

Karol BEDNAREK*
Leszek KASPRZYK**

ZASOBNIKI ENERGII W SYSTEMACH ELEKTRYCZNYCH. CZEŚĆ I - CHARAKTERYSTYKA PROBLEMU

W pracy rozpatrywane jest wykorzystanie zasobników energii w układach zasilania elektrycznego. Przeanalizowano i porównano parametry oraz własności użytkowe akumulatorów i superkondensatorów, jako często stosowanych magazynów energii. Przeprowadzone rozważania wykorzystano do analiz funkcjonalnych związanych z gromadzeniem energii w systemach zasilania gwarantowanego, jak również z układami zasilania stosowanymi w samochodach elektrycznych bądź hybrydowych.

W pierwszej części pracy opisano ważność poruszanej tematyki, scharakteryzowano krótko najczęściej wykorzystywane magazyny energii oraz przedstawiono własności funkcjonalne i parametry akumulatorów oraz superkondensatorów. W części drugiej dokonano analizy porównawczej akumulatorów i superkondensatorów oraz zamieszczono wyniki analiz zastosowań tych zasobników energii w systemach zasilania (na przykładzie UPS EVER serii SINLINE oraz układu napędowego samochodu osobowego).

1. WPROWADZENIE

Zasobniki (magazyny) energii elektrycznej są systemami, umożliwiającymi gromadzenie energii w dowolnej postaci (poprzez zamianę energii elektrycznej na inny rodzaj energii lub akumulowanie energii w polu magnetycznym bądź elektrycznym), a następnie w pożądanym momencie przetworzenie zgromadzonej energii i jej dostarczenie (oddanie) w postaci energii elektrycznej o określonych parametrach [1-4]. Stosowanie zasobników energii związane jest głównie z zagadnieniami prawidłowości pracy systemu elektroenergetycznego (szczególnie w przypadkach wykorzystania odnawialnych źródeł energii), z funkcjonowaniem układów zasilania gwarantowanego (których główną grupę stanowią zasilacze UPS), z zasilaniem systemów mobilnych, a zatem np. sprzętu teleinformatycznego, przenośnych urządzeń medycznych, sprzętu powszechnego użytku, jak również z nowoczesnymi technologiami zasilania wykorzystywanymi w przemyśle motoryzacyjnym.

Przerwy w dostarczaniu energii elektrycznej nie tylko mogą być uciążliwe dla odbiorców z uwagi na brak zasilania i możliwości funkcjonowania urządzeń, ale mogą też wywoływać dotkliwe konsekwencje w postaci utraty danych

* EVER Sp. z o.o., Poznań.

** Politechnika Poznańska.

w systemach informatycznych, uszkodzeń osprzętu elektrycznego, jak również być przyczyną dyskomfortu związanego z brakiem możliwości zapewnienia właściwego ogrzewania pomieszczeń użytkowych (głównie w warunkach zimowych). Trafnym rozwiązaniem tego typu problemów jest zastosowanie systemów zasilania gwarantowanego, jakimi są zasilacze awaryjne UPS. W trybie pracy rezerwowej (załączanym w przypadku braku zasilania sieciowego lub nieprawidłowych parametrów napięcia zasilającego) wykorzystuje się w nich zgromadzoną w zasobnikach energię elektryczną w celu zasilania zabezpieczanych odbiorników (najczęściej o znaczeniu krytycznym). Od własności funkcjonalnych zastosowanych magazynów energii zależą jakość i efekty pracy systemów zasilania gwarantowanego, a w konsekwencji bezpieczeństwo i warunki funkcjonowania odbiorników.

Koszty strat energii w światowej gospodarce, wynikające z nieefektywnego zarządzania energią oraz niewłaściwej jakości energii elektrycznej, liczone są w setkach miliardów dolarów rocznie [1, 4]. Znaczną eliminację tych strat uzyskuje się przez wprowadzenie racjonalnego gospodarowania energią, wykorzystanie źródeł ekologicznych czy stosowanie rozproszonych systemów zasilania, co dodatkowo często ma korzystny wpływ na środowisko naturalne. Stosowanie magazynów energii w energetyce umożliwia gromadzenie energii w okresach, gdy występuje jej nadmiar w systemie wytwórczo-dystrybucyjnym, a następnie jej efektywne użytkowanie w okresach niedoborów energii bądź występujących przeciążeń odbiorczych, jak również wykorzystanie ich jako źródeł interwencyjnych podczas awarii albo chwilowych intensywnych wahań poboru mocy. Stosuje się je również do współpracy z ekologicznymi źródłami (fotowoltaicznymi, wiatrowymi itp.) jako bufor energii w stochastycznych warunkach pracy i obciążeń tych źródeł. Wynika stąd, że zasobniki energii pełnią w energetyce rolę stabilizatorów systemu zasilania.

Z magazynowaniem energii związane są także układy zasilania stosowane w pojazdach elektrycznych bądź hybrydowych. W rozważaniach dotyczących tych systemów należy uwzględnić jednocześnie potrzeby zapewnienia przez zastosowane w nich zasobniki energii dużej gęstości mocy (czyli dużej dynamiki przyjmowania i oddawania ładunku elektrycznego), jak również dużej gęstości energii (a zatem wysokiej wydajności lub inaczej zasobności źródła).

W pracy rozpatrywano możliwości magazynowania energii, przy czym szczególną uwagę skupiono na własnościach użytkowych i porównaniu dwóch zasobników energii, jakimi są akumulatory i superkondensatory. Analizy prowadzono pod kątem wykorzystania tych urządzeń w systemach zasilania gwarantowanego (UPS) oraz w przemyśle motoryzacyjnym. Jako przykłady fizyczne rozpatrywano własności funkcjonalne UPS EVER serii SINLINE w wersjach: z modułem akumulatorowym i Evolution (z superkondensatorami) oraz systemu napędowego samochodu elektrycznego.

2. UKŁADY ZASOBNIKÓW ENERGII

Gromadzenie energii powiązane jest z wykorzystaniem zjawisk fizycznych i chemicznych. W zasobnikach energii następuje: zamiana energii elektrycznej na energię chemiczną lub mechaniczną i odwrotnie albo też gromadzenie energii elektrycznej w polu magnetycznym bądź elektrycznym. Jako zasobniki energii rozpatruje się [1-8]:

- kinetyczne zasobniki energii – energia mas wirujących,
- pneumatyczne magazyny energii – zasobniki ze sprężonym powietrzem,
- elektrownie szczytowo-pompowe – energia masy wód,
- ogniwa paliwowe i paliwo wodorowe,
- wtórne ogniwa elektrochemiczne – akumulatory (bateryjne zasobniki energii),
- nadprzewodzące magnetyczne zasobniki energii,
- superkondensatory.

Kinetyczne zasobniki energii

W kinetycznych magazynach energia elektryczna zamieniana jest na energię mechaniczną i gromadzona w ruchu obrotowym masywnych wirników. Wirujące koło zamachowe pobiera energię elektryczną w celu nadania oraz utrzymania swojej prędkości kątowej, a następnie (w okresach intensywnego zapotrzebowania na energię bądź przerw w zasilaniu) zgromadzona w kole energia mechaniczna zamieniana jest na energię elektryczną o określonych parametrach (przy wykorzystaniu generatorów i przekształtników energoelektrycznych) [1,5-7]. Stosuje się układy wolnoobrotowe (do 10000 obr/min) oraz szybkoobrotowe (do 100000 obr/min). W rozwiązaniach szybkoobrotowych wykorzystywany jest wirnik kompozytowy, wirujący w próżni na łożyskach magnetycznych. Posiadają one bardzo duże gęstości mocy, natomiast mniejsze gęstości energii. Charakteryzują się wysokimi sprawnościami (przekraczającymi 90%) oraz zadowalającymi trwałościami (czas eksploatacji rzędu 20 lat), lecz jednocześnie dużą kosztocłonnością.

Elektrownie szczytowo-pompowe

W elektrowniach szczytowo-pompowych energia elektryczna (w okresach nadmiaru produkcji w stosunku do zapotrzebowania) zamieniana jest na energię potencjalną wody przepompowywanej z dolnego do górnego zbiornika, a następnie (w okresach szczytu obciążenia) energia masy wody zamieniana jest w generatorze na energię elektryczną. W systemach tych magazynowane są bardzo duże energie, możliwe są pobory dużych mocy (od dziesiątek do setek MW), a czasy ładowania-rozładowania są rzędu godzin lub dni. Osiągają sprawności około 80%, a czas ich eksploatacji szacowany jest na 30÷50 lat. Możliwości ich zastosowania silnie zależą od warunków hydro-geologicznych terenu. Są bardzo kosztownymi przedsięwzięciami [1,4,7]. Wykorzystywane są w celach optymalizacji zarządzania energią w systemach elektroenergetycznych.

Pneumatyczne magazyny energii

W systemach tych energia magazynowana jest pod postacią sprężonego gazu (powietrza – przy ciśnieniu do około 100 atm.), a następnie przetwarzana na energię elektryczną (przy pomocy generatorów oraz przekształtników energoelektronicznych). Wykorzystanie zasobników ze sprężonym powietrzem jest uzależnione od istnienia naturalnych zbiorników podziemnych (jaskinie, kopalnie, grotty) o odpowiedniej szczelności. Umożliwiają gromadzenie bardzo dużych energii i eksploatację przy dużych zmianach poboru mocy. Sprawności w nich są rzędu 60÷80%, a trwałość około 20÷40 lat. Mankamentem są silne wzajemne zależności ciśnienia i temperatury. Rozpatrywane są jako alternatywa dla elektrowni szczytowo-pompowych w systemach elektroenergetycznych [1, 7].

Ogniwa paliwowe

Ogniwa paliwowe są urządzeniami generującymi energię elektryczną w wyniku zachodzenia elektrochemicznej reakcji utleniania dostarczanego z zewnątrz paliwa (nie występuje w nich gromadzenie energii). Są ogniwami galwanicznymi, w których paliwo (wodór w stanie czystym lub w mieszaninie) jest dostarczane w sposób ciągły do anody, a utleniacz (tlen w stanie czystym lub mieszaninie – powietrze) doprowadzany jest w sposób ciągły do katody. W procesie wytwarzania energii nie zachodzą zmiany chemicznej natury elektrod oraz wykorzystywanych elektrolitów. W efekcie elektrochemicznej reakcji wodoru oraz tlenu powstaje energia elektryczna, woda i ciepło. Wyróżnić można wiele typów ogniw paliwowych, różniących się między sobą konstrukcją, temperaturą pracy (80÷1000°C), rodzajem elektrolitu i katalizatorów czy materiałem elektrod. Są źródłami ekologicznymi i cichymi podczas pracy, cechują się krótkim czasem uruchamiania i szybką reakcją na zmiany obciążenia. Osiągają sprawności rzędu 40÷60%, mają dużą gęstość energii, uzyskiwane są mniejsze moce (do MW), a szacowany czas nieprzerwanej eksploatacji wynosi od kilkuset do 10 tysięcy godzin. Mankamentami w ich wykorzystaniu są bardzo wysokie koszty technologiczne i materiałowe, trudności w produkcji i przechowywaniu wodoru oraz wrażliwość na zanieczyszczenia [1, 4, 7, 8]. Rozpatrywane są jako jedno z najbardziej przyszłościowych źródeł energii elektrycznej.

Nadprzewodzące magnetyczne zasobniki energii

Podstawą funkcjonowania tej grupy magazynów energii jest gromadzenie energii w polu magnetycznym cewek indukcyjnych wykonanych z nadprzewodników. W systemach tych mogą być stosowane bardzo duże wartości prądu (rzędu kA), ponieważ praca ich odbywa się w bardzo niskich temperaturach (poniżej temperatury ciekłego azotu), dzięki czemu straty mocy w uzwojeniu są znikome. Charakteryzują się bardzo dużymi sprawnościami (dochodzącymi do 95%), dużymi przewidywanymi czasami eksploatacji (do 30 lat), zdolne są do przenoszenia dużych mocy (rzędu MW), ale posiadają małe gęstości energii. W praktyce wykorzystywane są rzadko z powodu wysokich kosztów elementów nadprzewodnikowych oraz chłodzenia (niezbędnego dla ich funkcjonowania) [1].

Najbardziej rozpowszechnionymi zasobnikami energii (poza przemysłem elektroenergetycznym) są akumulatory, ale niezwykle ciekawym i przyszłościowym rozwiązaniem są coraz doskonalsze rozwiązania superkondensatorów. Z uwagi na dostępność, własności użytkowe oraz obszar zastosowań w kolejnych rozdziałach pracy przedstawiono szerzej parametry funkcjonalne oraz porównania właśnie tych dwóch magazynów energii.

3. WŁASNOŚCI FUNKCJONALNE WTÓRNYCH OGNIW ELEKTROCHEMICZNYCH (AKUMULATORÓW)

W akumulatorach (czyli wtórnych ogniwach elektrochemicznych) energia elektryczna jest gromadzona w postaci energii chemicznej, przy czym elektrody i elektrolit biorą udział w zachodzących reakcjach chemicznych, co skutkuje zmianami parametrów technicznych oraz ograniczeniem trwałości akumulatorów.

Stosowane są różne konstrukcje wtórnych ogniw elektrochemicznych, wśród których można wymienić akumulatory [7, 8]: kwasowo-ołowiowe, sodowo-siarkowe (charakteryzujące się dużą sprawnością, wysoką gęstością mocy, dużą gęstością energii, ale drogie technologicznie oraz wymagające wysokiej temperatury pracy), litowo-jonowe oraz litowo-polimerowe (duże: gęstości mocy, gęstości energii i sprawności, drogie technologie, trudności eksploatacyjne), cynkowo-bromowe (duże gęstości mocy i energii, kosztowne eksploatacyjnie, zawierają toksyczne i łatwo korodujące materiały), wanadowe (duże gęstości mocy i energii, kosztowne technologie, trudna standaryzacja, przeznaczone do dużych aplikacji), nikielowo-kadmowe oraz nikielowo-metalowo-wodorkowe (duże odporności mechaniczne, długi czas eksploatacji, duża gęstość energii, droga technologia, zawartość materiałów toksycznych).

Z uwagi na niską cenę w stosunku do pojemności, prostotę układu ładowania oraz możliwość krótkotrwałego obciążania dużymi prądami w systemach zasilania gwarantowanego (UPS) i układach zasilania pojazdów powszechnie stosuje się akumulatory kwasowo-ołowiowe. Są one urządzeniami posiadającymi stosunkowo dużą gęstość energii, czyli jednostkową ilość zgromadzonej energii elektrycznej wyrażaną masowo bądź objętościowo (jest ona rzędu 100 Wh/kg). Osiągają sprawności rzędu 70%. Największymi mankamentami akumulatorów ołowiowych jako magazynów energii są [2, 3, 7, 8]: mała gęstość mocy (wynosząca około 100 W/kg), długie czasy uzupełniania energii (od kilku do kilkunastu godzin), mała trwałość wyrażana w cyklach ładowania-rozładowania (poniżej 1000 cykli), stosunkowo duża masa oraz znaczna zależność parametrów (SEM, rezystancji wewnętrznej, pojemności oraz trwałości) od temperatury. Mała gęstość mocy świadczy o małej dynamice przyjmowania i oddawania ładunku elektrycznego, a zatem ograniczeniu wartości prądów użytkowych. Długotrwałe duże prądy ładowania i rozładowania intensywnie wpływają na zmniejszenie

trwałości oraz pojemności akumulatorów. Temperatura pracy wyższa od zalecanej (20°C) wywołuje niszczenie materiału aktywnego elektrod oraz korozję kratki, co powoduje skrócenie czasu eksploatacji akumulatora (o 50% przy każdym trwałym wzroście temperatury o około 10°C) i analogiczne zmniejszenie jego pojemności oraz przyspiesza proces samorozładowania akumulatora. W niskich temperaturach maleje napięcie źródłowe akumulatora, wzrasta rezystancja wewnętrzna i obniżają się zdolność rozruchowa oraz zdolność do przyjmowania ładunku.

Niekorzystnym elementem w akumulatorach jest występowanie elektrolitu w stanie płynnym, z czym wiążą się możliwości powstawania wycieków, a jednocześnie potrzeba zapewnienia obsługi w zakresie uzupełniania elektrolitu.

W celu poprawy własności użytkowych akumulatory wykonuje się często jako bezobsługowe (typu SLA – Sealed Lead Acid – szczelne ołowiowo-kwasowe lub VRLA – Valve Regulated Lead - Acid – kwasowo-ołowiowe z zaworami regulacyjnymi). Produkuje się je w dwóch technologiach [1-4, 7, 8, 10]:

- a) akumulatory żelowe (w których wodny roztwór kwasu siarkowego po wymieszaniu z krzemionką tworzy masę o konsystencji żelu, spełniającego rolę elektrolitu),
- b) akumulatory AGM (Absorbed Glass Mat – w których elektrolit jest zaabsorbowany w separatorze wykonanym z porowatej maty szklanej).

Wadą akumulatorów żelowych w stosunku do AGM są ograniczenia co do rozładowywania dużymi prądami, dlatego rzadziej są wykorzystywane w układach wysokomocowych.

Z uwagi na ograniczenie obsługi urządzeń (zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych) oraz eliminację możliwości powstawania wycieków elektrolitu obecnie najczęściej stosuje się akumulatory bezobsługowe. Przykładowe parametry takich akumulatorów zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie parametrów przykładowych akumulatorów bezobsługowych [10,16]

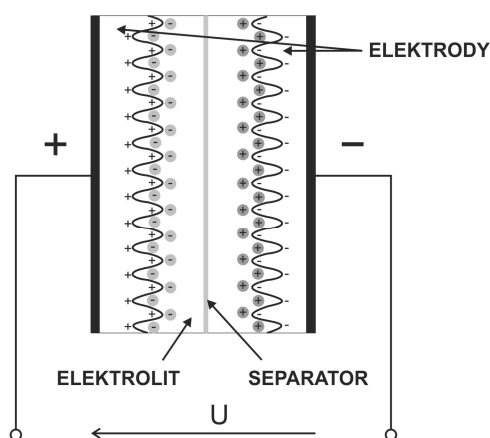
Parametr	Oznaczenie i jednostka	AGM EP 5-12	TROJAN T1275
napięcie	U [V]	12	12
pojemność elektryczna	C _n [Ah]	5	150
rezystancja wewnętrzna	R _w [mΩ]	27	15
prąd ładowania	I _L [A]	0,5 (max 1,5)	15 (max 30)
gęstość mocy	P/m [W/kg]	72	129
gęstość energii	A/m [Wh/kg]	34,8	48,6
zakres temp. pracy	T [°C]	0 ÷ 40	0 ÷ 40
ilość cykli ładowania	n [-]	1 000	1 000
czas ładowania	t _L [h]	14	16

4. SUPERKONDENSATORY – WŁASNOŚCI FUNKCJONALNE

Konkurencyjnym rozwiązaniem magazynów energii są układy związane z gromadzeniem energii w polu elektrycznym (w których nie zachodzą reakcje chemiczne), czyli kondensatory. W tradycyjnych rozwiązaniach charakteryzują się małą ilością gromadzonego ładunku elektrycznego, czyli małą gęstością energii.

Superkondensatory (nazywane również ultrakondensatorami) są specyficznej budowy kondensatorami elektrolitycznymi [3,4,9,12]. Funkcjonowanie ich polega na gromadzeniu ładunków elektrycznych w obrębie podwójnej warstwy elektrycznej (Electric Double Layer – ELD), która powstaje na granicy ośrodków elektroda – elektrolit (rys. 1).

Wykorzystując zaawansowane nanotechnologie elektrody produkują się w postaci wielościennych nanorurek węglowych, dzięki czemu osiąga się ich olbrzymie powierzchnie właściwe (przekraczające nawet 2000 m² na jeden gram elektrody), a dzięki temu również ogromne pojemności. Jako substancje elektrolityczne stosowane są elektrolity organiczne (przy których zastosowaniu uzyskuje się wyższe wartości napięć pracy – rzędu 2,7 ÷ 2,8 V – dzięki czemu osiąga się wyższe gęstości energii) bądź elektrolity wodne (napięcie pracy jest w nich ograniczone do wartości 0,7 ÷ 0,8 V w celu uniknięcia zajścia elektrolizy).



Rys. 1. Wytworzenie się warstw podwójnych w naładowanym superkondensatorze

Superkondensatory charakteryzują się bardzo dużą pojemnością elektryczną (nawet rzędu kilku tysięcy faradów), mniejszą gęstością energii (zasobnością naładowanego źródła, czyli zdolnością do magazynowania energii) rzędu 10 Wh/kg, bardzo dużą gęstością mocy (możliwością poboru dużych energii w krótkim czasie, a zatem ładowania i rozładowywania dużymi prądami, czyli uzyskania szybkiej wymiany ładunku) – kształtującą się nawet na poziomie

10000 W/kg, małą wartością rezystancji wewnętrznej (osiągającą wartości poniżej 0,3 mΩ), a zatem małymi wewnętrznymi stratami energetycznymi, wysoką sprawnością (nawet przekraczającą 95%), bardzo dużą trwałością (zarówno wyrażaną w postaci czasu eksploatacji szacowanego na 20 lat, jak i liczby cykli ładowania-rozładowania wynoszącej około 1000000), krótkimi czasami uzupełniania energii (rzędu kilku minut), możliwością pracy w szerokim zakresie temperatur ($-40^{\circ}\text{C} \div 65^{\circ}\text{C}$), niewielką degradacją własności użytkowych przy wielokrotnym ładowaniu i rozładowaniu oraz małą szkodliwością dla środowiska.

Największą wadą superkondensatorów jest bardzo wysoka cena, co wraz z burzliwym rozwojem nanotechnologii może szybko ulec zmianie.

Szersze informacje na temat własności funkcjonalnych i parametrów technicznych superkondensatorów zamieszczono w pracach [1-3, 12]. Najważniejsze parametry techniczne przykładowych modułów superkondensatorów (wykorzystanych w aplikacjach przedstawionych w następujących rozdziałach) zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie parametrów przykładowych modułów superkondensatorów [11]

Parametr	Oznaczenie i jednostka	LSUM 050R4P 0166F EA	3 x LSUM 033R6P 0250F EA
napięcie	U [V]	45 (max 50,4)	90 (max 100,8)
rezystancja wewnętrzna	R_w [mΩ]	6,5	14,4
prąd ładowania	I_L [A]	150	150
gęstość mocy	P/m [W/kg]	400	514
gęstość energii	A/m [Wh/kg]	3,42	4,00
zakres temp. pracy	T [°C]	$-40 \div +65$	$-40 \div +65$
ilość cykli ładowania	n [-]	1 000 000	1 000 000
czas ładowania	t_L [h]	0,013	0,011
pojemność kondensatora	C [F]	166,6	83

5. UWAGI I WNIOSKI

Wybór najkorzystniejszego magazynu energii uwarunkowany jest głównie charakterem realizowanej aplikacji. W zastosowaniach o mocach do setek kW trafnym rozwiązaniem jest posłużenie się w charakterze zasobników energii akumulatorami lub superkondensatorami, których (jak wynika z zamieszczonych w pracy opisów) parametry użytkowe uzupełniają się. Opłacalność zastosowania określonego rozwiązania zależy od potrzeb zasilanego układu. Materiał aplikacyjny związany z rozważanymi problemami zawarto w części drugiej pracy.

LITERATURA

- [1] Baranecki A., Niewiadomski M., Płatek T., Zasilanie gwarantowane – teraz i w przyszłości, *Automatyka Elektroenergetyczna*, nr 9, 2003.
- [2] Bednarek K., Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach, *Elektro.info*, nr 1-2, 2012.
- [3] Bednarek K., Superkondensatory, porównanie z zasobnikami akumulatorowymi w UPS, *Elektrosystemy*, nr 2, 2012.
- [4] Sikora R., Zeńczak M., Magazynowanie energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym, *Napędy i sterowanie*, nr 2, 2011.
- [5] Tomczewski A., Wykorzystanie kinetycznych magazynów energii do poprawy warunków współpracy turbiny wiatrowej z systemem elektroenergetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, nr 6, 2010.
- [6] Tomczewski A., Suppression of an Interruption in Wind Power Plant Operation of Certain Duration with the Use of a Kinetic Energy Storage, *Materiały Międzynarodowej Konferencji z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów, IC-SPETO, Gliwice-Ustroń 2009*.
- [7] Paska J., Kłós M., Michalski Ł., Molik Ł., Układy hybrydowe – integracja różnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, *Elektroenergetyka*, nr 4, 2010.
- [8] Czerwiński A., Akumulatory baterie ogniwa, WKiŁ, Warszawa 2005.
- [9] Bujło P., Sikora A., Paściak G., Chmielowiec J.: Energy flow monitoring unit for Hy-IEL (PEM fuel cell-supercapacitor) electric scooter, *Electrical Review*, No 3(86), 2010.
- [10] http://www.emu.com.pl/pl_produkty_akumulatory_europower_kd_ud.php
- [11] <http://www.ultracapacitor.co.kr/support/index.html>
- [12] <http://www.welcome-ecolcap.put.poznan.pl/>
- [13] <http://www.pg.gda.pl/~jarguz/e-pojazdy.htm>
- [14] <http://www.samochodyelektryczne.pl/>
- [15] <http://www.ever.eu/>
- [16] <http://www.sklepcentra.pl/>

ENERGY STORAGE IN ELECTRIC SYSTEMS.

Part I - DESCRIPTION OF THE PROBLEM

The study considered the use of energy storage in electric power systems. The parameters and application properties of batteries and supercapacitors, as energy storage is often used, was analyzed and compared. Conducted reflections were used for functional analysis of the accumulation of energy in uninterruptible power supply systems, as well as power supply systems used in electric or hybrid cars.

The first part describes the importance of the issues discussed, briefly characterized most commonly used energy storage, and presents the functional properties and parameters of batteries and ultracapacitors. The second part of a comparative analysis of batteries and ultracapacitors, and provides results of analyzes of the energy storage applications in power systems (on the example of UPS EVER SINLINE series and propulsion system of the car).