

Możliwości zastosowania nadprzewodnikowego zasobnika energii do poprawy niezawodności pracy sieci rozdzielczej SN w spółkach dystrybucyjnych

JEL: P48 DOI: 10.24136/atest.2019.146

Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

Celem niniejszej pracy, jest analiza zastosowania nadprzewodnikowego zasobnika energii w rozłącznikach sterowanych radiowo. Dla uzyskania poprawy podawanego przez operatorów dystrybucyjnych elektroenergetycznych (OSD) wskaźnika dotyczącego czasu trwania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej SAIDI (System Average Interruption Duration Index). Temat jest na tyle ważny dla polskiej gospodarki, że można traktować go jako problem społeczny, który nie tylko może obniżać jakość życia, ale także możliwości rozwoju gospodarczego małych miejscowości, gdzie przerwy w dostawach prądu są znacznie dłuższe niż w miastach. Jednakże, jednocześnie prowadzone działania inwestycyjne mające na celu poprawę jakości dystrybucji energii elektrycznej w Polsce stanowią bardzo dużą szansę na rozwój nowych innowacyjnych technologii. W artykule przedstawiono nie tylko aspekty związane z automatyzacją sieci średniego napięcia, ale także ze względu na swoje możliwości techniczno-ekonomiczne nowoczesne urządzenia. Kluczem w artykule jest efektywne rozwiązanie problemu niezawodności w Polsce oraz przedstawienie zastosowania zasobnika energii w rozłącznikach radiowych w celu poprawy niezawodności ich pracy.

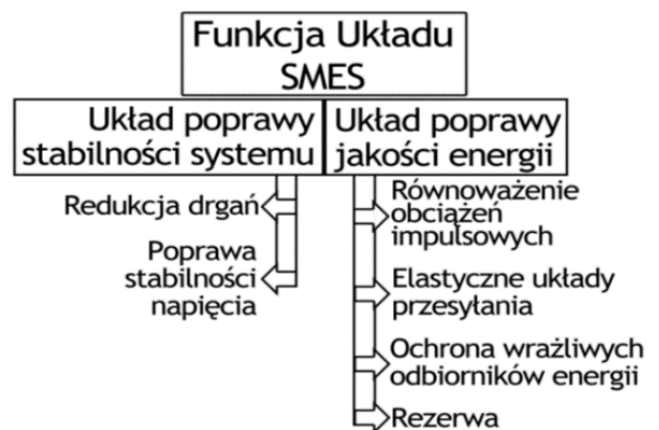
Słowa kluczowe: SAIDI, rozłącznik 15 kV, linia SN, niezawodność, spółka dystrybucyjna, nadprzewodnikowy zasobnik energii.

Wstęp

Pomysł gromadzenia energii elektrycznej w polu magnetycznym cewki powstał ponad 100 lat temu, natomiast wykorzystanie materiałów nadprzewodnikowych do tego rodzaju urządzeń zaproponowane zostało dopiero w 1960 roku. Obecnie coraz większą uwagę przywiązuje się do zastosowań nadprzewodników.

Magazynowanie energii przez elektromagnes nadprzewodnikowe jest uważane z technicznego punktu widzenia za rozwiązanie optymalne do zastosowania w sieciach elektroenergetycznych. Układy SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) poprawiają jakość energii elektrycznej w instalacjach, w których przerwa w dostawie energii mogłaby spowodować kosztowny i długotrwały przestój urządzeń lub linii produkcyjnych. Magazyny SMES charakteryzują się tym, iż gromadzą energię w polu magnetycznym poprzez przepływ prądu stałego (DC) przez uzwojenie nadprzewodnikowe. Elektromagnes nadprzewodnikowe pozwalają zatem na wytwarzanie silnego pola magnetycznego w dużych przestrzeniach, a więc umożliwiają gromadzenie znacznej energii w ich polu magnetycznym. Niezawodność sięgająca ponad 95%, brak strat, szybki czas rozładowania oraz reakcji, wysoka jakość dostarczanej energii ma istotne znaczenie dla przemysłu. Wymienione okoliczności i najnowsze osiągnięcia technologiczne, stawiają wyzwania dla spółek dystrybucyjnych i są wymagające. Sektory transportu i energii odgrywają kluczową rolę w radzeniu sobie z globalną zmianą klimatu, zachęca-

jąc do korzystania z odnawialnych źródeł energii i energetyki rozproszonej. Tak więc generowanie rozproszone musi zostać zintegrowane z systemem dystrybucji, by wykorzystać jego pozytywne efekty i zminimalizować negatywne skutki energetyki stałej wbudowanego wytwarzania. Globalne ocieplenie może również wpłynąć na jakość energii, powodując więcej burz i powodzi. Według klientów jednym z najważniejszych zadań dla firm dystrybucyjnych jest poprawa jakości dystrybucji energii elektrycznej w dzisiejszym społeczeństwie cyfrowym. Ta praca daje opłacalne strategie inwestycyjne, jak poprawić jakość energii i rentowność dystrybucji energii elektrycznej w Polskich systemach dystrybucji średniego napięcia (SN). Dystrybutorzy energii w Polsce zobowiązani są do utrzymywania standardów UE, a co za tym idzie zwiększania poprawy niezawodności pracy systemów elektroenergetycznych. Poprawę wskaźników niezawodności w największym stopniu uzyskujemy po przez modernizację urządzeń przesyłowych i technologii. Wyjściem z tej sytuacji jest wykorzystanie środków finansowych na rozbudowę i modernizację urządzeń, w najbardziej ekonomiczny sposób. Wykorzystując zoptymalizowane wkłady uzyskamy maksymalną korzyść niezawodności dystrybucyjnej. I dla tego tak ważne jest utrzymanie wysokiej niezawodności linii SN a co za tym idzie jego strategicznych punktów. Jakimi są odłączniki i rozłączniki w liniach SN. Są to strategiczne punkty w systemie rozdzielczym i ich niezawodność jest bezwzględna w chwili wystąpienia zakłócenia w pracy sieci SN.



Rys. 1. Funkcja układu SMES [3]

1. Bezpieczeństwo a niezawodność – systematyka pojęć

1.1. Bezpieczeństwo

Bezpieczeństwo energetyczne wg Prawa Energetycznego określa stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywnego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska. W ujęciu społeczno-ekonomicznym jest to system prawno-ekonomiczny, który wymusza: pewność dostaw, konkurencyjność, spełnienie wymogów ochrony środowiska. Na bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej składa się: stan pracy sieci

elektroenergetycznej, nieprzerwana praca SEE, spełnienie wymagań w zakresie jakości parametrów i standardów obsługi (dopuszczalne przerwy w dostawach w możliwych do przewidzenia warunkach pracy tej sieci), równoważenie dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię - zaspokojenie możliwego do przewidzenia bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania na energię elektryczną i moc, bez konieczności wprowadzenia ograniczeń w jej dostarczaniu i poborze.

1.2. Niezawodność

Zagadnienie niezawodności możemy podzielić na niezawodność obiektu lub systemu elektroenergetycznego (SEE) a zatem: niezawodność jako pewna cecha obiektu czyli jego zdolność do pełnienia przewidzianych dla niego funkcji i prawidłowego funkcjonowania w określonym czasie (często utożsamiana z prawdopodobieństwem) i niezawodność systemu elektroenergetycznego (SEE) jako zdolność SEE do zapewnienia zasilania odbiorców energią elektryczną o odpowiedniej jakości. Niezawodność może być mierzona przez częstość, czas trwania i poziom niekorzystnych zjawisk. Istnieją ponadto dwa aspekty niezawodności złożonego SEE: zdolność (wystarczalność) systemu do pokrycia zagregowanego zapotrzebowania na moc i energię elektryczną bez przekroczenia dopuszczalnych obciążeń oraz poziomów napięć, biorąc pod uwagę planowane i nieplanowane postoje elementów. Niezawodność operacyjna (bezpieczeństwo) – zdolność systemu do zachowania integralności i przeciwstawiania się nagłym zakłóceniom wraz z ograniczeniami operacyjnymi. Podstawowe wymagania stawiane systemowi dystrybucyjnemu to: wysoka jakość energii, niezawodność zasilania odbiorców, niskie koszty eksploatacji oraz bezpieczeństwo pracy obsługi i użytkowników. Dla systemu dystrybucyjnego obliczanymi wskaźnikami niezawodności: Do najczęściej stosowanych wskaźników oceny ciągłości dostaw energii elektrycznej, dotyczących liczby wyłączeń odbiorców w ciągu roku należą: CI (Customer Interruption) - liczba przerw w roku w przeliczeniu na odbiorcę lub odpowiednik, liczony jako stosunek liczby wyłączeń odbiorców w ciągu roku do liczby tych odbiorców; SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) - systemowy wskaźnik średniej liczby przerw na odbiorcę, zdefiniowany jako iloraz liczby wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku i liczby odbiorców przyłączonych do sieci. Wskaźnik ten określa liczbę nieplanowanych przerw w zasilaniu, jakiej może oczekiwać odbiorca w ciągu roku. Jeżeli nie ustalono inaczej, SAIFI nie obejmuje krótkich przerw o czasie trwania mniej niż 3 minuty. SAIDI (System Average Interruption Duration Index) - systemowy wskaźnik średniego (przeciętnego) rocznego czasu trwania przerw, wyznaczony jako roczna suma czasu trwania wszystkich przerw (w minutach), podzielona przez całkowitą liczbę odbiorców przyłączonych do sieci. Wskaźnik ten określa całkowity czas trwania przerw w zasilaniu w energię elektryczną (w minutach), jakiego może się spodziewać odbiorca w ciągu roku. Kolejne wskaźniki niezawodnościowe wg IEEE (Standard Definition for Reliability Statistics) to:

- CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index) średnia liczba przerw na dotkniętego wyłączeniem odbiorcę, zdefiniowana jako iloraz liczby wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku do liczby wyłączonych odbiorców; CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) - średni czas trwania przerw. Jest to średni czas potrzebny do przywrócenia zasilania odbiorcy w przypadku wystąpienia przerw nieplanowanych. Obliczany jest jako suma czasu trwania wszystkich przerw w zasilaniu odbiorców (w minutach), podzielona przez liczbę wszystkich wyłączeń odbiorców. Jeżeli nie ustalono inaczej, CAIDI nie obejmuje krótkich przerw o czasie trwania mniej niż 3 minuty;

- ASAI (Average Service Availability Index) – wskaźnik dyspozycyjności zasilania, określony jako stosunek czasu w ciągu roku (w odbiorco godzinach), gdy zasilanie było dostępne, do czasu gdy było na nie zapotrzebowanie;
- ASUI (Average Service Unavailability Index) – wskaźnik niedyspozycyjności zasilania, określony jako stosunek czasu w ciągu roku (w odbiorco godzinach), gdy zasilanie było niedostępne, do czasu gdy było na nie zapotrzebowanie;
- AENS (Average Energy Not Supplied) – średnia (oczekiwana) roczna ilość energii niedostarczonej na odbiorcę, określona jako stosunek energii niedostarczonej odbiorcom w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci;
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) - wskaźnik średniej liczby przerw chwilowych dla odbiorcy, ustalony jako średnia w ciągu roku liczba krótkich przerw w zasilaniu o czasie trwania krótszym niż 3 minuty, jakiej może spodziewać się odbiorca. Jest obliczany jako stosunek liczby wszystkich przerw krótkich w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci.

1.3. Niezawodność sieci SN

Sieci średnich napięć mają największy wpływ na niezawodność w dystrybucji energii elektrycznej, ponieważ to w nich występuje ponad 80% awarii, które mają strategiczny wpływ na dostarczenie energii do klienta. Wyzwaniem dla sieci SN jest to, że zwykle jest bardzo duża ilość linii która może wynosić nawet ponad 100 km. Dlatego poprawa niezawodności dystrybucji w tych obszarach stanowi poważne wyzwanie, ponieważ instalacja kabli pod ziemią jest zbyt kosztowna. Automatyzacja sieci stanowi dobrą okazję do ograniczenia skutków awarii. Wskaźniki niezawodności SAIFI, SAIDI i chwilowego średniego wskaźnika zakłóceń (MAIFI) są tradycyjnie wykorzystywane do dostarczania informacji statystycznych w celu oceny stanu sieci dystrybucji i zapotrzebowania na nowe inwestycje. Są to standardowe wskaźniki wykorzystywane przez przemysł elektroenergetyczny i zapewniają jednolitą metodologię gromadzenia i analizy danych. Wskaźniki odgrywały również kluczową rolę w wycenie opcji inwestycyjnych, co może nie być wykonalne w obecnym środowisku operacyjnym, ponieważ wycena przerw nie jest uwzględniana w przepisach gospodarczych. Dlatego przerwy mają realny wpływ na dozwolony zysk, a poziom kosztów przestoju jest ważnym wskaźnikiem wiarygodności i istotnym czynnikiem w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Tradycyjne wskaźniki niezawodności SAIFI i SAIDI zawierają informacje o liczbie i czasie trwania usterek, które stanowią podstawę kosztów przestoju. Sieci dystrybucyjne SN stanowią szkielet systemów dystrybucji energii i dlatego słusznie dąży się do poprawy wydajności. Automatyzacja dystrybucji zapewnia możliwość zwiększenia wydajności linii w przypadku awarii poprzez automatyczne przywrócenie zasilania, po ustaleniu i odłączeniu uszkodzonego odcinka linii, możliwie jest przywrócenie zasilania jak największej liczbie klientów, po przez izolowanie uszkodzonego odcinka linii lub kabla. Strategiczną rolę w liniach SN odgrywają odłączniki rozłączniki oraz re-klozery. Wrażliwym elementem ich mechanizmu jest zasilanie napędów, podczas braku napięcia zasilającego. W rozwiązaniach wspólnych zastosowano w tym celu zasobniki energii elektrycznej w postaci akumulatorów żelowych i kwasowych. Niestety takie rozwiązania nie spełniają oczekiwań dla niezawodności pracy samych odłączników. Warunki w których pracują (ujemne temperatury) ograniczają sprawność samych akumulatorów. Efektem tego jest brak możliwości zdalnej współpracy z systemem podczas wystąpienia awarii.



Rys. 2. Podstacja rozdzielcza z izolowanymi rozłącznikami słupowymi SF6 sterowana zdalnie

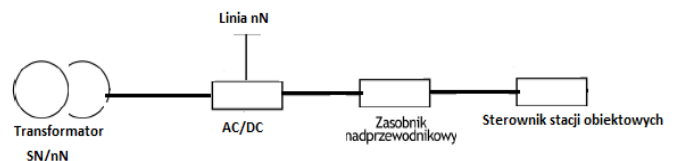
2. Nadprzewodnikowy zasobnik energii w rozłącznikach sterowanych radiowo, a niezawodność linii SN

Słupy z rozłącznikiem sterowanym radiowo dla linii napowietrznych SN są stworzone w celu współpracy z eksploatowanymi w Zakładach Energetycznych systemami wspomaganie pracy dyspozytora np.: WindEx lub SYNDIS. Systemy te są zintegrowanymi systemami czasu rzeczywistego, wspomagającymi służby energetyki. Pracują w konfiguracji serwer - terminal z wykorzystaniem sieci komputerowej lub łączy szeregowych. Do systemu WindEx lub SYNDIS można wprowadzić sygnały wielu rozwiązań technicznych instalacji telemechaniki, w tym sterowników służących do sterowania łącznikami słupowymi. System sterowania radiem służy do zdalnego nadzoru i sterowania rozproszonych urządzeń elektroenergetycznych zainstalowanych w napowietrznej sieci rozdzielczej SN (odłączniki, rozłączniki), których nadzorowanie za pomocą telemechaniki przewodowej jest nieopłacalne. Zastosowanie systemu zapewnia sprawne prowadzenie przełączeń planowanych, szybką lokalizację uszkodzeń w sieci przyczyniając się do skrócenia czasu trwania wyłączeń awaryjnych [5]. Przekładniki prądowe montowane na słupach z rozłącznikami, umożliwiają poprzez odpowiednie urządzenia automatyki sieciowej współpracę sterownika z automatyką SPZ stacji zasilającej i samoczynne odłączenie uszkodzonego fragmentu sieci. W skład systemu sterowania radiowego wchodzi dwie grupy urządzeń, a są to: urządzenia dyspozytorskie (zainstalowane w Rejonowej Dyspozycji Ruchu) urządzenia sterujące zainstalowane na słupach linii SN, które sterują napędami elektrycznymi łączników oraz współpracują z lokalnymi układami zabezpieczeń i układami automatyki sieciowej.

W dzisiejszych rozwiązaniach źródłem zasilania prądem stałym sterowników stacji obiektowych jest zasilacz doładowujący baterię akumulatorów bezobsługowych o napięciu 2x12V. Źródłem napięcia do zasilacza jest najczęściej transformator SN/0,23 kV zawieszony bezpośrednio na słupie rozłącznikowym zasilany lub sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Akumulatory na dzień dzisiejszy stanowią podstawowe zasilanie dla napędów elektrycznych oraz awaryjne dla elektroniki, w przypadku zaniku napięcia doładowującego akumulatory. Bateria umożliwia poprawną pracę stacji przez czas 10 do 24 godzin od momentu zaniku napięcia doładowującego (w zależności od wykonanych w tym czasie przełączeń). Według najnowszych danych linie napowietrzne SN, izolatory linii napowietrznych oraz konstrukcje wsporcze stanowią ponad 80% wszystkich awarii [6]. Istnieje więc potrzeba stosowania najnowocześniejszej technologii w celu jak najsprawniejszego prowadzenia przełączeń planowanych oraz niezwłocznej lokalizacji uszkodzenia Baterie litowo-jonowe w skutek ich wad jakimi są słaba odporność na częste ładowanie i rozładowywanie, ujemne temperatury, krótszy czas pracy niż SMES

oraz dłuższy czas oddawania energii powodują konieczność ich zastępowania przez najnowocześniejsze magazyny energii. W przedstawionym modelu przyjęto współczynnik niezawodności linii napowietrznej SN na poziomie aż $p = 0,998436073$. Przyjęta wartość jest dla linii o długości 40 km z rozłącznikami radiowymi, których urządzenia sterujące są zasilane przez nadprzewodnikowy zasobnik energii – stąd taka wysoka jest jej wartość.

Podstawowym źródłem zasilania zasobnika może być linia nN lub transformator zasilany linią dystrybucyjną SN. Jest to bez znaczenia, gdyż przedmiotowy magazyn jest w stanie podczas ładowania zgromadzić w krótkim czasie energię umożliwiającą prace stacji powyżej 40 godzin (zakładamy brak strat na chłodzeniu nadprzewodnikowego zasobnika energii). Największą jednak przewagą nadprzewodnikowego zasobnika mocy jest krótki czas ładowania i rozładowania. Energia jest dostępna praktycznie natychmiast.



Rys. 3. Uproszczony model zasilania sterownika stacji obiektowych z układu z nadprzewodnikowym zasobnikiem energii

3. Model niezawodnościowy zasilania zakładu produkcyjnego

3.1. Założenia techniczne i metody obliczania niezawodności przy zasilaniu jednostronnym z linii dystrybucyjnej SN

W artykule zostaną omówione wyniki obliczeń wpływu nadprzewodnikowego zasobnika energii na niezawodność zasilania zakładu produkcyjnego. Do analizy zasilania zakładu przyjęto następujące założenia: zakład zasilany jest jedną linią napowietzną SN (15kV) o długości 40 km, z lokalnego GPZ, który jest częścią sieci dystrybucyjnej, moc zainstalowana zakładu wynosi 7 300 kW, moc szczytowa 4 000 kW, roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi 23 610 MWh, średni współczynnik mocy $\cos\phi = 0,93$, możliwe jest zasilanie nadprzewodnikowym zasobnikiem energii zakładu jako źródłem zasilania rezerwowego. W poniższej tabeli przedstawiono podział mocy na poszczególne stacje oddziałowe występujące w zakładzie produkcyjnym, gdzie: SO_n – n-ta stacja oddziałowa.

Tab. 1. Podział mocy na poszczególne stacje oddziałowe [opracowanie własne]

SO _n	P [kW]	cosφ	S [kVA]
1	2500	0,93	2688,17
2	2500	0,93	2688,17
3	2300	0,93	2473,12

Zakład został zaprojektowany tak, żeby moc zainstalowana była rozłożona na stacje: PSO1=PSO2 = 2 500 kW, a PSO3 = 2 300 kW. W praktyce niezwykle rzadko spotyka się równomierne obciążenie każdej stacji. W pierwszym przypadku zakład zostanie zasilony jedną linią SN bez układu rezerwowego SMES zgodnie z rysunkiem 4.



Rys.4. Model zasilania jednostronnego zakładu produkcyjnego linią SN z GPZ

Dla modelu z rys.4. przyjęto wskaźniki niezawodności zaczerpnięte z tabel zamieszczonych w [2]:

Tab.2. Współczynniki zawodności i niezawodności wykorzystanych urządzeń elektroenergetycznych

Opis	Element	d częstotliwość uszkodzeń [1/a]	t _a czas trwania jednej awarii [h]	q współczynnik zawodności t _a ×d/T	p współczynnik niezawodności 1-q
Sieć dystrybucyjna	GPZ1	0	2,42	0,000901826	0,999098174
Linia napowietrzna 15 kV, 40 km	Linia SN	1	13,7	0,00156393	0,998436073
Wyłącznik SN	W1	0,132	5,5	0,00008288	0,999917123
Transformator	T1	0,048	29,2	0,00016000	0,99984
Wyłącznik SN	W2	0,132	5,5	0,00008288	0,999917123
Szyna zbiorcza SN	Szyna	0,0032	9,8	0,00000358	0,99999642
Wyłącznik SN	W3	0,132	5,5	0,00008288	0,999917123

Współczynnik zawodności wyraża się wzorem:

$$q = \frac{t_a \times d}{T} \quad (1)$$

T – przedział czasu T, równy okresowi jednego roku (8760 h),
d – wskaźnik częstości uszkodzeń,
t_a – czas trwania jednej awarii

Metoda obliczania współczynnika zawodności (przykład z tabeli 2 dla wyłącznika SN):

$$q = \frac{t_a \times d}{T} = \frac{0,132 \times 5,5}{8760} = 0,00008288 \quad (2)$$

Metoda obliczania współczynnika niezawodności (przykład z tabeli 2 dla wyłącznika SN):

$$p = 1 - q = 1 - 0,00008288 = 0,999917123 \quad (3)$$

W celu obliczenia niezawodności poszczególnych ciągów posłużono się wzorem:

$$p_{ukł} = \prod_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

Współczynniki niezawodności poszczególnych elementów:

p_{GPZ1} – współczynnik niezawodności GPZ
p_{LINIA} – współczynnik niezawodności linii zasilającej
p_{T1} – współczynnik niezawodności transformatora T1
p_{W1}, p_{W2}, p_{W3}, p_{W4}, p_{W5}, – współczynnik niezawodności wyłącznika SN
p_{SZYNA_SN} – współczynnik niezawodności szyn zbiorczych

$$p_{ukł} = \prod_{i=1}^n p_i = p_{GPZ1} \times p_{LINIA} \times p_{W1} \times p_{T1} \times p_{W2} \times p_{SZYNA_{SN}} \times p_{W3} \quad (5)$$

$$p_{ukł} = \prod_{i=1}^n p_i = 0,998024483 \quad (6)$$

Niezawodność zasilania dla każdej stacji oddziałowej w zakładzie jest taka sama, ponieważ w poszczególnych SO przyjęto takie same rodzaje wyłączników.

$$R_1 = R_2 = R_3 = 0,998024483 \quad (7)$$

W celu obliczenia niezawodności poszczególnych ciągów można było skorzystać z drugiej metody opartej na liczeniu zawodności według wzoru:

$$p_{ukł} = 1 - q_i = \prod_{i=1}^n (1 - q_i) \quad (8)$$

Wyniki z obu zastosowanych metod dały identyczne wyniki. Prawdopodobny czas przerwy w zasilaniu poszczególnych stacji oddziałowych wyniesie [2]:

$$t_a = q_{ukł} \times T = (1 - 0,998024483) \times 8760 \approx 17,3 \text{ h} \quad (9)$$

Głównym wyznacznikiem realnych kosztów związanych z zawodnością sieci, systemu elektroenergetycznego i układu zasilania jest ilość energii niedostarczonej. Wartość można policzyć korzystając ze wzoru:

$$A_R = q_{ukł} \times A_T \quad (10)$$

gdzie:

A_R – energia niedostarczona do danego pola
A_T – energia pobierana dla danego pola w czasie T
A_{T1}=A_{T2}=8085,62
A_{T3}=7438,76

$$A_{R1} = A_{R2} = q_{ukł} \times A_{T1} = q_{ukł} \times A_{T2} \approx 15,97 \text{ MWh} \quad (11)$$

$$A_{R3} = q_{ukł} \times A_{T2} \approx 14,7 \text{ MWh} \quad (12)$$

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej niezawodności zakładu przemysłowego, w projekcie przedstawiono obliczenia wskaźnika ENS dla każdego wariantu zasilania. ENS wskaźnik energii elektrycznej niedostarczonej przez system przesyłowy elektroenergetyczny wyrażony w MWh na rok, stanowiący sumę iloczynów mocy niedostarczonej wskutek przerwy i czasu trwania tej przerwy, obejmujący przerwy krótkie, długie, bardzo długie z uwzględnieniem przerw katastrofalnych [3].

Wskaźniki ENS dla poszczególnych ciągów zasilania będą równe dla 1. i 2. stacji oddziałowych.

$$ENS_1 = ENS_2 = A_{R1} = A_{R2} \approx 15,97 \text{ MWh} \quad (13)$$

Dla trzeciej stacji oddziałowej wskaźnik ENS będzie inny:

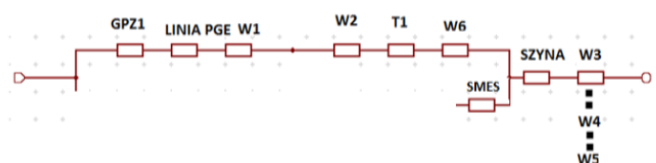
$$ENS_3 = A_{R3} \approx 14,7 \text{ MWh} \quad (14)$$

Dla wszystkich stacji oddziałowych wskaźnik ENS wyniósł:

$$ENS = \sum_{i=3}^n ENS_i = ENS_1 + ENS_2 + ENS_3 = 46,64 \text{ [MWh/rok]} \quad (15)$$

3.2. Metody obliczania niezawodności przy zasilaniu z linii dystrybucyjnej SN oraz zasilaniu rezerwowym w postaci SMES-u

Poniżej przedstawiono koncepcję poprawy niezawodności zasilania obiektu przy pomocy nadprzewodnikowego zasobnika energii:



Rys.5. Model zasilania zakładu produkcyjnego linią SN z GPZ oraz SMES-em jako rezerwą w przypadku awarii linii dystrybucyjnej

Do obliczeń przyjęto niezawodność układu SMES równą:

$$P_{SMES} = 0,999991997 \quad (16)$$

Dla każdej stacji oddziałowej niezawodność jest taka sama. Prawdopodobny czas przerwy w zasilaniu poszczególnych stacji oddziałowych wyniesie:

$$t_a = q_{WARIANT1} \times T = (1 - 0,999991997) \times 8760 \approx 0,07 \text{ h} - 4 \text{ minuty} \quad (17)$$

Energia niedostarczona wyniesie w ciągu roku:

$$\begin{aligned} ENS_1 = ENS_2 = A_{R1} = A_{R2} \\ = 0,000008003 * 8085,62 \\ \approx 0,065 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} ENS_3 = A_{R3} = 0,000008003 \times 7438,76 \\ \approx 0,06 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (19)$$

Dla wszystkich stacji oddziałowych wskaźnik ENS wyniósł:

$$\begin{aligned} ENS = \sum_{i=3}^n ENS_i = ENS_1 + ENS_2 + ENS_3 \\ = 0,19 \text{ [MWh/rok]} \end{aligned} \quad (20)$$

Podsumowanie

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że rozbudowa układu zasilania o nadprzewodnikowy zasobnik energii (SMES) wiąże się ze wzrostem niezawodności. Wartości poszczególnych niezawodności odrębnych elementów będących urządzeniami elektroenergetycznymi, miały znaczny wpływ na niezawodność całego układu. Poszczególne warianty z magazynem energii jak i bez magazynu cechowały się określoną wartością niezawodności połączonego systemu, co przy uwzględnieniu wskaźnika ENS dawało różne wartości. Wariant zasilania samą linią dystrybucyjną SN jest według użytej metody bardzo nieefektywny, ponieważ wskaźnik niedostarczonej energii jest bardzo duży. Ingerencja w układ zasilania jest więc w pełni uzasadniona. Wariant z wykorzystaniem nadprzewodnika jest dużo bardziej efektywny, gdyż niezawodność układu zwiększa się, a poziom niedostarczonej energii znacznie się zmniejsza. Powyższe powinno mieć decydujący wpływ na modernizację układu i wprowadzenie magazynów energii w układzie zasilania. Możliwość rozwiązania problemu chłodzenia zasobnika energii SMES pozwoli rozwiązać współczesne problemy energetyki dystrybucyjnej. Wprowadzanie zasobników energii w układach dystrybucyjnych jest nieuniknione, wręcz konieczne dla poprawy wskaźnika niezawodności. Rozwiązania wprowadzone w systemach dystrybucyjnych stosujące zasobniki energii SMES zrewolucjonizują współczesną energetykę dystrybucyjną.

Bibliografia:

1. Janowski T., Nadprzewodnikowe zasobniki energii, Wydawnictwo Liber Duo S.C., Lublin 2007, s. 121–128.

2. Marzecki J., Rozdzielcze sieci elektroenergetyczne, PWN, Warszawa 2001.
3. Paska J., Wybrane aspekty optymalizacji niezawodności systemu elektroenergetycznego kwartalnik „Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”, 2/2013, s. 202-208,
4. Saniawa D., Hebda K., Wpływ nadprzewodnikowych zasobników energii na pracę systemu elektroenergetycznego, „Autobusy” 12/2017, s. 1306-1310,
5. <http://www.cze-pas.com.pl/art/35/slupy-z-rozlacznikiem-nps-stelowanym-radiowo.html>
6. <http://www.elektro.info.pl/artukul/id6447,modeleniezawodnosciove-linii-napowietrznych-sn-z-przewodami-golymi?print=1>
7. Bednarek K., Akumulatory czy super kondensatory – zasobniki energii w UPS-ach, miesięcznik Elektroinfo, nr 1-2, 2012.

Possibilities of using a superconducting energy magnetic storage to improve the reliability of the SN distribution network in distribution companies

The purpose of this work is to analyze the application of superconducting magnetic energy storage in radio controlled disconnecter. For the purpose of improving the indicator of the duration of interruptions in the supply of electricity to SAIDI by electricity distribution operators. (System Average Interruption Duration Index). The topic is so important for the Polish economy that it can be treated as a social problem, which can not only reduce the quality of life, but also the economic development of small towns and villages where power outages are much longer than in cities. However, at the same time investment activities for improving the quality of electricity distribution in Poland represent a very high chance for the development of new innovative technologies. The article presents not only aspects related to the automation of the medium voltage network, but also due to its technical and economic capabilities of modern devices. The key in the article is the effective solution to the problem of reliability in Poland and the presentation of the use of an energy reserve in radio disconnecter in order to improve the reliability of their work.

Keywords: SAIDI. (System Average Interruption Duration Index), medium voltage disconnecter, medium voltage lines, system reliable, distribution company, superconducting magnetic energy storage

Autorzy:

mgr inż. Kamil Hebda– Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Napędu Elektrycznego i Elektroniki Przemysłowej, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, k.hebda@uthrad.pl

mgr inż. Eryk Ostapiuk– Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Napędu Elektrycznego i Elektroniki Przemysłowej, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e.ostapiuk@uthrad.pl