

Elektromagnetyzm a zagadnienia gromadzenia energii

Streszczenie. W pracy zajęto się praktycznym wykorzystaniem magazynów energii w zastosowaniach do samochodów elektrycznych, jak również systemów zasilania gwarantowanego UPS. Przeprowadzono analizy doboru magazynów energii głównie z uwagi na ich gęstości mocy oraz gęstości energii dla uzyskania określonych celów użytkowych.

Abstract. In this paper the practical application of energy storages use for electric cars, as well as uninterruptible power supply UPS was presented. The selection of energy storage was analysed mainly in view of their power density and energy density in order to obtain certain utility objectives. (Electromagnetism and power accumulation issues).

Słowa kluczowe: zasobniki energii, elektromagnetyzm, systemy zasilania gwarantowanego, samochody elektryczne.

Keywords: energy storages, electromagnetism, uninterruptible power systems, electric cars.

doi:10.12915/pe.2014.12.55

Wprowadzenie

Do funkcjonowania urządzeń technicznych niezbędna jest zawsze energia. Najwygodniejszą w użytkowaniu formą energii (z uwagi na łatwość przetwarzania i przesyłu) jest energia elektryczna. W wielu przypadkach bardzo korzystnym sposobem dostarczenia energii (szczególnie w systemach mobilnych) okazuje się zastosowanie zasobników energii [1-12].

Oprócz magazynów elektrochemicznych (akumulatorów oraz ogniw paliwowych) we wszystkich pozostałych rozpatrywanych w praktyce zasobnikach energii wykorzystuje się elektromagnetyzm. Następuje w nich gromadzenie energii w polu elektrycznym, w polu magnetycznym bądź zamiana energii mechanicznej na energię elektryczną przy wykorzystaniu zjawiska indukcji elektromagnetycznej.

W pracy przeprowadzono rozważania związane z zagadnieniami gromadzenia energii, czyli od strony ilościowej i jakościowej z doбором zasobników energii w zastosowaniu do konkretnych układów technicznych, jakimi są systemy zasilania gwarantowanego oraz samochody elektryczne. Wykazano jednoczesne zapotrzebowanie w rozważanych układach na duże ilości energii oraz możliwości szybkiego, dynamicznego jej pobierania i uzupełniania. Opisano możliwości rozwiązania problemów wynikających z tych potrzeb.

Zasobniki energii

W zasobnikach (magazynach) energii elektrycznej może mieć miejsce magazynowanie bezpośrednie, czyli gromadzenie energii w polu elektrycznym (superkondensatory) bądź magnetycznym (układy cewek nadprzewodzących), lub pośrednie – przy wykorzystaniu konwersji z jednego rodzaju energii na inny (kinetyczne zasobniki energii, pneumatyczne zasobniki energii, elektrownie wodne szczytowo-pompowe, ogniwa paliwowe oraz akumulatory). Wynika stąd, że w większości z tych rozwiązań (poza zasobnikami elektrochemicznymi) wykorzystywany jest do gromadzenia energii elektromagnetyzm. W zasobnikach elektrochemicznych zachodzą reakcje chemiczne, zatem skazane są one raczej na stosunkowo niskie gęstości mocy. Korzystniej sprawa kształtuje się w magazynach działających na zasadzie konwersji między energiami elektryczną i mechaniczną. Inny charakter pracy pod tym względem można zauważyć w magazynach bezpośrednich, wykorzystujących elektromagnetyzm. Ich funkcjonowanie związane jest ze zmianą rozmieszczenia ładunków elektrycznych w określonej strukturze (gromadzenie energii w polu elektrycznym – superkondensatory) bądź z ruchem ładunków (gromadzenie energii w polu magnetycznym –

układy cewek nadprzewodzących). Osiągają one znacznie większe gęstości mocy, a więc mają możliwość szybszej wymiany ładunku, czyli stosowania większych prądów ładowania i rozładowania, natomiast charakteryzują się mniejszymi gęstościami energii, a zatem mniejszą zasobnością zgromadzonych ładunków [3-7].

Zasobniki energii mogą być wykorzystywane w celach: zasilania urządzeń mobilnych (samochody, sprzęt przenośny itp.), dostarczania energii w przypadkach nieprawidłowych parametrów bądź zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej (systemy zasilania gwarantowanego), stabilizacji pracy systemu energetycznego (wyrównanie dobowych poziomów obciążeń – przejmowanie nadwyżek energii w okresach niskich obciążeń oraz oddawanie energii do systemu w czasie obciążeń przekraczających możliwości wytwórcze źródeł energii), współpracy z odnawialnymi źródłami energii (m. in. ogniwami i kolektorami słonecznymi, elektrowniami wiatrowymi i wodnymi oraz wykorzystującymi biomasę), dostarczenia energii do odbiorników o specyficznych warunkach zasilania (np. obciążenia o dużej mocy) [1-7].

Wybór właściwego rozwiązania fizycznego magazynu energii w odniesieniu do konkretnych zastosowań zależy od wielu czynników, między innymi od warunków eksploatacyjnych, gabarytów, potrzeb mobilności bądź stacjonarności magazynu energii, ilości gromadzonej energii, uwarunkowań środowiskowych itp.

Jednym z podstawowych kryteriów doboru zasobników energii jest możliwość ich transportowania. Nierzadko zachodzi potrzeba dostarczania energii elektrycznej do odbiornika, którego wymagania w zakresie dostępnej mocy, jak i ilości energii są niewielkie, lecz konieczna jest ich mobilność. Przykładem tego typu odbiorników są wszelkiego rodzaju urządzenia elektroniczne, jak np. telefony komórkowe, odtwarzacze dźwięku czy tablety. W takich układach najczęściej stosuje się źródła elektrochemiczne, spośród których największą popularnością cieszą się baterie litowo-jonowe.

Bez wątpienia istotnym aspektem magazynów energii jest również skala ilości gromadzonej energii. W systemach elektroenergetycznych, związanych z największym ilościowo zapotrzebowaniem na energię, wykorzystywane są zasobniki w postaci elektrowni szczytowo-pompowych oraz zasobniki pneumatyczne (wykorzystujące podziemne wyrobiska, groty, jaskinie itp.). Ograniczenia w możliwościach ich zastosowania mogą wynikać z uwarunkowań środowiskowych (geologicznych).

Kolejnym wyznacznikiem wyboru rodzaju magazynu energii jest dynamika wymiany energii (szybkość dostarczania i odbierania energii, czyli prądy ładowania oraz rozładowania). Przykładem takich zasobników są

układy magazynujące energię w polu magnetycznym (cewki nadprzewodzące) oraz elektrycznym (superkondensatory). Umożliwiają one gwałtowne przekazywanie energii do odbiornika, jednak posiadają ograniczoną zdolność do jej gromadzenia. Jako przykład zastosowania takich magazynów podać można wyrzutnie elektromagnetyczne, układy zasilające lasery militarne czy systemy typu start-stop w pojazdach samochodowych.

W wielu przypadkach wykorzystania zasobników energii gęstość mocy i gęstość energii są parametrami bardzo istotnymi jednocześnie. Prawidłowy dobór magazynów energii pod tym kątem często nie jest łatwy i niejednokrotnie powstaje zapotrzebowanie na stworzenie tandemu dwóch zasobników o różnym charakterze, aby sprostać wymaganiom jednoczesnego oczekiwania dużych zasobności magazynów oraz możliwości szybkiej wymiany ładunku.

Magazyny energii w systemach zasilania gwarantowanego (UPS)

Systemy zasilania gwarantowanego są urządzeniami, których podstawowym zadaniem jest dostarczenie energii elektrycznej do odbiorników (najczęściej o znaczeniu priorytetowym, strategicznym) w przypadku zaników bądź nieprawidłowości napięcia w sieci elektroenergetycznej – jego wartości lub częstotliwości (praca w trybie buforowym, baterijnym), a także poprawa jakości napięcia dostarczanego do wrażliwych odbiorników podczas pracy sieciowej (tryb pracy normalnej). Głównymi blokami funkcjonalnymi UPS o wyższym stopniu zaawansowania technicznego (VFI, on-line) – z podwójnym przetwarzaniem energii są: wejściowy układ prostowniczy, magistrala stałoprądowa, falownik, układy sterujące i przełączające oraz zasobniki energii [1-3].

W układzie prostowniczym napięcie sieciowe zostaje wyprostowane i doprowadzone do magistrali stałoprądowej, z której zasilany jest falownik. Układ falownikowy wytwarza napięcie sinusoidalne o założonych, ściśle kontrolowanych parametrach. Część energii z magistrali stałoprądowej dostarczana jest do zasobników energii (akumulatorów) w celu utrzymania ich w stanie pełnego naładowania. Gdy wartość lub częstotliwość napięcia sieciowego przekroczy dopuszczalne poziomy lub w przypadku zaniku napięcia w sieci, falownik pobiera energię zgromadzoną w zasobnikach i nieprzerwanie zasilą zabezpieczone odbiorniki. Energia do falownika (magistrali stałoprądowej) dostarczana jest z dwóch źródeł: a) napięcie sieciowe przetworzone w układzie prostowniczym, b) zasobniki energii. Ponieważ podczas przełączania z pracy sieciowej na baterijną odłączane jest tylko jedno ze źródeł energii (sieć elektryczna o nieprawidłowych parametrach napięcia), falownik pracuje nieprzerwanie i napięcie do zabezpieczanych odbiorników dostarczane jest całkowicie bezprzerwowo. Czas zasilania odbiorników w trybie baterijnym zależy od mocy podłączonych odbiorników oraz od ilości energii zgromadzonej w zasobnikach. Po rozładowaniu zasobników energii odbiorniki przestają być zasilane, lecz czas pracy bateryjnej jest tak dobierany, aby w bezpieczny sposób zakończyć procesy realizowane przez odbiorniki (kontrolowane odłączenie zasilania odbiorników). Ponowne załączenie zasilania odbiorników ma miejsce najczęściej dopiero po przywróceniu napięcia sieciowego i naładowaniu zasobników do odpowiedniego poziomu, gwarantującego ewentualne ponowne podtrzymanie zasilania (pracę buforową) w razie kolejnego zaniku energii sieciowej. Realizowane jest to w celu uniknięcia powstania niekontrolowanych zaników zasilania elektrycznego, które mogłyby spowodować: bezpowrotną utratę przetwarzanych informacji i danych, powstanie strat finansowych

wynikających z przestoju w procesach produkcyjnych bądź z uszkodzeń zasilanego osprzętu, powstanie zagrożeń dla życia lub zdrowia człowieka w rezultacie braku pracy aparatury medycznej itp.

Wynika stąd, że jednym z najważniejszych elementów doboru zasilaczy UPS do współpracy z zabezpieczanymi odbiornikami jest właściwy dobór zasobników energii, a w konsekwencji czasu podtrzymania zasilania w trybie pracy bateryjnej. Bardzo istotnym czynnikiem jest również szybkość odzyskiwania gotowości do ponownej pracy po rozładowaniu zasobników energii, czyli czas ładowania magazynów.

W przypadku systemów zasilania gwarantowanego najistotniejszymi parametrami, na podstawie których zostają wybrane zasobniki energii, są gęstość energii (świadcząca o zasobności urządzenia magazynującego), gęstość mocy (określająca dostępną szybkość gromadzenia i oddawania ładunku), trwałość (przewidywana żywotność) oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne (związane z zakupem, częstotliwością wymiany, obsługowością oraz powstającymi stratami energetycznymi). Z uwagi na własności funkcjonalne i ekonomiczne spośród wspomnianych wcześniej zasobników energii w zasilaczach UPS wykorzystuje się przede wszystkim akumulatory elektrochemiczne, ale również w mniejszym stopniu superkondensatory. Możliwe jest również zastosowanie ogniw paliwowych lub zasobników z masami wirującymi.

Z poziomu gęstości energii oraz kosztów inwestycyjnych wynika powszechność wykorzystania w systemach UPS akumulatorów kwasowo-ołowiowych (patrz tabela 1). Kłopotem w tych rozwiązaniach jest czas odzyskiwania gotowości do ponownej pracy po rozładowaniu, wynoszący kilka do kilkunastu godzin. Problemem są także koszty eksploatacyjne, wynikające głównie ze stosunkowo krótkiej żywotności zasobników elektrochemicznych, dodatkowo intensywnie pogarszającej się w niekorzystnych warunkach użytkowania (szczególnie temperaturach wyższych od 25°C). Koszty te związane są z okresowym serwisowaniem oraz wymianą baterii, na co rzadziej zwraca się uwagę na etapie zakupu systemu [1-3,8-12].

Tabela 1. Porównanie parametrów (rzędy wielkości) akumulatorów i superkondensatorów

Parametr	Akumulatory	Superkondensatory
gęstość energii	duża – rzędu 100 Wh/kg	mniejsza – rzędu 10 Wh/kg
gęstość mocy	mała – rzędu 100 W/kg	bardzo duża – rzędu 10000 W/kg
czasy uzupełniania energii	długie – rzędu kilku godzin	krótkie – rzędu kilku minut
trwałość: czas eksploatacji / liczba cykli ład.-rozład.	mała – rzędu 5 lat / około 1000 cykli	bardzo duża – rzędu 20 lat / około 1000000 cykli
koszty inwestycyjne	niskie	bardzo wysokie
długoterminowe koszty eksploatacyjne	bardzo wysokie	niskie
sprawność	70-80%	około 95%
rezystancja wewnętrzna	kilkanaście mΩ	poniżej 0,3 mΩ
deklarowany zakres temperatur pracy	5°C + 35°C	- 40°C + 65°C

Wymienione niekorzystne czynniki eliminowane są w znacznym stopniu w przypadku wykorzystania jako magazynu energii superkondensatorów (tab. 1). Pełny ładunek może w nich być odzyskiwany w kilka minut. Z deklarowanej przez producentów długiej trwałości (zarówno w postaci czasu użytkowania, jak również liczby cykli ładowanie-rozładowanie) i braku obsługowości wynika eliminacja kosztów eksploatacyjnych. Korzystna jest także znikoma zależność ich parametrów funkcjonalnych od

warunków użytkowania. Poważnymi natomiast problemami w tych rozwiązaniach są mniejsza zasobność magazynu (gęstość energii) i wiążące się z tym uzyskiwane czasy podtrzymania zasilania oraz bardzo wysokie koszty inwestycyjne (zakupu).

Zasobniki z masami wirującymi oraz ogniwa paliwowe mają mniejsze gęstości mocy niż superkondensatory, natomiast są drastycznie droższe od akumulatorów. Ich parametry nie uzupełniają niekorzystnych cech akumulatorów (najbardziej rozpowszechnionych ze względu na zasobności energii i koszty inwestycyjne), dlatego na obecną chwilę nie są praktycznie wykorzystywane w systemach zasilania gwarantowanego [3,7].

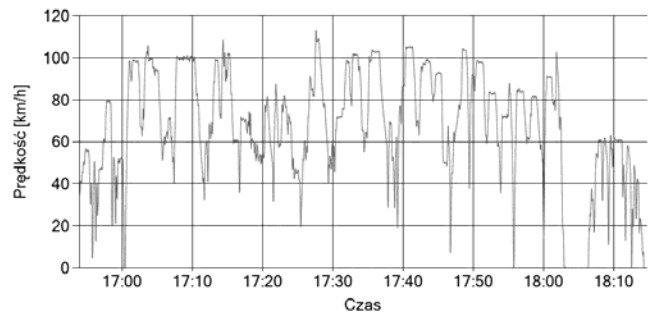
Ewidentnie można zauważyć, że analizowane dwa zasobniki energii (akumulatory i superkondensatory) wzajemnie uzupełniają się parametrami. Problemy jednych są zaletami drugich i odwrotnie. Z rozważań tych wynika zatem, że najbardziej korzystnym rozwiązaniem byłoby zastosowanie tandemu tych magazynów, czyli ich równoległa praca. Można byłoby wówczas osiągnąć pewną równowagę między kosztami inwestycyjnymi a eksploatacyjnymi. W przypadku UPS dość jednoznaczna byłaby też logika zarządzania przepływem energii w takim układzie. Jako pierwszy rozładowywany powinien być superkondensator, bo podczas krótkotrwałych zaników napięcia sieciowego energia z akumulatorów może nie być pobierana, co wydłuża żywotność zasobników elektrochemicznych, a jednocześnie możliwe jest wówczas szybsze pełne uzupełnienie gromadzonej energii z uwagi na dużą gęstość mocy superkondensatorów. Po pełnym rozładowaniu zasobników jako pierwszy powinien być ładowany superkondensator, bo szybko odzyskuje stan naładowania, czyli szybciej osiąga się pewien poziom zgromadzonego ładunku, przy którym można ponownie zasilić zabezpieczone odbiorniki.

Zastosowanie zasobników energii do zasilania pojazdów elektrycznych

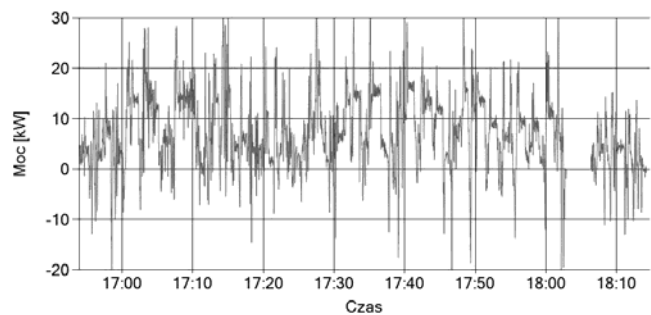
Jako kolejny przykład zastosowania omówionych zasobników energii elektrycznej przedstawić można samochody elektryczne. W pojazdach takich stosuje się różnego rodzaju źródła energii elektrycznej. Także w tych rozwiązaniach podstawowymi aspektami decydującymi o doborze zasobnika są zdolność do gromadzenia energii oraz możliwość przekazania niezbędnej mocy. W przypadku zagadnień dotyczących funkcjonowania pojazdów czynnikami ściśle związanymi z tymi wielkościami są dystans i charakterystyka jazdy, a także wielkość (gabaryty i masa) samochodu.

Większość pojazdów posiadających wyłącznie napęd elektryczny, ze względu na ograniczenia związane z zapasem energii, przeznaczona jest głównie do jazdy miejskiej lub mieszanej – na odległości nie przekraczające kilkudziesięciu kilometrów bez doładowania. Także masa i gabaryty takich pojazdów są ograniczane do minimum. Z tego względu, dla przedstawienia przykładowej analizy związanej z doбором zasobnika energii do pojazdu wybrano samochód o masie 850 kg, powierzchni czołowej 2,5 m², pokonujący dystans około 90 km.

W celu określenia zapotrzebowania na moc dokonano rejestracji prędkości jazdy (rys. 1) samochodu osobowego z silnikiem spalinowym, jadącego dynamicznie ze średnią prędkością równą około 67 km/h (pojazd pokonał założony dystans 90 km w czasie około 80 minut). Następnie uwzględniając opory ruchu (toczenia i aerodynamiczne) wyznaczono siły działające na pojazd oraz moc potrzebną do uzyskania zadanej prędkości (rys. 2), a na jej podstawie energię niezbędną do pokonania zadanej odcinka drogi (9,9 kWh, przy założeniu braku odzysku energii) [3,11].



Rys. 1. Zarejestrowany przebieg prędkości jazdy pojazdu w funkcji czasu



Rys. 2. Zależność zapotrzebowanej mocy w analizowanym przejeździe samochodu w funkcji czasu

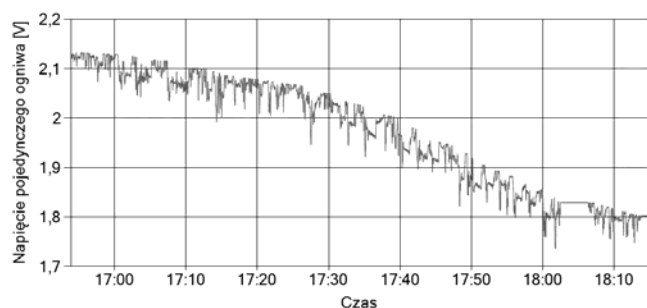
Z analizy wynika, że średnie zapotrzebowanie na moc wynosi 7,7 kW, lecz w kilku momentach znacznie przekracza 25 kW. Uwzględniając fakt, że napięcie źródła zasilania ze względów bezpieczeństwa nie powinno przekraczać 100 V, można oszacować, że maksymalny prąd chwilowy nie powinien przekraczać 250 A. Biorąc jednak pod uwagę efekt obniżenia napięcia wynikający z rozładowania zasobnika energii, spadek napięcia na jego rezystancji wewnętrznej i rezystancji połączeń elektrycznych, należy założyć, że prąd może znacznie przekraczać 300 A. W takich przypadkach efektywnym zasobnikiem, który można byłoby zastosować, jest superkondensator charakteryzujący się wysoką trwałością (żywotnością), znakomitą zdolnością do szybkiego oddawania energii (co jest niezwykle istotnym parametrem w przypadku pojazdów), a także dużą odpornością na wahania temperatury. Jednak ze względu na małą gęstość energii charakteryzującą te zasobniki nie nadają się one jako jedyne źródło energii w pojazdach. Niedobór energii może natomiast zaspościć akumulator, który odznacza się wielokrotnie większą zdolnością do gromadzenia energii. Wykorzystanie do tego celu tradycyjnych akumulatorów kwasowo-ołowiowych jest popularnym rozwiązaniem stosowanym w pojazdach samochodowych.

W celu sprawdzenia minimalnych parametrów akumulatora umożliwiającego zasilanie omawianego pojazdu (zgodnie z zadaną charakterystyką jazdy) opracowano aplikację komputerową służącą do symulacji rozładowania akumulatorów. Jej poprawność obliczeniową zweryfikowano porównując otrzymane charakterystyki rozładowania ze stałomocowymi charakterystykami rozładowania akumulatorów serii EV przedstawionymi w katalogu firmy Europower [8]. W tabeli 2 przedstawiono czasy podane w katalogu (t_k) oraz czasy obliczone przez opracowaną aplikację (t_{obl}) podczas rozładowywania określonymi stałymi wartościami mocy (P) akumulatorów o trzech pojemnościach elektrycznych (C_{20}). Obliczenia wykonano dla trzech czasów rozładowania, rozładowując do trzech różnych napięć końcowych.

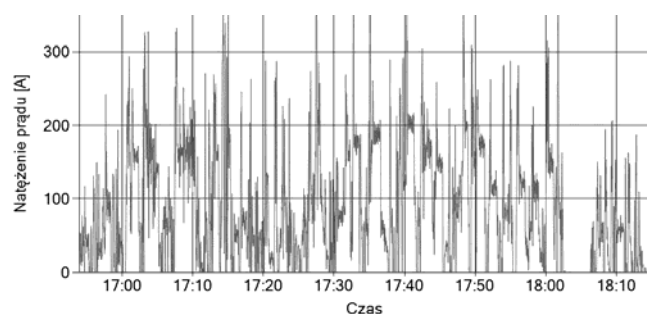
Tabela 2. Porównanie obliczonych czasów rozładowania (t_{obl}) z danymi katalogowymi (t_k) akumulatorów firmy Europower [8]

C ₂₀ [Ah]	P [W]	t _{kat} [s]	t _{obl} [s]	P [W]	t _{kat} [s]	t _{obl} [s]	P [W]	t _{kat} [s]	t _{obl} [s]
Rozładowanie do napięcia 1,7 V/ogniwo									
33	171,8	600	602	75,3	1800	1678	41,3	3600	3316
50	260,5	600	600	114,1	1800	1669	62,6	3600	3289
75	390,7	600	611	171,3	1800	1671	93,9	3600	3241
Rozładowanie do napięcia 1,6 V/ogniwo									
33	180,8	600	611	77	1800	1788	42	3600	3508
50	274	600	610	116,6	1800	1782	63,8	3600	3493
75	411	600	642	174,9	1800	1739	95,6	3600	3478
Rozładowanie do napięcia 1,5 V/ogniwo									
33	184,3	600	658	78	1800	1847	42,5	3600	3603
50	279,1	600	649	118,1	1800	1843	64,3	3600	3607
75	418,8	600	622	177,2	1800	1810	96,6	3600	3582

Czasy uzyskane podczas symulacji różnią się względem danych katalogowych od kilku do 10 procent, co uznać należy za wynik poprawny (szczególnie w kontekście wykorzystania obliczeń do szacowania zużycia energii podczas jazdy pojazdu samochodowego). W związku z tym, wykorzystując opracowaną aplikację, dokonano symulacji rozładowania baterii zbudowanej z 3 modułów po 7 akumulatorów o pojemności elektrycznej 75 Ah firmy Europower, czyli o wypadkowej (łącznej) pojemności 225 Ah i napięciu 84 V. Jako warunek świadczący o spełnieniu minimalnych wymagań eksploatacyjnych zasobnika uznano nieprzekroczenie prądu dopuszczalnego oraz utrzymanie napięcia powyżej 1,7 V/ogniwo. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach 3 oraz 4.



Rys. 3. Zależność zmian napięcia na ogniwie w funkcji czasu



Rys. 4. Zależność zmian prądu pobieranego z akumulatorów w funkcji czasu

Uzyskane wyniki świadczą o tym, że wybrany moduł akumulatorowy jest wystarczającym zasobnikiem energii dla testowego pojazdu, jednak należy podkreślić, że pod koniec symulacji napięcie na ogniwach obniża się znacznie poniżej wartości 1,8 V, co oznacza, że taka eksploatacja zasobnika energii powtarzana wielokrotnie szybko mogłaby doprowadzić do jego degradacji. Dlatego pokonywanie analizowanego odcinka drogi przez pojazd testowy wymaga

wyposażenia go w zasobnik o pojemności co najmniej 300 Ah.

Należy również wziąć pod uwagę, że pobór prądu o dużym natężeniu także powoduje obniżenie trwałości akumulatorów kwasowo-ołowiowych, dlatego najlepszym rozwiązaniem do spełnienia założonych celów jest połączenie obu omówionych zasobników (akumulatora kwasowo-ołowiowego oraz superkondensatora), których zalety funkcjonalne uzupełniałyby się wzajemnie.

Uwagi i wnioski

W wielu odbiornikach energii elektrycznej precyzyjne określenie charakterystyki wykorzystania zasobników energii jest niezwykle trudne i niejednoznaczne. Jest to spowodowane specyficznym charakterem zachowania się określonych układów, w których zachodzą intensywne różnice w sposobach ich eksploatacji, a powtarzalność ich rzeczywistych parametrów jest ograniczona. Przykładem takiego odbiornika są samochody elektryczne, które pokonując zadany odcinek drogi w różnych warunkach cechują się zapotrzebowaniem zarówno energetycznym, jak również mocy zmieniającym się w bardzo szerokich granicach. Znacznie bardziej przewidywalnym systemem w tym zakresie jest układ zasilania gwarantowanego.

Dobór odpowiedniego zasobnika energii elektrycznej jest istotnym elementem mającym wpływ na efektywność i trwałość całego układu. Wybierając zasobnik konieczne jest zwrócenie uwagi nie tylko na jego pojemność elektryczną, ale również na ograniczenia związane z dostępnymi mocami chwilowymi. Dlatego coraz częściej stosowane są hybrydowe magazyny energii, które stanowią rozwiązanie problemu zarówno związanego z magazynowaniem energii, jak i zdolnością do jej szybkiego poboru lub oddawania. Systemy takie nie są jednak jeszcze bardzo popularne, ponieważ wymagają one złożonych układów, służących do sterowania przepływem energii między zasobnikami oraz odbiornikiem.

LITERATURA

- [1] Bednarek K., Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach, *Elektro.info*, 2012, nr 1-2, 54-57
- [2] Bednarek K., Moduły bateryjne w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), *Elektro.info*, 2013, nr 4, 72-74
- [3] Bednarek K., Kasprzyk L., Functional analyses and application and discussion regarding energy storages in electric systems, in: *Computer Applications in Electrical Engineering*, edited by R. Nawrowski, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznan 2012, 228-243
- [4] Korzeniewska E., Drzymała A., Elektrownie fotowoltaiczne – aspekty techniczne i ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 324-327
- [5] Paska J., Kłos M., Michalski Ł., Molik Ł., Układy hybrydowe – integracja różnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, *Elektroenergetyka*, 2010, nr 4(6), 46-57
- [6] Sikora R., Zeńczak M., Magazynowanie energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym, *Napędy i sterowanie*, 2011, nr 2, 61-66
- [7] Tomczewski A., Wykorzystanie kinetycznych magazynów energii do poprawy warunków współpracy turbiny wiatrowej z systemem elektroenergetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 6, 224-227
- [8] <http://www.emu.com.pl/>
- [9] <http://www.ultracapacitor.co.kr/>
- [10] <http://www.welcome-ecolcap.put.poznan.pl/>
- [11] <http://www.samochodyelektryczne.pl/>
- [12] <http://www.ever.eu/>

Autorzy: dr inż. Leszek Kasprzyk, dr inż. Karol Bednarek, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, e-mail: Leszek.Kasprzyk; Karol.Bednarek@put.poznan.pl.