

Magazynowanie energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym

Ryszard Sikora, Michał Zeńczak

W systemie elektroenergetycznym moc wytwarzana musi być zbilansowana mocą aktualnie odbieraną, a tym samym moc odbierana musi być zbilansowana mocą wytwarzaną. Powyższe dwa fakty z praktycznego punktu widzenia nie są równoważne, ponieważ w tych dwóch bilansach ukryte mogą być zasobniki energii elektrycznej, które mogą pełnić funkcję odbiorników (proces akumulowania energii) i funkcję źródeł energii (proces wykorzystywania zgromadzonej energii).

Zastosowanie magazynów energii elektrycznej (ściślej energii do produkcji energii elektrycznej) może być bardzo korzystne z wielu powodów. Przede wszystkim istnienie zasobników umożliwia gromadzenie energii w okresach, kiedy jest jej nadmiar w systemie i wykorzystanie jej w okresie deficytu energii. Poza tym zasobnik energii może stanowić interwencyjne źródło w czasie awarii lub w czasie nagłych wzrostów obciążenia, a nawet służyć jako źródło rozruchowe konwencjonalnych elektrowni ciepłych w okresie awarii typu *blackout*. Z krzywej dobowego obciążenia Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSEE) [1] w typowym dniu (styczeń 2010) przedstawionej na rys. 1 można zauważyć, że zastosowanie dużych zasobników energii może okazać się rozwiązaniem alternatywnym dla budowania nowych elektrowni. Średnia moc z przebiegu dobowego wynosi 20 792 MW przy maksymalnej 24 066 MW.

W związku z coraz większym udziałem w generacji energii elektrycznej energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, w których produkcja jest w małym stopniu zależna od człowieka, powinno się rozpatrzyć możliwość jej akumulowania. Dotyczy to zwłaszcza elektrowni wiatrowych i słonecznych, których aktualne możliwości generacyjne zależą od warunków pogodowych.

Magazynowanie energii realizowane w zasobnikach instalowanych w KSEE trzeba też rozpatrzyć z punktu widzenia ich wielkości. Można budować ogromne zasobniki systemowe dołączone do sieci przesyłowej. Można też instalować mniejsze, pracujące w rozproszeniu, dołączone do sieci rozdzielczych, a także współpracujące ze źródłami dołączonymi do sieci średniego i niskiego napięcia [2, 3, 4]. Poniżej przeprowadzona będzie analiza różnych sposobów magazynowania energii elektrycznej pod kątem realnych możliwości zastosowania ich w KSEE.

Wytwarzanie energii elektrycznej

Do produkcji energii elektrycznej stosuje się:

- spalanie węgla lub innych paliw;
- reakcję jądrową;
- gaz do bezpośredniego napędu turbin;
- spadek, przepływ, falowania wody oraz pływy;
- turbiny wiatrowe;
- instalacje heliotermiczne i fotowoltaiczne;
- inne źródła (generatory MHD, ogniwa paliwowe).

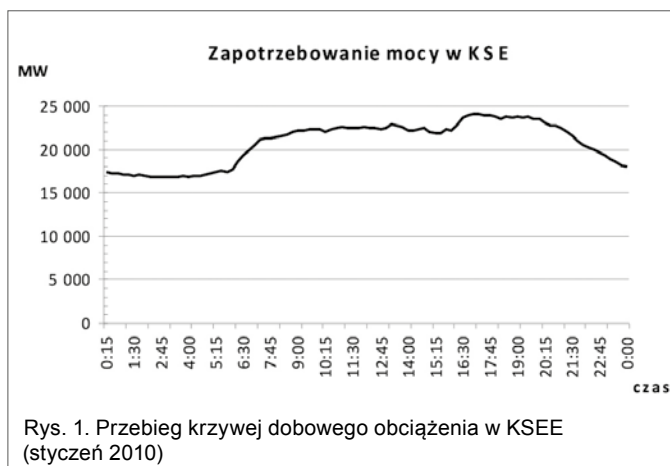
Trwają badania nad wykorzystaniem mikrosyntezy termojądrowej i nad innymi możliwościami wytwarzania energii elek-

Streszczenie: W systemie elektroenergetycznym moc odbierana powinna być zbilansowana mocą wytwarzaną. Moc wytwarzana może pochodzić z aktualnie pracujących źródeł konwencjonalnych i niekonwencjonalnych oraz z zainstalowanych zasobników energii. W referacie przeanalizowano możliwość magazynowania energii w różnych zasobnikach. Analiza ta uwzględnia możliwość magazynowania rozproszonego i scentralizowanego. Metody porównano pod kątem wad i zalet.

ENERGY STORAGE IN POWER SYSTEM

Abstract: Power of load should be balanced by the produced power. Production of power takes the place in conventional and unconventional energy sources and in installed energy storages. The paper presents analysis of possibility of different energy storages. Analysis takes into consideration distributed and centrally installed energy storages and their advantages and disadvantages.

trycznej. Struktura wykorzystania powyższych metod jest różna w różnych krajach. W Polsce przeważają konwencjonalne elektrownie ciepłe, w Austrii i Norwegii – wodne, podczas gdy we Francji i na Litwie – jądrowe.



Rys. 1. Przebieg krzywej dobowego obciążenia w KSEE (styczeń 2010)

reklama

Przykładowo w Polsce na koniec 2008 r. w elektrowniach ciepłych konwencjonalnych zainstalowane było 88,95%, w elektrowniach wodnych 6,61%, w gazowych 2,64%, w wiatrowych 1,54%, w pozostałych 0,26% mocy osiągalnej wynoszącej 35 373,9 MW [5]. Pozostałe źródła mają charakter marginalny w skali KSEE, chociaż można zauważyć dużą liczbę instalacji fotowoltaicznych małych mocy stosowanych do bezpośredniego zasilania małych odbiorów. W tej chwili w Polsce moc zainstalowana w elektrowniach wiatrowych wynosi kilkaset MW. Udział ten będzie z pewnością wzrastać i przy utrzymywaniu się obecnej tendencji będzie nawet dominujący. Nie oznacza to jednak dominacji w udziale procentowym w produkcji energii elektrycznej. Niezależnie od energetyki wiatrowej powinna rozwijać się energetyka oparta na bardziej dyspozycyjnych źródłach. Z drugiej strony przy tak dużej przewidywanej mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowych można rozpatrzyć alternatywne rozwiązanie polegające na wykorzystaniu zasobników energii elektrycznej w celu zapewnienia mocy dyspozycyjnej.

Zasobniki energii elektrycznej

Jako zasobniki energii elektrycznej w KSEE można rozpatrywać wszelkie instalacje mogące magazynować dowolną postać energii, czyli zamieniać energię elektryczną na inny rodzaj energii, którą w pożądanym momencie mogą oddać do KSEE w postaci energii elektrycznej. Zasobniki energii elektrycznej charakteryzują się następującymi parametrami:

- ilość zgromadzonej energii, wydajność (energia/masa);
- moc maksymalna, moc ciągła, prąd maksymalny i ciągły, napięcie, częstotliwość;
- szybkość magazynowania i czas przejścia z tego trybu na tryb oddawania energii;
- dyspozycyjność;
- łatwość realizacji w KSEE;
- sprawność, okres eksploatacji i koszty.

Nie wszystkie możliwe sposoby gromadzenia energii nadają się do użycia w KSEE. Jako zasobniki energii elektrycznej można rozpatrzyć:

- elektrownie szczytowo-pompowe;
- zasobniki ze sprężonym powietrzem;
- energię kinetyczną wirujących mas;
- nadprzewodzące układy cewek;
- kondensatory;
- akumulatory chemiczne;
- wodór i ogniwa paliwowe.

Elektrownie szczytowo-pompowe w skali świata stanowią ok. 3% energii zainstalowanej [5]. W Polsce w elektrowniach szczytowo-pompowych zainstalowana jest moc 1406,0 MW, co stanowi 3,97% mocy zainstalowanej [5]. Stanowią one dyspozycyjne źródła energii o niemal płynnym przejściu z trybu magazynowania na tryb oddawania, są jednak bardzo kosztowne. Możliwości budowy zasobników szczytowo-pompowych są uzależnione od ukształtowania terenu i od lokalnych warunków hydrologicznych. Dlatego możliwości ich powszechnego stosowania są ograniczone. Ale jeśli warunki na to pozwalają, to elektrownia szczytowo-pompowa jest najlepszym rozwiązaniem na gromadzenie energii elektrycznej.

W zasobnikach ze sprężonym powietrzem (ciśnienie dochodzące do 100 atm) wykorzystuje się naturalne zbiorniki podziemne (kopalnie, grotty, jaskinie). Zbiornik o pojemności 300 000 m³ w praktyce pozwala na pracę turbiny o mo-

cy 290 MW do 3 godzin, a zbiornik o objętości 5 320 000 m³ umożliwia pracę turbiny 110 MW przez 26 godzin. Sprawność takich zasobników dochodzi do 85% [6]. Możliwości realizacji są uzależnione od istnienia obszernych podziemnych zbiorników o odpowiedniej szczelności. Dodatkowymi problemami są zmiany temperatury powietrza podczas sprężania i rozprężania powietrza.

Wirujące koła nadają się jako źródła rozproszone o ograniczonej energii. Mają one możliwość oddawania bardzo dużej mocy, ale w krótkim czasie. Na przykład jednostka gromadząca energię 250 kWh może przez 4 min wydawać moc 2,5 MW przy czasie reakcji poniżej 5 s [6]. Mogą więc służyć jako źródła rozproszone o dużej chwilowej przeciężalności.

Nadprzewodzące układy cewek wykorzystują energię zgromadzoną w polu magnetycznym. Objętościowa gęstość energii pola magnetycznego W'_m o indukcji B i natężeniu H wyraża się wzorem:

$$W'_m = \frac{HB}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (1)$$

Przyjmując wartość indukcji $B = 1$ T, otrzymuje się objętościową gęstość energii 400 kJ/m³.

Do magazynowania energii elektrycznej może służyć kondensator. Wykonując analogiczne obliczenia i przyjmując wartość natężenia pola elektrycznego rzędu wartości przebicia powietrza $E = 3$ MV/m, otrzymuje się gęstość objętościową energii pola elektrycznego W'_e :

$$W'_e = \frac{ED}{2} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} \approx 4 \text{ kJ} / \text{m}^3 \quad (2)$$

Porównanie gęstości objętościowej energii w polu elektrycznym i magnetycznym pozornie świadczy o wyższości magazynów energii magnetycznej nad magazynami energii elektrycznej. Jednak superkondensatory, których powierzchnia aktywna może osiągnąć 2000 m² na 1 gram, charakteryzują się znacznie większą gęstością energii. Kondensator o pojemności 2700 F, napięciu znamionowym 2,5 V i objętości 0,0006 m³ pozwala na zgromadzenie energii 8,4 kJ, co daje gęstość objętościową 14 MJ/m³.

Superkondensator ma tę przewagę nad nadprzewodnikowym zasobnikiem energii, że jego instalacja jest niezwykle prosta. Nie wymaga dodatkowych urządzeń w postaci układów chłodzenia niezbędnych w instalacjach nadprzewodzących. Superkondensatory szczególnie nadają się do sieci prądu stałego np. sieci trakcyjnej. Poza tym bardzo korzystna jest współpraca równoległa superkondensatora z akumulatorem. Krótkotrwałe silne przeciążenia przejmuje superkondensator, nie dopuszczając do nagłych wzrostów prądu rozładowania akumulatora.

Systemy z bateriami akumulatorów dają możliwość użytkowania stacjonarnego (istnieje jednostka o wadze 1500 t i mocy 46 MW oddawanej w czasie 5 min) oraz użytkowania mobilnego. Baterie współczesne osiągają gęstość energii dochodzącą do 648 MJ/m³.

Wodór jako podstawowe paliwo do ogniw paliwowych stwarza pewne problemy z jego otrzymywaniem, transportem i magazynowaniem. Ale w miarę postępu technologicznego wodór może stać się jednym z podstawowych źródeł pierwotnych do

wytwarzania energii elektrycznej w systemach rozproszonych i oczywiście do zasilania pojazdów z napędem elektrycznym.

Magazynowanie rozproszone a scentralizowane

Energia elektryczna może być wytwarzana (magazynowana) w dużych jednostkach centralnych lub w wielu małych jednostkach, które mogą być sklasyfikowane jako jednostki rozproszone. Jest wiele definicji źródeł rozproszonych [2, 3, 4]. Czasami generację rozproszoną (GR) identyfikuje się ze źródłami przyłączonymi bezpośrednio do sieci rozdzielczej. To w warunkach Polski oznaczałoby najwyższą moc źródła rzędu 50–150 MW. Bardzo często generacja rozproszona ułożona jest bezpośrednio przy odbiorniku poza urządzeniami pomiarowymi.

Zgodnie z Grupą Roboczą 37-23 CIGRE generacja rozproszona związana jest z poziomem mocy 50–100 MW, w Nowej Zelandii – 5 MW, w Anglii – 100 MW, w Szwecji – 1,5 MW. W USA Electric Power Research Institute uważa, że najwyższy poziom generacji rozproszonej związany jest z mocą 50 MW.

W Polsce najwyższy poziom generacji rozproszonej związany jest z najwyższą przepustowością sieci 110 kV, która jest poniżej 200 MW.

Poza tym używanych jest wiele sposobów klasyfikowania GR [2, 3].

Zgodnie z mocą jednostek:

- mikrogeneracja rozproszona ($1 \text{ W} < P < 5 \text{ kW}$);
- mała GR ($1 \text{ kW} < P < 5 \text{ MW}$);
- średnia GR ($5 \text{ MW} < P < 50 \text{ MW}$);
- duża GR ($50 \text{ MW} < P < 150 \text{ MW}$).

Inna klasyfikacja zgodnie z mocą jednostek:

- mała GR ($P < 25 \text{ kW}$);
- średnia GR ($25 \text{ kW} < P < 1 \text{ MW}$);
- duża GR ($P > 1 \text{ MW}$).

Klasyfikacja w zależności od technologii:

- odnawialna GR;
- modułowa GR;
- skojarzona GR.

Powyższe klasyfikacje można zastosować również do zasobników energii, mówiąc o magazynowaniu rozproszonym (MR) oraz magazynowaniu centralnym (MC). Magazynowanie energii elektrycznej może odbywać się w istniejącym systemie elektroenergetycznym (KSEE), jak też poza systemem. O MR poza KSEE można mówić, gdy nie ma galwanicznego połączenia ani sprzężenia indukcyjnego czy pojemnościowego pomiędzy danym źródłem a KSEE. W takim przypadku wpływ MR na KSEE może być tylko pośredni, związany z bilansem mocy, ponieważ część odbiorów może być przełączana z KSEE na zasilanie z MR. Jeśli jednostki MR połączone są z KSEE, to stwarzają one wiele problemów natury eksploatacyjnej. Często MR jest dla KSEE bardzo uciążliwe i w związku z tym MR ma wiele wad. MR ma jednak wiele niezaprzeczalnych zalet wynikających z jej podstawowych cech. Te same cechy oprócz dobrych stron mają też strony negatywne. Trudno więc czasami jednoznacznie stwierdzić, jak dana cecha wpłynie na szeroko rozumianą eksploatację KSEE. Dlatego trzeba dokładnie przeanalizować sens wprowadzania MR do KSEE.

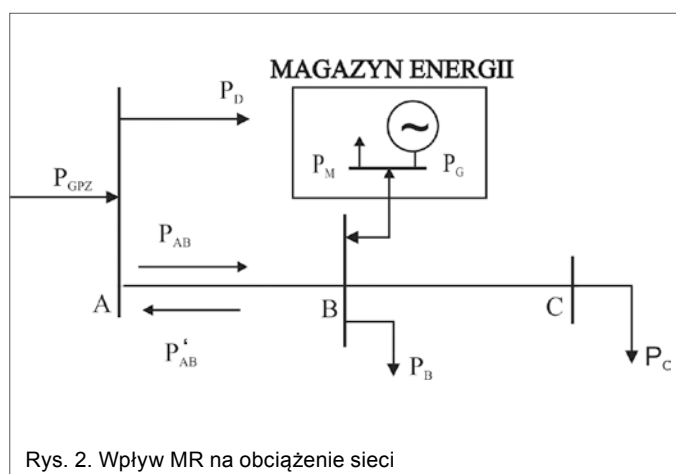
Pierwszą zasadniczą cechą MR jest decentralizacja. Umieszczenie magazynów w pobliżu odbiorców może zwiększać ich świadomość dotyczącą użytkowania energii, wpływu na środowisko i w konsekwencji kształtować podejście energooszczędne i proekologiczne. Decentralizacja ogranicza też potencjalne

Tabela 1. Porównanie różnych zasobników energii pod względem wydajności, sprawności i stopnia trudności przyłączenia do KSEE

Rodzaj zasobnika	Wydajność [Wh/kg]	Sprawność	Przyłączenie do SEE
Elektrownie szczyt.-pomp.	–	ok. 0,80	Łatwe
Sprężone powietrze	–	do 0,85	Łatwe
Wirujące masy	do 10 000	do 0,70	Trudne
Nadprzew. układy cewek	do 100	0,4–0,99	Trudne
Kondensatory	do 30	80–90	Trudne
Akumulatory chemiczne	91,2	0,65–0,75	Trudne
Wodór i ogniwa paliwowe	do 11 000	0,3–0,6	Trudne

Tabela 2. Porównanie różnych zasobników energii pod względem możliwości realizacji, możliwości długotrwałej pracy oraz miejsca w KSEE

Rodzaj zasobnika	Techniczna możliwość realizacji	Środowiskowa możliwość realizacji	Możliwość długotrwałej pracy	Miejsce w SEE
Elektrownie szczyt.-pomp.	Łatwa	Trudna	Długa, ograniczona	C, R
Sprężone powietrze	Trudna	Trudna	Długa, ograniczona	C, R
Wirujące masy	Trudna	Łatwa	Krótką, ograniczona	R
Nadprzew. układy cewek	Trudna	Łatwa	Krótką, ograniczona	R
Kondensatory	Łatwa	Łatwa	Krótką, ograniczona	R
Akumulatory chemiczne	Łatwa	Łatwa	Długa, ograniczona	R
Wodór i ogniwa paliwowe	Łatwa	Łatwa	Długa, nieograniczona	R



Rys. 2. Wpływ MR na obciążenie sieci

Jeśli w sieci zainstaluje się magazyn energii, który pobiera moc P_M , to nie wolno dopuścić do sytuacji, aby przekroczona została obciążalność dopuszczalna jakiegokolwiek linii. Na rys. 2 najbardziej narażona jest linia AB, więc:

$$P_{AB} = P_M + P_B + P_C < P_{dopAB} \quad (4)$$

W zależności od rodzaju magazynu moc P_M nie musi być równa mocy P_G . Relacje pomiędzy P_M , P_G mogą być dowolne. Jedynie zgromadzona energia musi być równa energii oddanej wraz ze wszelkimi stratami.

Jeśli $P_G \approx P_C + P_B$, wtedy $P_{AB} \approx 0$. Istnieje jednak możliwość, że $P_M \ll P_G \gg P_B + P_C$. Taka możliwość istnieje, kiedy są dobre warunki do lokalizacji magazynu, a obszar jest mało uprzemysłowiony. Wówczas możliwa jest relacja:

$$P'_{AB} = P_G - P_B - P_C > P_{dopAB} \quad (5)$$

skutki awarii dużych jednostek. Przy okazji powstaje wiele niezależnych podmiotów.

Jednostkowe koszty MR mogą być wyższe niż w przypadku MC. W pobliżu małych jednostek może rosnąć poziom mocy zwarciovych, co podnosi koszty aparatury sieciowej.

Jeśli MR jest dostatecznie blisko odbiorców i wytwarzana moc jest odbierana bezpośrednio przez tych odbiorców, to niewątpliwie maleją straty przesyłowe. Obniżone są koszty rozbudowy linii. Ograniczenia sieciowe zostają zredukowane. W przypadku większych jednostek MR (rys. 2) pozbawionych pobliskich odbiorów straty mogą być większe niż dla MC. Powstaje też problem obciążalności sieci.

Jeśli w SEE nie ma magazynu energii ($P_M = 0$, $P_G = 0$), wtedy wszystkie odbiory zasilane są z GPZ i całkowita moc P_{GPZ} wynosi (z pominięciem strat przesyłowych):

$$P_{GPZ} = P_{AB} + P_D = P_B + P_C + P_D \quad (3)$$

gdzie: P_{dopAB} – obciążalność prądowa linii AB. Widać, że może być przekroczona obciążalność dopuszczalna linii AB. Takie sytuacje występują w praktyce.

Widać więc, że koszty przesyłu i dystrybucji mogą ulec obniżeniu i ograniczona może zostać konieczność rozbudowy sieci. Z drugiej strony jednostki rozproszone mogą stwarzać zapotrzebowanie na moc bierną, zwiększając straty sieciowe i wpływając negatywnie na poziomy napięcie w sieci. Poza tym wprowadzenie do KSEE nowych jednostek MR może łączyć się z koniecznością rozbudowy sieci. Na przykład budowa dużej instalacji na obszarze niezaludnionym, słabo zelektryfikowanym.

Rozproszenie jednostek w SEE może komplikować ich sterowanie i podnosić koszty automatyki. MR towarzyszą rozproszone układy sterowania, które mogą być w konflikcie z nadrzędnymi układami sterowania.

MR może znacząco polepszyć stan środowiska naturalnego. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że sam fakt wykorzystywania odnawialnych źródeł energii i magazynów nie jest równoważny z polepszeniem środowiska naturalnego. Trzeba wziąć też pod uwagę cykl wytwórczy całej infrastruktury związanej z odnawialnymi źródłami energii i wykonaniem, zainstalowaniem, eksploatacją i likwidacją magazynu.

W zależności od sposobu MR mogą być problemy z wkomponowaniem w krajobraz dużej liczby obiektów. Wzrasta prawdopodobieństwo niewłaściwego zagospodarowania obiektu po zakończeniu eksploatacji.

Jednostki MR mogą być masowo produkowane, co jest niewątpliwie zaletą. Obniżenie jednostkowych nakładów inwestycyjnych poprawia konkurencyjność MR. Z drugiej strony często większe jednostki (MC) mają wyższą sprawność. MR wiąże się też z zapotrzebowaniem na jednostki wytwórcze o różnych mocach. Stanowi to korzystną sytuację dla łatwiejszego doboru mocy jednostki dla konkretnego zapotrzebowania.

Wprowadzenie MR na obszarach peryferyjnych powoduje wzrost pewności zasilania. Z drugiej strony w sieciach lokalnych może powodować pogorszenie pewności zasilania. Należy zastosować nowe narzędzia do oceny bezpieczeństwa KSEE uwzględniające obecność MR.

MR powoduje, że rozwój KSEE może wymykać się centralnemu planowaniu i prognozowaniu. Należy zastosować nowe metody i narzędzia planowania i prognozowania. Można oczekiwać szerszego wykorzystania metod sztucznej inteligencji. Planowanie i prognozowanie trzeba często przenieść na szczebel regionalny.

Podobna sytuacja występuje z modelowaniem matematycznym KSEE. Model taki powinien uwzględniać obecność jednostek MR. Często może to być trudne, chociażby z powodu okresowej pracy niektórych jednostek wytwórczych (np. elektrowni wiatrowych, słonecznych) i oczywiście magazynów.

Aby rozstrzygnąć problem wad i zalet MR, można wyobrazić sobie dwa skrajne scenariusze. Pierwszy scenariusz (skrajne scentralizowanie): całe zapotrzebowanie na magazynowanie energii elektrycznej pokrywane jest przez jeden wielki centralny magazyn MC, a MR nie istnieje.

Drugi scenariusz (skrajne rozproszenie): całe zapotrzebowanie na magazynowanie pokrywane jest przez jednostki rozproszone MR, a MC nie istnieje. Stopień rozproszenia może być różny. Jeśli jednostki MR są o mocach dochodzących do 150–200 MW, to każda jednostka MR będzie zasilac grupę odbiorów niezbyt odległe od siebie, ale na tyle odległe, że istnieje konieczność budowy linii elektroenergetycznych. Najbardziej skrajną postacią tego scenariusza będzie umieszczenie MR przy każdym źródle posiadającym chwilowe nadwyżki mocy w stosunku do zapotrzebowania.

Na koniec można stwierdzić, że MR jest na pewno bardziej „elastyczne”, ponieważ jest łatwiejsze do lokalizacji, ma krótszy okres czasu od zaplanowania do uruchomienia, może być bardziej mobilne, szybciej reagować na okresowe zmiany w zapotrzebowaniu na energię, może służyć do wypełniania i korygowania niedoskonałości w centralnym prognozowaniu i planowaniu rozwoju scentralizowanego wytwarzania energii i rozwoju KSEE.

Możliwości realizacji magazynowania w SEE

W celu porównania różnych sposobów magazynowania energii można wybrać szereg kryteriów. W tabeli 1 przedstawiono porównanie różnych zasobników energii pod względem wydajności, sprawności i stopnia trudności przy przyłączeniu do SEE [6, 7]. Te kryteria informują o przydatności danego sposobu magazynowania w KSEE. Od razu można zauważyć, że niektóre z tych sposobów wytwarzają prąd przemienny trójfazowy w zwykłych generatorach synchronicznych (np. elektrownie szczytowo-pompowe, sprężone powietrze), inne wymagają zastosowania przekształtnika (akumulatory, ogniwa paliwowe).

W tabeli 2 przedstawiono różne sposoby magazynowania energii z oceną możliwości zastosowania w SEE. Pod uwagę wzięto stopień trudności w realizacji, możliwość długotrwałej pracy, a także możliwość pracy w rozproszeniu (R) lub centralnej systemowej (C).

Większość z tych zasobników nadaje się do generacji rozproszonej. Jest to znacząca zaleta, ponieważ umożliwia łatwiejsze

reklama

zbilansowanie lokalne energii wytwarzanej w źródłach rozproszonych, które najczęściej wykorzystują energię odnawialną.

Oczywiście przy wyborze rodzaju zasobnika potrzebna jest też analiza kosztów.

Bardzo ważnym problemem jest też rozmieszczenie zasobników zarówno MR, jak i MC. Biorąc pod uwagę zasady przyłączania podmiotów do KSEE [8], potrzebna będzie ekspertyza przyłączeniowa o zakresie uzależnionym od miejsca przyłączenia w KSEE. Ekspertyza taka powinna praktycznie obejmować dwa problemy: analizę wpływu przyłączenia odbioru na pracę KSEE (magazynowanie) oraz analizę wpływu przyłączenia źródła na pracę KSEE (oddawanie energii elektrycznej).

Wnioski

W dobie rozwoju wytwarzania energii elektrycznej w oparciu o źródła odnawialne oraz uwzględniając krzywą dobowego obciążenia KSEE na pewno zastosowanie zasobników energii przyniesie olbrzymie korzyści zarówno dla przedsiębiorstw wytwarzających energię elektryczną, spółek przesyłowych i dystrybucyjnych w stanach normalnych, jak i dla odbiorców. Przede wszystkim złagodzeniu ulegnie krzywa obciążenia dobowego, zmaleją straty przesyłowe, zwiększy się niezawodność dostaw energii elektrycznej.

Poza tym w stanach awaryjnych odpowiednio dobrane zasobniki mogą pełnić rolę źródeł interwencyjnych w odpowiednio długim czasie.

W bilansie całkowitym mocy wytwarzanej i gromadzonej należy też uwzględnić naturalne zasobniki energii w KSEE, jakimi są linie napowietrzne (pole elektryczne i magnetyczne), linie kablowe (głównie pole elektryczne), transformatory (pole magnetyczne) i turbogeneratory (energia kinetyczna).

W związku z tym, że moc oddawana z magazynu może znacznie różnić się od mocy dostarczanej w okresie ładowania, należy dokładnie zbadać wpływ magazynu na pracę sieci zarówno w okresie ładowania, jak i w okresie pracy źródłowej.

O ostatecznym doborze rodzajów magazynów, ich liczby, stopniu rozproszenia, miejscu zainstalowania powinna zdecydować odpowiednia analiza techniczno-ekonomiczna.

Literatura

- [1] www.pse-operator.pl
- [2] KACEJKO P.: *Generacja rozproszona w systemie elektroenergetycznym*. Lublin 2004.
- [3] PASKA J., SALEK M., SURMA T.: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. „Wiadomości Elektrotechniczne”, nr 12 (2005), s. 3–13.
- [4] ROSOŁOWSKI E.: *Automatyka zabezpieczeniowa układów generacji rozproszonej*. „Wiadomości Elektrotechniczne”, nr 3 (2004), s. 20–22.
- [5] www.ure.gov.pl
- [6] BARANECKI A.: *Zasobniki energii*. „Wiadomości Elektrotechniczne”, nr 7–6, 2004, s. 25–29.
- [7] PASKA J., KŁOS M.: *Techniczne i ekonomiczne aspekty magazynowania energii dla poprawy efektywności wykorzystania OZE na przykładzie elektrowni wiatrowych*. XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Aktualne Problemy w Elektroenergetyce”, Gdańsk – Jurata, 3–5 czerwca 2009, Tom, IV, s. 69–77.
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Dz. U. z 2007 r. nr 93, poz. 623.

prof. zw. dr inż. dr h.c. Ryszard Sikora ur. 1.10.1932 r. w Niechobrze (Rzeszowskie). 1956 r. – mgr inż. elektryk, 1967 r. – dr inż., 1971 r. – docent, 1976 r. – prof. nadzw., 1986 r. – prof. zw. Twórca Szczecińskiego Ośrodka Elektrotechniki Teoretycznej i Badań Nieniszczących. Członek KE PAN i wielu redakcji czasopism. Członek *Word Federation Nondestructive Evaluation Center* (Iowa State University);

dr hab. inż. Michał Zeńczak ur. 19.06.1957 r. w Szczecinie. 1981 r. – mgr inż. elektryk, 1989 r. – dr inż., 2000 r. – dr hab. inż., 1981–1984 pracował w Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji przy PKP. Od 1984 r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej (aktualnie na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie)

artykuł recenzowany