

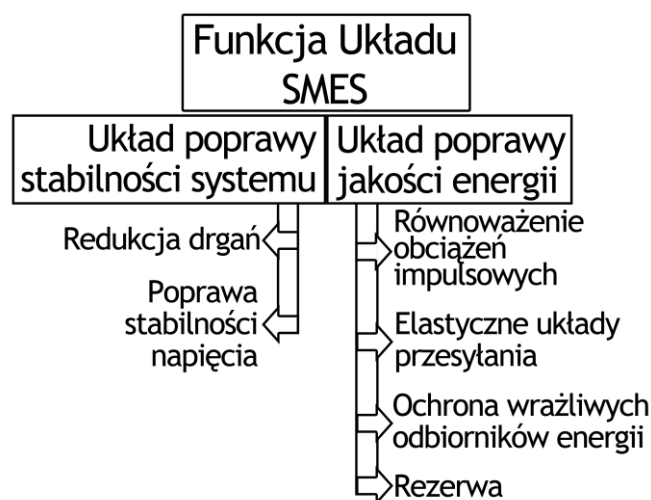
WPŁYW NADPRZEWODNIKOWYCH ZASOBNIKÓW ENERGII NA PRACĘ SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

O magazynowaniu energii mówi się zwykle w kontekście pełnego wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, które dostarczają prąd nie tylko wtedy, kiedy jest konkretne na niego zapotrzebowanie. Jednakże z punktu widzenia elektroenergetyki to tylko jeden z powodów ich rozwoju. Wdrożenie technologii dynamicznych magazynów energii i ich zintegrowanie z systemem elektroenergetycznym stanowi kolejny ważny krok w rozwoju sektora energetycznego. W artykule omówiono zaawansowanie technologii nadprzewodnikowych zasobników energii oraz możliwości ich wykorzystania w elektroenergetyce, a także innych gałęziach przemysłu. Przedstawiono również perspektywy zastosowań nadprzewodnikowych zasobników energii typu SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) zarówno do celów komercyjnych, jak i przemysłowych oraz ich wpływ na sieć elektroenergetyczną. W artykule dokonano analizy funkcji, jakie mogą pełnić układy z wykorzystaniem nadprzewodnika w systemie elektroenergetycznym na przykładzie dostępnych wyników badań oraz symulacji przeprowadzonych min. w Chinach. Funkcjonalność układów SMES przeanalizowano w szczególności z punktu widzenia jego głównych potencjalnych korzyści związanych z poprawą stabilności systemu elektroenergetycznego oraz poprawą jakości dostarczanej energii. Uwzględniono ponadto wpływ SMES na zmniejszanie oscylacji poprzez modulację mocy czynnej, łagodzenie dynamicznych niestabilności napięcia, równoważenie obciążenia oraz dostarczanie mocy czynnej do sieci elektroenergetycznej.

Oczekuje się, że ze względu na niezawodność sięgającą ponad 95%, brak strat, szybki czas rozładowania oraz wysoką jakość dostarczanej energii system z użyciem nadprzewodnikowego zasobnika w przyszłości będzie mieć kluczowe znaczenie dla rozwoju wielu dziedzin gospodarki.

WSTĘP

Koncepcja gromadzenia energii elektrycznej w polu magnetycznym cewki powstała ponad 100 lat temu, natomiast wykorzystanie materiałów nadprzewodnikowych do tego rodzaju urządzeń zaproponowane zostało dopiero w 1960 roku. O ile pierwotnie nadprzewodnictwo było domeną badań uczonych w laboratoriach fizycznych, to obecnie coraz większą uwagę przywiązuje się do zastosowań nadprzewodników [1]. Obecnie zjawisko nadprzewodnictwa coraz szerzej wchodzi w obszar zainteresowań, głównie elektryków. Magazynowanie energii przez elektromagnesy nadprzewodnikowe jest uważane z technicznego punktu widzenia za rozwiązanie idealne do zastosowania w sieciach elektroenergetycznych. Wahania napięcia, niepożądane częstotliwości harmoniczne oraz zapady napięcia spowodowane zwarciami w sieci wpływają na jakość energii w sieci elektroenergetycznej. Układy SMES poprawiają jakość energii elektrycznej w instalacjach, w których przerwa w dostawie energii mogłaby spowodować kosztowny i długotrwały przestój urzędzie lub linii produkcyjnych [8]. Związane jest to z nowymi możliwościami urządzeń zbudowanych przy wykorzystaniu wysokotemperaturowych materiałów nadprzewodnikowych SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage). W celu uniknięcia załamania się systemu elektroenergetycznego z powodu utraty synchronizmu lub niestabilności napięcia stosuje się środki zaradcze w postaci stabilizatorów, układów optymalnego sterowania regulatora turbiny i przesuwników fazowych. Zasobniki nadprzewodnikowe mogą być wykorzystane do realizacji powyższych zadań. Układy SMES można podzielić na dwie grupy – poprawy stabilności układu elektroenergetycznego oraz poprawy jakości energii. Powyższy podział oraz jego zakres został przedstawiony na rysunku numer 1.



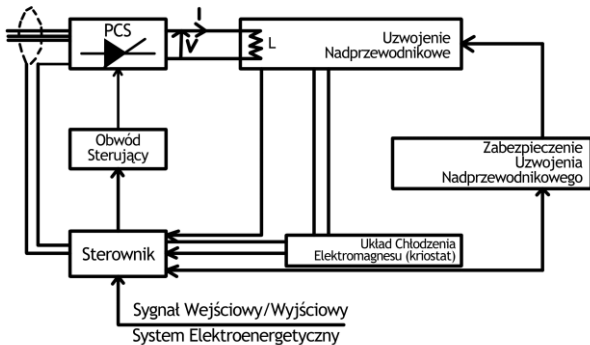
Rys. 1. Funkcje układu SMES

1. ZASADA DZIAŁANIA MAGAZYNU SMES

Magazyny SMES charakteryzują się tym, iż gromadzą energię w postaci pola magnetycznego poprzez przepływ prądu stałego (DC) przez uzwojenie nadprzewodnikowe. Energia zmagazynowana w polu magnetycznym elektromagnesu nadprzewodnikowego jest tym większa, im większa jest objętość obszaru z silnym polem magnetycznym [6]. Elektromagnesy nadprzewodnikowe pozwalają zatem na wytwarzanie silnego pola magnetycznego w dużych przestrzeniach, a więc umożliwiają gromadzenie znacznej energii w ich polu magnetycznym [7].

Niezawodność sięgająca ponad 95%, brak strat, szybki czas rozładowania oraz reakcji, wysoka jakość dostarczanej energii ma istotne znaczenie dla przemysłu. Wysoka niezawodność SMES-ów

wynika z naturalnej przemiany energii pola magnetycznego w energię elektryczną oraz praktycznie nieograniczonego czasu przechowywania energii pola magnetycznego uwarunkowanego jedynie działaniem układu chłodzenia [1]. W rzeczywistych rozwiązaniach SMES jest urządzeniem współpracującym z siecią energetyczną, gdzie napięcie ma charakter przemienny. Ponieważ elektromagnes nadprzewodnikowy gromadzi energię prądu stałego, wymagane są układy konwersji napięcia zwane systemem formowania napięcia (PCS). Układem zamiany energii PCS może być np. przekształtnik AC/DC, który łączy elektrycznie sieć energetyczną z zasobnikiem energii, a także z wrażliwym odbiornikiem [4]. Poniżej na rysunku numer 2 zostało zobrazowane połączenie nadprzewodnikowego zasobnika energii z siecią elektroenergetyczną.



Rys. 2. Schemat elektryczny układu SMES połączonego z siecią elektroenergetyczną

Wzrost wymagań w zakresie ochrony środowiska dla rozproszonych źródeł odnawialnych spowodował dążenie do ograniczenia zapasów stabilności, szczególnie w postaci tzw. rezerwy wirującej. Wskutek powyższego stabilna i niezawodna praca układów energetycznych w dużym stopniu zależy od urządzeń stabilizujących, jak np. SMES [2], [6]. Znajduje on obecnie bardzo szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Poniżej przedstawiono przykłady zastosowań nadprzewodnikowego zasobnika energii:

2. SMES-Y W UKŁADACH POPRAWY STABILNOŚCI SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

2.1. Redukcja drgań w układzie

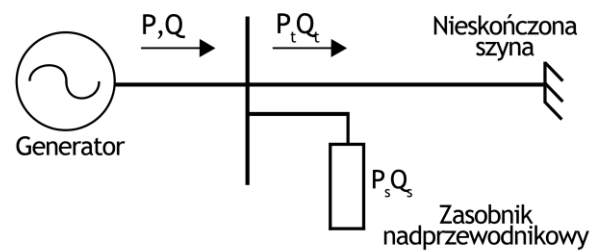
Granice stabilności układu elektroenergetycznego określane są zwykle oscylacjami o niskiej częstotliwości (0,5–1 Hz), które następują po większym zakłóceniu w układzie. Po odłączeniu linii przesyłowej lub generatora, w celu zabezpieczenia przed wystąpieniem narastających oscylacji często ogranicza się przesył energii. Moc przesyłu może być zwiększona przez aktywne tłumienie tych oscylacji. Zasobnik nadprzewodnikowy może aktywnie zmniejszać oscylacje poprzez modulację zarówno mocy czynnej, jak i biernej, dzięki czemu może być bardziej skuteczny od innych technologii [2].

2.2. Poprawa stabilności napięcia

W przypadku dynamicznych niestabilności wywołanych zanikiem generacji napięcia lub przeciążeniem linii przesyłowych dynamiczna moc bierna jest niewystarczająca do podtrzymania napięcia w układzie elektroenergetycznym. Wówczas napięcia w sieci zaniżają powoli (5–15 min).

Układ zasobnika nadprzewodnikowego może wtedy łagodzić te dynamiczne niestabilności napięcia poprzez równoczesne dostarczanie mocy czynnej i biernej, aż do ponownego przyłączenia do linii generatora lub zlikwidowania niestabilności napięcia. Moc bierna Q_s może być sterowana przy użyciu zasobnika nadprzewodni-

kowego przyłączonego do szyn zbiorczych jak zostało przedstawione na rysunku numer 3 [1].

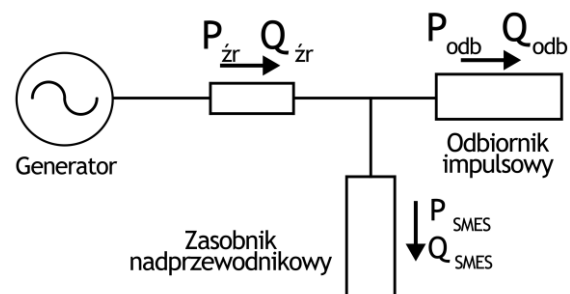


Rys. 3. Układ z jednostką SMES do redukcji oscylacji mocy układu [2]

3. SMES-Y W UKŁADACH POLEPSZANIA JAKOŚCI ENERGII

3.1. Równoważenie obciążeń impulsowych

Układy SMES-ów są urządzeniami do równoważenia fluktuacji mocy czynnej i biernej wywołanej obciążeniami impulsowymi, występującymi w przemysłowych instalacjach produkcyjnych oraz w podstacjach zasilających szybkie koleje. Istotnym zastosowaniem układu SMES może być jego użycie w podstacjach zasilających linie kolejowe. Bezpieczeństwo eksploatacyjne kolejowych sieci trakcyjnych prądu stałego zależy od prawidłowego i niezawodnego działania wszystkich elementów układu zasilania. Koncepcję realizacji funkcji SMES do równoważenia obciążeń przedstawiono na rysunku numer 4.



Rys. 4. Układ z zasobnikiem do równoważenia obciążeń impulsowych [2]

3.2. Elastyczne układy przesyłowe typu FACTS

Nadprzewodnikowe zasobniki energii można skonfigurować tak, aby współpracowały z układami elastycznego przesyłu prądu przemiennego FACTS (Flexible AC Transmission Systems). Zasobniki nadprzewodnikowe mogą polepszać charakterystyki FACTS poprzez dostarczanie większej mocy czynnej w stosunku do mocy biernej. Statyczny kompensator synchroniczny (STATCOM) może tylko pobierać lub dostarczać moc bierną. Wprowadzenie przez SMES-a dodatkowej energii umożliwia kompensatorowi STATCOM dostarczenie do sieci lub odebranie równocześnie mocy czynnej i biernej, co poprawia działanie systemu elektroenergetycznego [2]. Sterownik FACTS jest zintegrowany z zasobnikiem nadprzewodnikowym poprzez przyłączenie elektromagnesu nadprzewodnikowego do kompensatora STATCOM opartego na falowniku zasilanym ze źródła napięciowego w celu tłumienia dynamicznych oscylacji układu elektroenergetycznego.

3.3. SMES jako układ rezerwowy

Dla zapewnienia ciągłości zasilania urządzenia generujące energię elektryczną utrzymywane są w ruchu w stanie jałowym (nieobciążonym), stanowiąc tzw. rezerwę wirującą. Zazwyczaj ta rezerwa powinna wynosić aż 7% obciążenia układu. Ponieważ zasobniki nadprzewodnikowe mogą przechowywać znaczną ilość energii, jest możliwe zapewnienie przez nie wystarczającej rezerwy wirującej do chwili, aż przyłączone zostaną generatory z turbiną gazową.

Zasobniki nadprzewodnikowe mogą być wykorzystywane także jako rezerwowe źródła zasilania dla dużych odbiorców przemysłowych w przypadku utracenia głównego źródła zasilania.

3.4. Ochrona wrażliwych odbiorników energii

Nadprzewodnikowe zasobniki energii mogą wygładzać zakłócenia w układach energetycznych, które mogłyby spowodować przerwanie działania wrażliwych odbiorników energii. Gdy występują chwilowe zakłócenia linii przesyłowej, takie jak np. przeskok iskry lub uderzenie pioruna, może nastąpić utrata dopływu energii, jeśli linia wyłączy się samoczynnie lub obniży się jej napięcie. Zasobnik nadprzewodnikowy ma bardzo krótki czas odpowiedzi i może „wstrzyknąć” moc czynną w czasie krótszym od długości jednego okresu w celu ochrony wrażliwych odbiorników przed zanikiem zasilania. Układy SMES mogą zatem zapewniać ochronę określonego obszaru sieci energetycznej [2]. Największą zaletą SMES-a jest jego zdolność do całkowitego zasilania dowolnego odbiornika przyłączonego do niego podczas krótkich zakłóceń układu elektroenergetycznego, takich jak zapady napięcia powodowane odległymi zwarciami, chwilowe przerwy spowodowane wyładowaniem atmosferycznym lub nieciągłości zasilania podczas przenoszenia obciążeń pomiędzy dwoma źródłami energii. Przy takich zakłóceniach mikrozasobnik będzie zasilał zgromadzoną w nim energią odbiornik, który zostanie odizolowany od układu elektroenergetycznego. Innym zastosowaniem jest ochrona rozproszonych wrażliwych odbiorników energii dzięki użyciu zasobnika nadprzewodnikowego [8].

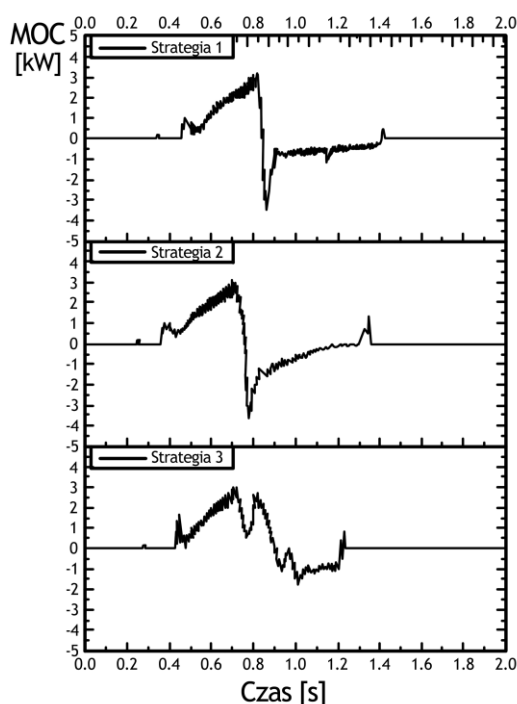
4. OMÓWIENIE DOTYCHCZASOWYCH DOŚWIADCZEŃ

Badania nad zastosowaniem SMES-ów w sieci elektroenergetycznej są prowadzone w laboratoriach na całym świecie. Jednakże najbardziej zaawansowanym ośrodkiem badawczym dla nadprzewodnikowego magazynowania energii jest State Grid Cooperation w Chinach. Właśnie tam zastosowano do symulacji sieć elektroenergetyczną, która składała się z generatora o mocy 5 kVA, linii o długości 200 km, transformatorów o mocach 6 kVA i 100 kVA oraz magazynu energii o mocy 3 kW. Magazyn energii SMES był w sposób równoległy podłączony do układu. Podczas, gdy nastąpiło jakiegokolwiek pogorszenie stabilności systemu SMES w czasie rzeczywistym, system ten miał za zadanie zadziałać i przywrócić jego równowagę.

W przeprowadzonym eksperymencie celowe obniżenie dostarczonej mocy na szynie numer 1 spowodowało wahanie napięcia występujące w czasie $t = 0,41$ s. System SMES został jednak tak

zaprojektowany, aby niwelować wahania mocy, a nie obniżenia napięcia. Dlatego też dla samego obniżenia napięcia system kontroli układu SMES nie reagował [5]. W tym eksperymencie podczas pracy układu system SMES wykrył jednak różnicę w częstotliwości wynoszącą 5 kHz i dlatego też zaczął produkować moc czynną, aby zrekompensować straty w układzie.

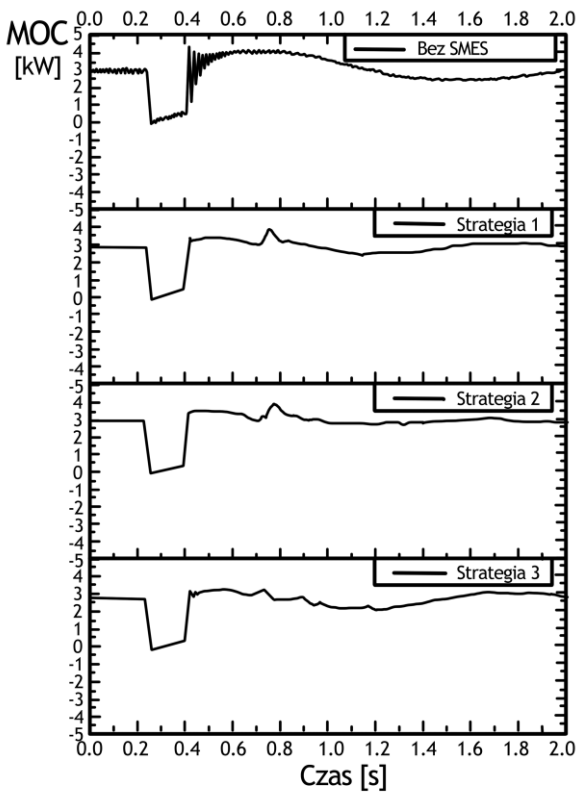
Na podstawie obserwacji w laboratorium tym przeprowadzono trzy testy kompensacji mocy za pomocą układu SMES. W pierwszym przypadku uzwojenie nadprzewodnikowe było nadzorowane przez system kontroli, aby ładowanie trwało 350 ms, następnie przez czas 100 ms utrzymywało energię, a rozładowanie nastąpiło w czasie 600 ms. W drugim przypadku SMES kontroluje, aby prąd nie zaniknął w uzwojeniu przez 30 ms po 350 ms ładowania, a rozładowanie nastąpiło w czasie 600 ms. W trzecim przypadku uzwojenie nadprzewodnikowe było ładowane przez 280 ms i generowało energię przez kolejne 140 ms po reakcji układu kontroli na spadek mocy. Następnie układ kontroli przez 40 ms sprawdzał sieć i w razie potrzeby ładował i rozładowywał SMES-a – odpowiednio w czasach 200 ms oraz 260 ms. Tabela 1 poniżej przedstawia dokładnie trzy rozpatrywane przypadki. Natomiast na rysunkach 5 oraz 6 zilustrowano na wykresach kształty krzywych przebiegów czasowych w funkcji mocy zależnie od przyjętej strategii funkcjonowania układu SMES.



Rys. 5. Charakterystyka układu SMES w czasie trwania zakłócenia [3]

Tabela 1. Porównywanie strategii działania układu SMES w celu wygładzenia zakłóceń sieci elektroenergetycznej [3]

	Czas trwania [ms]						
	Spadek mocy	Dostarczania energii z zasobnika	Ładowanie	Kontrola przed ponownym ładowaniem	Ponowne ładowanie	Kontrola przed ponownym ładowaniem	Rozładowanie
1-sza strategia	160	100	350	0	0	0	600
2-ga strategia	160	100	350	30	0	0	600
3-cia strategia	160	140	280	40	200	0	260



Rys. 6. Charakterystyka przebiegów mocy w zależności od strategii działania układu SMES [3]

Z przedstawionych wygładzonych przebiegów charakterystyk wynika, iż system SMES może regulować moc, a także pozytywnie wpływać na charakterystyki czasowe (ms). Aby lepiej przedstawić wartości uzyskanych efektów kompensacji mocy, posłużono się wzorem:

$$k = \frac{\max(P_{max} - P_n), (P_n - P_{min})}{P_n} \cdot 100\%$$

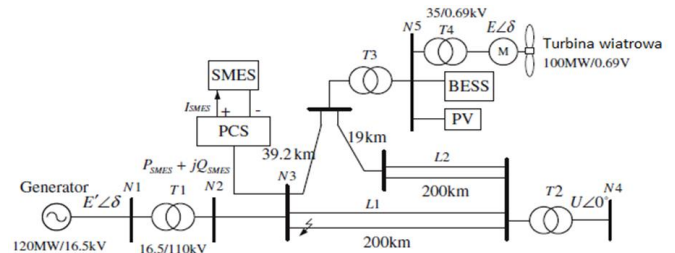
gdzie: P_{max} – moc maksymalna w stanie ustalonym (po ustąpieniu spadku mocy), P_{min} – moc minimalna w stanie ustalonym, P_n – stała moc dostarczana do układu mocy, k – współczynnik kompensacji

Tab. 2. Porównanie mocy P [kW] przed kompensacją i po niej

Strategia	P_n [kW]	P_{min} [kW]	P_{max} x [kW]	Różnica mocy między P_{min} a P_{max} [kW]	Współczynnik k [%]
Bez układu SMES	3	2,4	4,13	1,73	37,8
Strategia 1	3	2,7	3,9	1,2	30
Strategia 2	3	2,9	3,7	0,8	23,3
Strategia 3	3	2,1	3,2	1,1	30

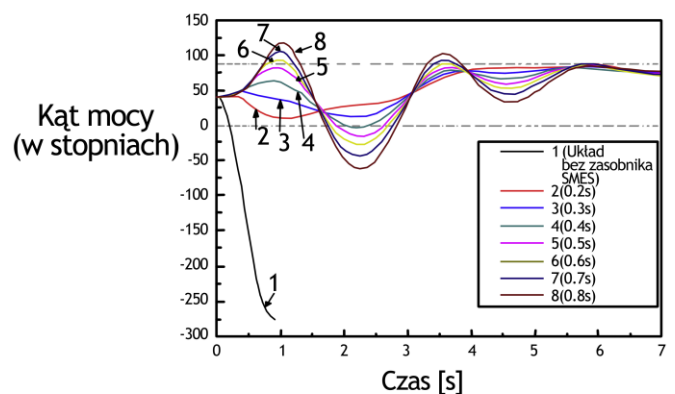
Tabela 2 porównuje moc maksymalną P_{max} i moc minimalną P_{min} po wystąpieniu spadku napięcia dla współczynnika kompensacji mocy k dla trzech różnych scenariuszy. Podczas, gdy SMES nie jest podłączony do układu współczynnik ten wynosi $k = 37,8\%$,

jednakże wraz z podłączeniem SMES-a do układu współczynnik ten maleje. W najlepszym przypadku współczynnik kompensacji wynosi 23,3%, a więc układ wg strategii 2 najlepiej spełnia oczekiwania. Podane symulacje pokazały, iż SMES może służyć w czasie rzeczywistym jako urządzenie do kompensacji mocy i mieć duże znaczenie w poprawie jakości dostarczanej energii. Dzięki odpowiednim właściwościom SMES-y są używane również w systemach, w których to energia jest dostarczana ze źródeł odnawialnych. W ostatnich latach powstaje coraz więcej elektrowni wiatrowych, zarówno w Polsce, jak i na świecie. Aby lepiej zaprezentować znaczenie tych magazynów energii w energetyce wiatrowej, można przywołać testy wykonane przez Zhangbei w Chinach. Topologia systemu jest pokazana na rys. 7:



Rys. 7. Topologia układu SMES dla elektrowni wiatrowej w Zhangbei

System ten zawiera generator, cztery transformatory, wiatrak, system magazynowania energii za pomocą baterii (BESS), fotowoltaiczne źródło prądu (PV), dwie linie o długościach 200 km oraz układ SMES podłączony równolegle przez układ kontroli systemu (PCS). W warunkach normalnej pracy energia jest dostarczana od generatora, a system SMES ma jedynie za zadanie kontrolować kąt mocy generatora. Podczas, gdy kąt generatora wynosi powyżej 90 stopni lub poniżej 0 stopni, generator ten wypada z synchronizmu. Oznacza to brak stabilności systemu. Podczas zwarcia w linii L1 (rysunek 8) trwającego 0,5 ms można zasymulować wpływ SMES-a na kąt mocy dostarczanej w zależności od czasu jego załączenia. Do symulacji komputerowej posłużono się SMES-em o mocy 371 MVA.



Rys. 8. Przebieg kąta mocy generatora w zależności od czasu zadziałania SMES-a [3]

Rysunek 8 przedstawia układ bez instalacji SMES (krzywa 1), a także z nim (krzywe 2–8). Różnica między krzywymi jest spowodowana czasem zadziałania SMES-a. Z symulacji wynika, że układ bez SMES-a po wystąpieniu zwarcia nie potrafi sam powrócić do stanu synchronizmu i stabilności systemu. Natomiast podczas zadziałania SMES-a, w zależności od czasu reakcji system ten wcześniej czy później powróci do stanu sprzed wystąpienia zwarcia.

Co ważne, tylko przy czasach zadziałania SMES-a rzędu 0,2 s – 0,5 s system w ogóle nie wypadnie z synchronizmu. Najlepszym, jak się okazało, systemem SMES jest ten z czasem zadziałania 0,3 s, gdyż różnica między wartościami szczytowymi kąta jest najmniejsza, zatem system w tym przypadku jest najbardziej stabilny [9]. W tabeli numer 3 zestawiono wyniki zasymulowanego pomiaru kąta mocy generatora w zależności od czasu zadziałania układu z nadprzewodnikowym zasobnikiem energii.

Tab. 3. Porównanie wartości kąta mocy generatora w zależności od czasu zadziałania SMES-a

Czas zadziałania układu SMES	δ – kąt mocy generatora		
	Minimalny	Maksymalny	Różnica między max a min
0	-227,48	41,29	268,77
0,2	10,92	82,94	72,01
0,3	12,08	83,4	71,31
0,4	-2,47	84,02	86,5
0,5	-15,63	84,7	100,33
0,6	-27,199	93,59	120,79
0,7	-43,11	105,72	148,83
0,8	-61,71	117,77	179,49

PODSUMOWANIE

Przedstawione rezultaty badań i symulacji wpływu SMES-a na sieć elektroenergetyczną, ze szczególnym uwzględnieniem prac realizowanych w Chinach, pozwalają twierdzić, iż układ ten może mieć potencjalnie bardzo szerokie zastosowanie zarówno w elektroenergetyce, jak i w innych gałęziach przemysłu, np. w transporcie.

W ramach prac badawczych udowodniono, iż dzięki technologii z użyciem SMES-a można zmniejszać oscylacje poprzez modulację mocy czynnej, łagodzić dynamiczne niestabilności napięcia, równoważyć obciążenia oraz dostarczać moc czynną do sieci elektroenergetycznej.

Z omówionych w artykule symulacji wynika, iż zoptymalizowany magazyn energii SMES może doskonale służyć do poprawy stabilności systemu i jakości energii. Prognozowany rozwój nadprzewodnictwa, który jest przewidywany w najbliższych latach na świecie, z pewnością stwarza możliwości szerszego wykorzystania tej formy magazynowania energii, niż miało to miejsce dotychczas.

Obecnie na świecie postęp w zastosowaniach nadprzewodnikowych zasobników energii związany jest ściśle z trwającymi badaniami, w ramach których budowane są coraz liczniejsze układy eksperymentalne. Z pewnością warto byłoby zająć się szerzej tą problematyką również w Polsce. W tym kontekście należałoby kontynuować prace badawcze nad możliwościami dalszych praktycznych zastosowań układów z nadprzewodnikowym zasobnikiem energii.

Wnioski, jakie można wysnuć na podstawie badań, pokazują, iż ten rodzaj zasobnika energii może w przyszłości stać się przełomowy i posłużyć jako doskonała alternatywa dla standardowych magazynów energii.

BIBLIOGRAFIA

- Sosnowski J., *Materiały nadprzewodnikowe. Modelowanie własności i zastosowania*, Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 2008, s. 117–121.
- Janowski T., *Nadprzewodnikowe zasobniki energii*, Wydawnictwo Liber Duo S.C., Lublin 2007, s. 121–128.
- Zhu. J., Yuan. W., Qiu M., Wei X., Zhang. H., Chen. P., Yang. Y., Zhang M., Huang X., Li Z., *Applied Energy*, Elsevier Ltd 2014, s. 692–698.
- Komarnicki P., Lombardi P., Styczyński Z., *Electric Energy Storage Systems Flexibility Options for Smart Grids*, Springer, s. 129–132, 146–148.
- Zhou X., Chen Y., Jin X., *Development of SMES Technology and its applications in Power Grid*, IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices Sydney, Australia, December 14–16, 2011, s. 260–269.
- Hekmati A., Hekmati R., *Cryogenics*, Elsevier Ltd 2016, s. 74–81.
- Luo X., Wang J., Dooner M., Clarke J., *Applied Energy*, Elsevier Ltd 2015, s. 511–536.
- Kozak J., *Badania elektromagnesów nadprzewodnikowych w procesie ich wytwarzania i eksploatacji*, Prace Instytutu Elektrotechniki 2014, z. 265, s. 62–63.
- Zespół Szkół Elektronicznych i Informatycznych im. KEN w Giżycku: *Stabilność pracy*: http://zseii.edu.pl/archive/dydaktyka/maszyny/stabilnosc_pracy.htm, dostęp: 2.11.2017 r.

Influence SMES for the work of electrical power system

This article discusses the advancement of SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) and its potential for use in power sector as well as in other industries. It concentrates on the analysis of the functions that can be performed by SMES and basis on the available test results as well as on the computer simulations performed among others in laboratories in China. The functionality of the SMES systems has been analyzed in particular from the point of view of its major potential benefits of improving the stability of the power supply system and improving the quality of energy delivered. This type of energy storage can become a breakthrough and could serve as a perfect alternative to standard energy storage in the future.

Autorzy:

dr hab. inż. **Dionizy Saniawa** – prof. nadzw. UTH Rad. Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Napędu Elektrycznego i Elektroniki Przemysłowej

mgr inż. **Kamil Hebda** – student studiów doktoranckich na kierunku transport Wydziału Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu