bloku (po stronie GN transformatora
blokowego TB). Zakładano ponadto, że do-
celowo energia produkowana w Bloku miała
stanowić podstawowe zasilanie Koksowni po-
przez bezpośrednie połączenie kablowe.

W tym miejscu powstał zasadniczy problem – sprzeczność w interesach Koksowni i Spółki Blok – ujawniający się w hipotetycznej sytuacji, w której to w sposób nagły – czy to ze względu na awarię w układzie elektrycznym generatora, czy też w układzie zasilania gazem koksowniczym – zajdzie konieczność odstawienia generatora. W tym przypadku koksownia pracująca z pełnym obciążeniem (zamówiona łączna moc elektryczna: 6 MW) zasilana od strony Bloku spowoduje przekroczenie mocy zamówionej przez Spółkę Blok (2,0 MW). Jako że moc zamówiona definiowana jest w umowach jako średnia moc 15-minutowa, przy zamówionym obciążeniu Koksowni, przekroczenie mocy zamówionej Spółki Blok przy zasilaniu Koksowni od strony Bloku i przy pewnym obciążeniu potrzeb własnych

Bloku nastąpiłoby w czasie poniżej 4 minut po odstawieniu generatora, co z kolei spowodowałoby naliczenie opłat przysługujących OSD za przekroczenie mocy umownej przez przyłączony podmiot. Optymalnym rozwiązaniem dla Spółki Blok po wypadnięciu byłoby jak najszybsze automatyczne wyłączenie odpływu do Koksowni. Rozwiązanie to jednak – z uwagi na czas w jakim wyłączenie to musiałoby nastąpić – wykluczało możliwość zmiany źródła zasilania w trybie ręcznym bez przerwy procesu technologicznego Koksowni, a zatem było dla Koksowni nieakceptowalne.

Aby wybrnąć z opisanego klinczu, podjęliśmy się opracowania koncepcji i zaprojektowania układu, w którym możliwe będzie automatyczne przełączenie zasilania sieci Koksowni z zasilania przez Blok na zasilanie z sieci OSD.

KONCEPCJA SAMOCZYNNEGO PLANOWEGO PRZEŁĄCZENIA ZASILAŃ (PPZ).

PROBLEMY DO ROZWIĄZANIA

Pierwszym i podstawowym warunkiem umożliwiającym bezprzerwowe przełączenie zasilania jest to, aby napięcia na końcach obu linii, które w czasie przełączenia zostaną ze sobą na krótką chwilę połączone, nadmiernie się od siebie nie różniły. Należało się zatem liczyć z tym, że przed samym przełączeniem konieczna będzie regulacja jednego z napięć tak, aby istniejącą różnicę zmniejszyć do poziomu dopuszczalnego. I tu pojawia się lista zagadnień wymagających rozstrzygnięcia.

DOCELOWY UKŁAD ZASILANIA KOKSOWNI

W stanie dotychczasowym Koksownia zasilana była dwoma liniami kablowymi z dwóch sekcji rozdzielni 6 kV SE OSD, z których każda zasilana jest z innego transformatora – do dwóch rozdzielni Koksowni: RG1 i RG2 (rys. 1).

Wybór rozwiązania polegającego na budowie dwóch torów zasilających każdą z tych rozdzielni z Bloku energetycznego oznaczałby konieczność budowy dwóch układów samoczynnego przełączania zasilania, na każdej rozdzielni odrębnie. Ponadto każda z nich musiałaby zostać przełączona z zasilania z Bloku na sieć zasilaną z innego transformatora 110/6 kV, a zatem należało się liczyć z tym, że na końcach obu nieobciążonych linii z rozdzielni 6 kV SE OSD mogą występować różne wartości napięć, zależne od bieżącego położenia przełącznika zaczepek transformatora zasilającego sieć i jego obciążenia innymi odbiorami. Powodowałoby to konieczność uzyskania możliwości zdalnej automatycznej regulacji napięcia każdym z tych – należących do OSD – transformatorów, co w praktyce było niemożliwe, a dostosowanie napięć w drodze uzgodnień ruchowych, ze względu na czas jego trwania, nie wchodziło w grę.

Wybrano zatem inne rozwiązanie: budowę w pobliżu trasy prowadzenia istniejących linii zasilających Koksownię nowej rozdzielni węzłowej 6 kV (RG3). Linie istniejące zostałyby przecięte i – od strony rozdzielni SE OSD – wprowadzone do pól zasilających rozdzielni RG3, zaś ich drugie końce przyłączone zostałyby do pól odpływowych tej rozdzielni. Do rozdzielni doprowadzona zostałaby także linia łącząca ją z Blokiem. Docelowy układ zasilania Koksowni zaprezentowano na rysunku 2.

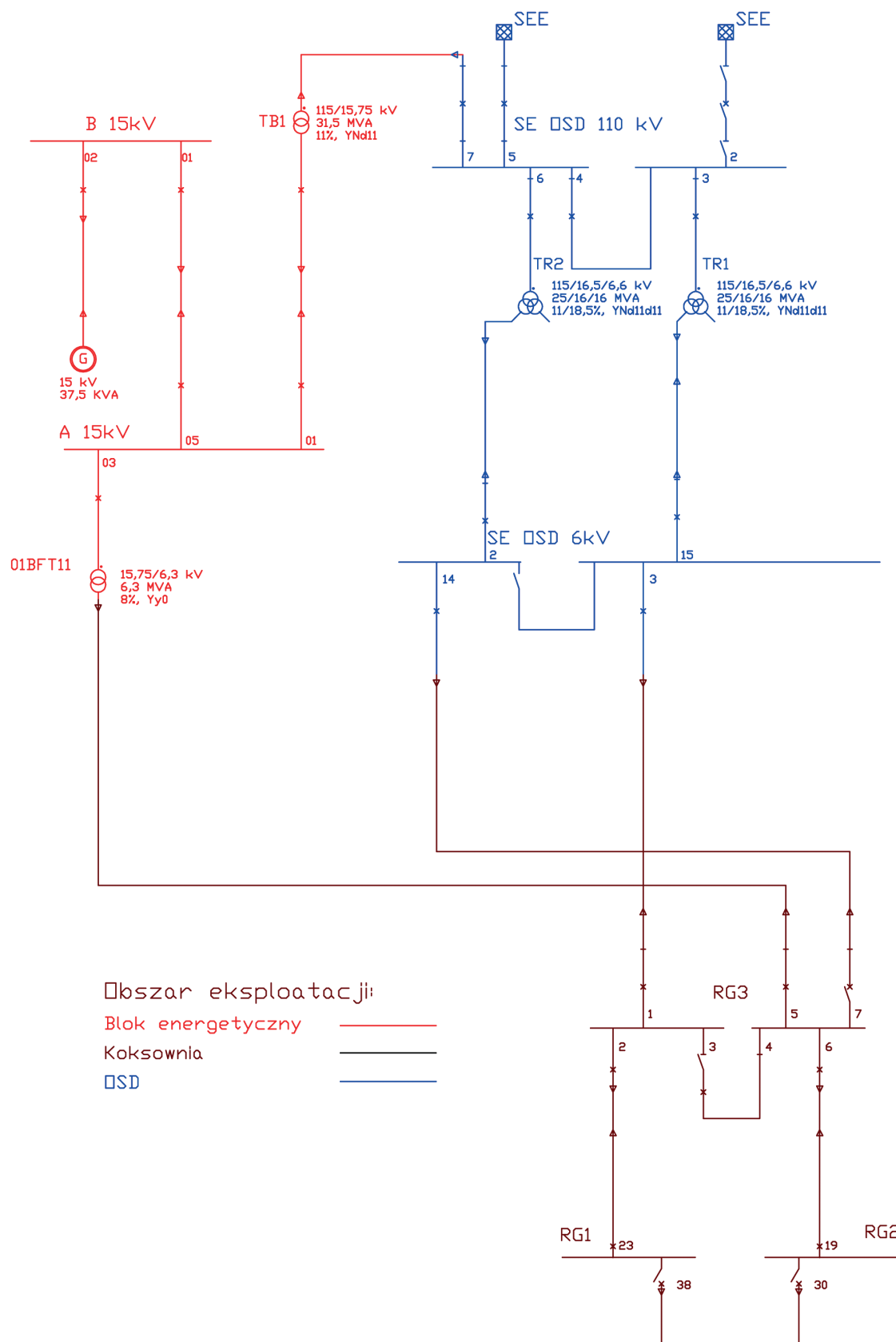
Rozdzielnia RG3 zaprojektowana została jako dwusekcyjna. Do jej sekcji 1 przyłączono linię zasilającą z sekcji rozdzielni 6 kV SE OSD zasilanej z transformatora 110/6 kV przyłączonego do sekcji 2 SE OSD 110 kV. Do sekcji 2 rozdzielni RG3 przyłączono linię zasilającą z sekcji rozdzielni 6 kV SE OSD zasilanej z transformatora 110/6 kV przyłączonego do sekcji 1 SE OSD 110 kV – tej samej, do której miał zostać przyłączony odpływ do transformatora blokowego TB. Do sekcji 2 rozdzielni RG3 przyłączono także linię prowadzącą do Bloku energetycznego.

Wewnętrzna sieć 6 kV Koksowni posiada połączenia pomiędzy rozdzielniami RG1 i RG2, umożliwiające zasilanie całej sieci z jednej z nich, a także – przy projektowanej zmianie zasilania – wydzielanie części sieci, która byłaby za pośrednictwem rozdzielni RG1 zasilana z SE OSD, podczas gdy pozostała część sieci Koksowni zasilana będzie z Bloku poprzez rozdzielnię RG2.

DOPASOWANIE NAPIĘĆ ZASILAJĄCYCH

Sieć 6 kV Koksowni zasilana jest poprzez należące do OSD transformatory Tr1 i Tr2 (stacja SE OSD) o parametrach: znamionowa moc $S_n = 25/16/16$ MVA, znamionowe napięcie górne $U_{nG} = 115,0$ kV, znamionowe napięcie dolne pierwsze $U_{nDI} = 16,5$ kV, znamionowe napięcie dolne drugie $U_{nDII} = 6,6$ kV, napięcie zwarcia w układzie GN-DNI/GN-DNII/DN₋DN2 $u_z = 11,29/18,08/6,20\%$, podobciążeniowa regulacja napięcia $\pm 16\% \pm 12st$, grupa połączeń YNd11d11.

Grupa połączeń tych transformatorów jest taka sama jak transformatora blokowego TB, a więc dostosowanie napięć bloku energetycznego Koksowni do napięcia strony dolnej transformatora TB wymagało zastosowania transformatora 15/6 kV o nie odwracającej grupie połączeń (Yy0 lub Dd0). Ponieważ zarówno sieć 6 kV Koksowni jak i 15 kV Bloku pracują w układzie z izolowanym punktem neutralnym, dobrano transformator o grupie połączeń Yy0 o parametrach: znamionowa moc $S_{nTB} = 6,3$ MVA, znamionowe napięcie górne 15,75 kV, znamionowe napięcie dolne $U_{nD_TB} = 6,3$ kV, napięcie zwarcia $u_z = 8\%$, bezobciążeniowa regulacja napięcia $\pm 2 \times 2,5\%$, grupa połączeń YNy0.



Rys. 2. Schemat zasilania zakładu – stan docelowy

PROBLEM WARTOŚCI NAPIĘĆ NA KOŃCACH PRZEŁĄCZANYCH LINII W CHWILI POPRZEDZAJĄCEJ PRZEŁĄCZENIE

Przełączenie bezprzerwowe – a więc chwilowe połączenie dwóch linii zasilających na wspólne szyny – musi się odbywać na napięciu 6 kV w rozdzielni RG3 Koksowni. Problem w tym, że z punktu widzenia regulatorów napięcia transformatorów TB i TR2, z których zasilane będą linie przewidziane do przełączenia – przełączenie to będzie dokonane „w głębi sieci” w miejscu, w którym napięcie nie będzie standardowo kontrolowane przez żaden z regulatorów napięcia transformatorów 110/SN.

Jak już wspomniano, dostęp projektowanej automatyki do regulatora napięcia transformatora należącego do OSD nie jest możliwy, pozostaje zatem regulator napięcia transformatora TB, regulujący na podstawie parametrów dolnej strony tego transformatora, czyli 15 kV – innego niż znamionowe napięcie, na którym ma się dokonać przełączenia (6 kV).

Sprawę dodatkowo komplikuje fakt, że w przypadku sieci 15 kV Bloku, na którą bezpośrednio pracuje generator, obecne są jednocześnie dwa regulatory napięcia: regulator generatora i regulator transformatora blokowego. Z uwagi na wzajemne zakłócanie swojej pracy oba nie mogą jednocześnie pracować w trybie automatycznym i przy pracującym generatorze, aktywnym regulatorem będzie jego regulator. Regulator transformatora musi w tym czasie być przełączony na sterowanie ręczne, a bieżący zaczepek transformatora dobrany zostanie ręcznie w oparciu o praktykę ruchową.

O ile w warunkach stabilnej pracy generatora można założyć, że jego regulator napięcia będzie utrzymywał na szynach rozdzielni 15 kV napięcie typowe dla głównych rozdzielni ($1,05U_n - 1,10U_n$), o tyle wypadnięcie obciążonego generatora (a w takich warunkach będzie musiał zadziałać układ PPZ) spowoduje gwałtowny spadek napięcia, którego głębokość zależy od stopnia obciążenia generatora i jego współczynnika mocy tuż przed przełączeniem. Czyni to w chwili rozpoczęcia procesu przełączania jedno z napięć, które mają być chwilowo połączone, mocno nieprzewidywalnym.

Problem ten wymagał znalezienia nietypowego rozwiązania.

REGULACJA NAPIĘCIA – ANALIZA I ROZWIĄZANIA

W celu oszacowania spodziewanych wartości spadku napięcia wywołanego odstawieniem generatora wykonano w sieci jak na rysunku 2 obliczenia rozptyłów prądów i poziomów napięć przy pracującym generatorze dla różnych wartości jego obciążenia i współczynnika mocy oraz przy odstawionym generatorze i tym samym położeniu przełącznika zaczepek transformatora TB. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry obciążenia generatora		Spadki napięć		
Po/Pn	$\cos\phi$	ΔU_{15} [kV]	ΔU_6 [kV]	δU [%]
0,5	0,8	0,789	0,316	5,26
	0,9	0,596	0,238	3,97
	0,995	0,193	0,077	1,29
1	0,8	1,631	0,652	10,87
	0,9	1,264	0,506	8,43
	0,995	0,480	0,192	3,20

Oznaczenia:

- ΔU_{15} – spadek napięcia wywołany wyłączeniem generatora na stronie GN transformatora 01BFT11
- ΔU_6 – spadek napięcia wywołany wyłączeniem generatora na stronie DN transformatora 01BFT11
- δU – procentowy spadek napięci jw. (odniesiony do napięcia znamionowego sieci)

Obliczenia wykazały, że spadek napięcia wywołany nagłym odstawieniem generatora, w zależności od parametrów jego pracy w chwili poprzedzającej wyłączenie, będzie zawierał się od kilku do prawie 11%.

Następnie oszacowano wartości prądu jaki – w zależności od różnicy napięć na końcach łączonych linii – popłynąłby w chwili przełączania. Obliczenia wykonano dla przypadku braku obciążenia rozdzielni RG3 i dla jej obciążenia trzema silnikami o mocy 740 kW każdy (typowe urządzenia Koksowni) i dodatkowo mocą 1 MVA, $\cos\phi = 0,8$. Wyniki tych obliczeń dodatkowo zestawiono ze znamionowym prądem strony 6 kV transformatorów TR2 oraz 01BFT11. Przyjęto, że prąd obliczany jest przy założeniu, że jedno z napięć przełączanych linii wynosi – przed przełączeniem – 6,3 kV, zaś drugie różni się o wartość wynikającą z kolumny „Zaczepek TR”. Wyniki obliczeń przedstawia tabela 2.

Uznano, że aby uniknąć nadmiernych udarów prądowych w czasie przełączenia konieczna jest możliwość sprowadzenia różnicy napięć przed przełączeniem do wartości zadanej. Pozostało znaleźć rozwiązanie dla takiego zadania.

Ponieważ dostępny do regulacji regulator napięcia transformatora TB miał regulować do innego napięcia sieci niż napięcie w miejscu przełączania, a ponadto – przy pracy generatora – pozostawał w trybie sterowania ręcznego, konieczne było znalezienie bardzo nietypowego regulatora. Musiał on spełniać następujące dodatkowe wymagania:

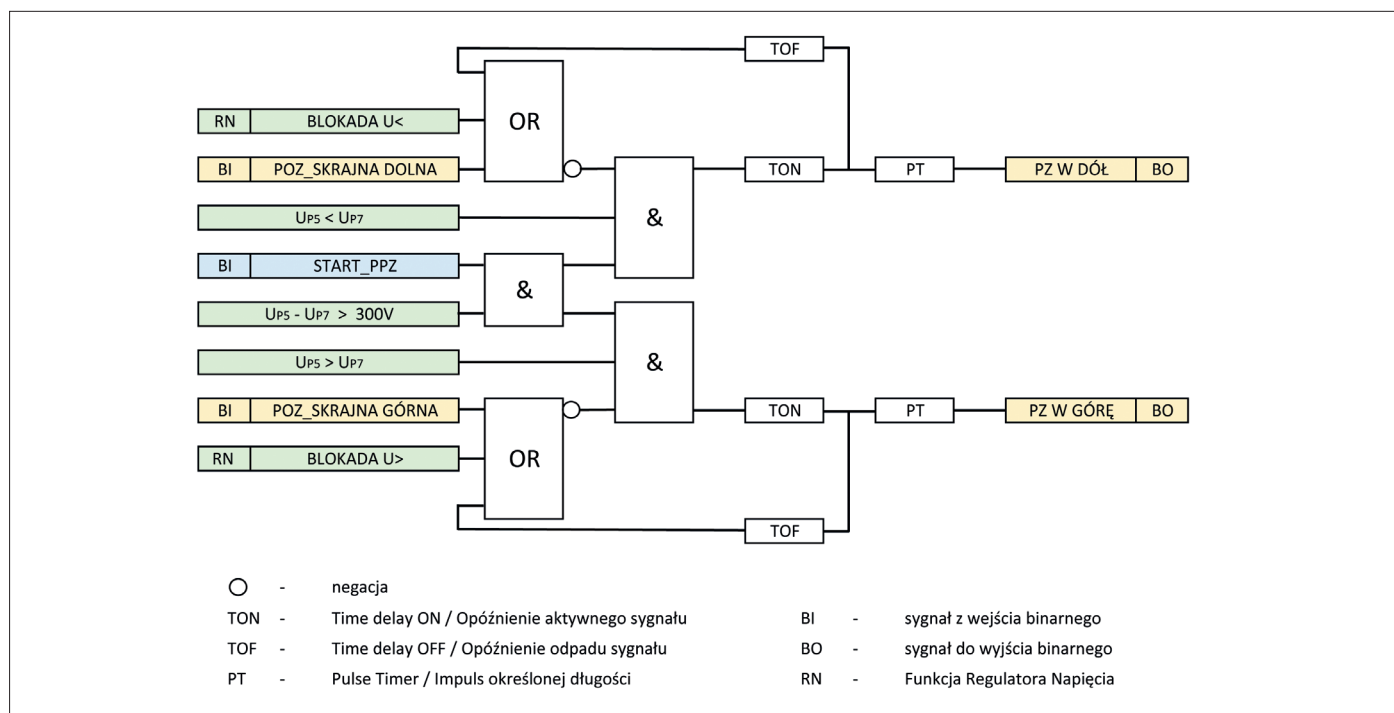
- musiał być – oprócz wejść pomiarowych napięciowych zasilonych napięciem, które było regulowane w warunkach pracy normalnej, czyli kontrolujących napięcie szyn rozdzielni 15 kV – wyposażony w dwa dodatkowe wejścia pomiaru napięcia, do których przyłączone byłyby napięcia z końców kabli, które miały podlegać przełączeniu (pola nr 5 i 7 rozdzielni RG3);

Tabela 2

Zaczepek TR	Fazowe napięcie różnicowe	Brak obciążenia			Z obciążeniem		
		$I_{0,6,01BFT}$	%In TR	%In 01BFT	$I_{0,6,01BFT}$	%In TR	%In 01BFT
%	V	A	%	%	A	%	%
-10	-519,62	971,55	69,41	168,28	838,54	59,91	145,24
-7,5	-433,01	809,62	57,85	140,23	682,75	48,78	118,26
-5	-346,41	647,70	46,28	112,18	530,65	37,91	91,91
-2,5	-259,81	485,77	34,71	84,14	386,62	27,62	66,96
0	-173,21	323,85	23,14	56,09	264,19	18,88	45,76
2,5	-86,60	161,92	11,57	28,05	206,29	14,74	35,73
5	0,00	0,00	0,00	0,00	260,30	18,60	45,09
7,5	86,60	161,92	11,57	28,05	381,31	27,24	66,04
10	173,21	323,85	23,14	56,09	524,86	37,50	90,91

Oznaczenia:

- $I_{0,6,01BFT}$ – prąd płynący w zamkniętym w czasie przełączania obwodzie, równy prądowi strony 6 kV transformatora 01BFT11
- %In TR – prąd jw. w stosunku do znamionowego prądu strony 6 kV transformatora TR2
- %In 01BFT – prąd jw. w stosunku do znamionowego prądu strony 6 kV transformatora 01BFT11



Rys. 3. Schemat logiczny działania regulatora napięcia

- po otrzymaniu zewnętrznego sygnału o rozpoczęciu procesu przełączenia – z dowolnego trybu pracy, w którym się znajdował (regulacja automatyczna lub ręczna) – powinien przejść do specjalnego trybu automatycznego sterowania przełącznikiem zaczepek transformatora TB w algorytmie zminimalizowania różnicy napięć mierzonych w polach 5 i 7 RG3, przy jednoczesnej kontroli granicznych wartości napięcia na szynach 15 kV bezpośrednio zasilanych z transformatora TB;
- na sygnał o dokonaniu przełączenia powinien samoczynnie wrócić do stanu pierwotnego.

Okazało się, że popularne na rynku regulatory napięć najczęściej wybieranych producentów nie są w stanie spełnić tych wymagań. Pozytywną odpowiedź otrzymaliśmy od firmy ABB, która zadeklarowała możliwość dostarczenia takiego regulatora jako odrębnego bloku programowego sterownika polowego RET670, który jednocześnie mógłby pełnić funkcję zabezpieczenia różnicowoprądowego transformatora TB. Rozwiązanie to zostało wybrane do realizacji. Schemat logiczny działania regulatora przedstawiono na rysunku 3.

OPIS ZAPROJEKTOWANEGO UKŁADU

PRZEŁĄCZANIA ZASILAŃ

Do realizacji przełączania zasilania, w rozdzielni RG3 przewidziano sterownik MiCOM C434. Wybór został podyktowany unifikacją stosowanych w Koksowni rozwiązań, jako że sterowniki z rodziny MiCOM zostały wybrane jako podstawowy standard już wcześniej podczas modernizacji istniejących rozdzielni SN.

Zadaniem funkcji PPZ sterownika po otrzymaniu sygnału „start procedury” jest:

- kontrola fizycznych warunków dopuszczalności przełączenia synchronicznego zdefiniowanych jako maksymalna dopuszczalna różnica modułów i przesunięcia kąтового oraz częstotliwości napięć w polach przewidzianych do przełączenia,
- kontrola położenia łączników i gotowości do przełączenia pól rozdzielczych przewidzianych do przełączenia,
- kontrola dodatkowych logicznych sygnałów dopuszczalności przełączenia,
- po spełnieniu wyżej wymienionych warunków – załączenie pola docelowego zasilania, a następnie wyłączenie pola dotychczasowego zasilania.

Według założeń, procedura PPZ powinna dokonać samoczynnego przełączenia zasilania rozdzielni RG3 z pola 5 (Blok) na pole 7 (SE OSD) w sytuacji wyłączenia generatora bloku. Powinna także umożliwiać przełączenie odwrotne – nadal przy wyłączonym, lecz będącym na obrotach i przygotowanym do natychmiastowej synchronizacji generatorze – na sygnał obsługi Bloku. Ponadto, biorąc pod uwagę konfigurację rozdzielni RG3 – logika procedury musi zapobiegać połączeniu pola 5 z drugim dopływem z SE OSD, czyli polem nr 1 RG3. Wreszcie, zarówno ze względu na bezpieczeństwo osób i procesów, ale także z uwagi na to, że rozdzielnia RG3 i Blok eksploatowane miały być przez różne podmioty, dopuszczenie do przełączenia w dowolnym kierunku musi być uzależnione od jednoznacznej zgody personelu obu podmiotów. Zgoda ta realizowana jest poprzez dwa przełączniki trójpozycyjne, zabudowane w rozdzielni RG3 (P_PPZ) i nastawni generatora (G_PPZ).

W celu realizacji wymienionych ograniczeń, do schematu logicznego uprawniającym działanie procedury PPZ wprowadzono do sterownika procedury (MiCOM CH434, oznaczenie „APPZ”) następujące sygnały:

- P_PPZ_0 – odstawienie APPZ,
- P_PPZ_5-7 – uprawnienie APPZ do dokonania przełączenia zasilania z pola 5 na pole 7 (Blok – SE OSD),
- P_PPZ_7-5 – uprawnienie APPZ do dokonania przełączenia zasilania z pola 7 na pole 5 (SE OSD – Blok),
- G_PPZ_0 – brak zgody na wykonanie PPZ,

- G_PPZ_5-7 – uprawnienie wykonania przełączenia zasilania z pola 5 na pole 7 (Blok – SE OSD),
- G_PPZ_7-5 – uprawnienie wykonania przełączenia zasilania z pola 7 na pole 5 (SE OSD – Blok),
- WG0 – generator odstawiony,
- RG3_P1_O – pole nr 1 rozdzielni RG3 otwarte,
- RG3_P3_4_O – pola sprężelowe nr 3 lub 4 rozdzielni RG3 otwarte,
- RG3_P5_O – pole nr 5 rozdzielni RG3 otwarte,
- RG3_P5_Z – pole nr 5 rozdzielni RG3 zamknięte,
- RG3_P7_O – pole nr 7 rozdzielni RG3 otwarte,
- RG3_P7_Z – pole nr 7 rozdzielni RG3 zamknięte.

Spełnienie wszystkich logicznych warunków przełączenia zasilania w określonym kierunku powoduje wygenerowanie stanu „start PPZ”:

- start procedury PPZ w sterowniku (kontrola napięć mierzonych przez sterownik połowy APPZ w polach nr 5 i 7 RG3),
- wysłanie sygnału logicznego powodującego przejście regulatora napięcia transformatora TB w specjalny tryb „Przełączenie”.

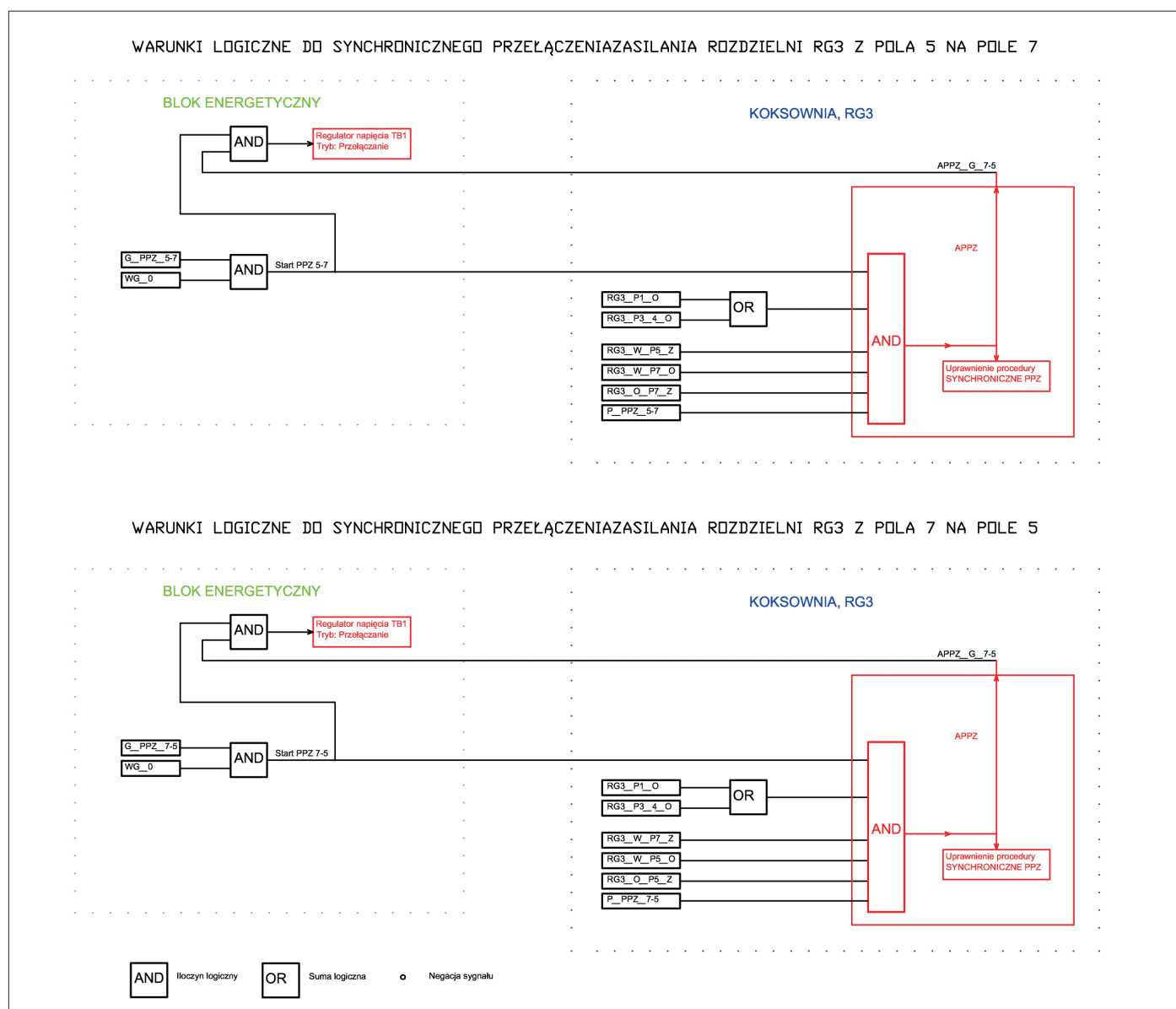
Dokonanie przełączenia zmienia warunki na wejściu schematu logicznego przełączenia w określonym kierunku, tym samym znosząc stan „start PPZ”, powrót regulatora napięcia transformatora TB do stanu pierwotnego i przejście APPZ do stanu oczekiwania na kolejny stan „start PPZ”.

Schematy logiczne prezentujące logikę przełączeń w obu kierunkach ilustruje rysunek 4.

Stopień złożoności realizacji projektowanego zamierzenia, uwzględniając obecność w przełączanej pętli trzech transformatorów oraz konieczność „wcinania” się w istniejące linie złożone z wielu kabli, a także złożone warunki logiczne pracy układu PPZ powodowały, że możliwość popełnienia pomyłki w czasie realizacji zadania wydawała się znaczna. Ryzykowne byłyby zwłaszcza pomyłki w zakresie jednoznacznej identyfikacji jednoimiennych faz w obu torach zasilających rozdzielnię RG3, a prawdopodobieństwo popełnienia błędu wynikało wprost z liczby i różnorodności elementów (transformatory, nowo budowane i przecinane istniejące linie kablowe, pola rozdzielcze), które w procesie wykonawczym będą ze sobą łączone w tory zasilające. Z uwagi na to opracowano i dołączono do projektu szczegółowy zakres prób i badań odbiorczych (wraz z zalecanymi metodami ich wykonania) jakie powinny być przeprowadzone przed wykonaniem ostatecznych prób funkcjonalnych.

PODSUMOWANIE

Praktyka codzienna wykazuje, że w procesie projektowania i realizacji przedsięwzięć elektroenergetycznych zdarza się, że największe problemy sprawiają wymagania wynikające



Rys. 4. Schematy logiczne prezentujące logikę przełączeń w obu kierunkach

nie tyle z samego charakteru i parametrów projektowanych obiektów, a z modelu biznesowego ich przyszłego funkcjonowania. Przykładem tego jest opisany przypadek, w którym ten właśnie model wymusił opracowanie układu samoczynnego przełączania zasilania w długiej, wielonapięciowej pętli. Zapewnienie bezpieczeństwa technologicznego wraz z jednoczesnym spełnieniem interesów różnych podmiotów, które miały uczestniczyć w eksploatacji zakończonej inwestycji, spowodowało konieczność zastosowania dość nietypowych i złożonych rozwiązań.

Opisany układ został zrealizowany, przeszedł pomyślnie próby i testy ruchowe, i został oddany do eksploatacji jesienią 2021 r. Jak się wydaje, stanowi on ciekawy przykład zarówno jako rozwiązanie techniczne, jak i przyczynę jego opracowania.

LITERATURA

- [1] PN-EN 60076-5:2006 *Transformatory – Część 5: Wytrzymałość zwarcia.*
- [2] PN-EN 60076-5:2015 *Transformatory – Część 11: Transformatory suche.*
- [3] „Taryfa dla energii elektrycznej w zakresie dystrybucji energii elektrycznej Tauron Dystrybucja S.A. na rok 2022”. Tauron S.A., Kraków 2022.
- [4] „Transformer protection RET670. Application manual”, 1MRK504089-UEN C. ABB.
- [5] „Relion® seria 670. Zabezpieczenie transformatora RET670. Wersja 2.2 IEC. Instrukcja techniczna” 1MRK 504 164-UPL, wydanie: czerwiec 2018, nowelizacja: E, wersja produktowa: 2.2. ABB.
- [6] „Easergy MiCOM C434. Jednostka polowa dla sterowania i SZR. C434/PL M/R-11-B. Wersja C434-306-407/408/409-650. Instrukcja techniczna.” Schneider Electric.