

Dobór hybrydowego zasobnika energii do pojazdu elektrycznego

Streszczenie. W pracy zajęto się zagadnieniami współpracy zasobników energii z układem napędowym pojazdu elektrycznego. Dokonano doboru hybrydowego zasobnika energii, składającego się z akumulatorów kwasowo-ołowiowych oraz superkondensatorów, do przejechania określonego odcinka drogi oraz przeanalizowano przepływy energii między zasobnikami a układem napędowym samochodu elektrycznego. W końcowej części pracy skomentowano uzyskane rezultaty.

Abstract. In the work, issues of energy storage collaboration with the propulsion system of an electric vehicle were discussed. A hybrid energy storage consisting of lead-acid batteries and supercapacitors was selected to drive a specific roads. Also the flow of energy between the storage and electric vehicle drive system was analyzed. In the final part of the paper, the obtained results were commented (**The selection of hybrid energy storage for electrical vehicle**).

Słowa kluczowe: zasobniki energii, samochody elektryczne, akumulatory i superkondensatory, bilanse energii

Keywords: energy storages, electric cars, batteries and supercapacitors, energy balance

Wprowadzenie

Wytwarzane przez człowieka urządzenia techniczne dla prawidłowego funkcjonowania potrzebują dostarczenia energii. Najkorzystniejszą w wykorzystaniu praktycznym formą energii jest energia elektryczna, ponieważ łatwo można ją przetwarzać, transportować, magazynować i użytkować. Część odbiorników energii elektrycznej zasilana jest sieciowo. Istnieje jednak znaczna grupa urządzeń, w których nie jest możliwe zastosowanie zasilania sieciowego, lecz wykorzystuje się zasobniki energii. Dobór odpowiedniego magazynu energii zależy od parametrów użytkowych zasobników energii (które bardzo często znacznie się różnią) oraz od charakteru zapotrzebowania ze strony odbiorników (czas zasilania, dynamika zmian obciążenia, poziomy stosowanych prądów itp.) [1,2,3,4].

W pracy zajęto się problematyką doboru zasobników energii elektrycznej do pojazdu elektrycznego poruszającego się trasą o zadanej charakterystyce. Omówiono także podstawowe własności popularnych magazynów energii stosowanych do zasilania pojazdów jakimi są akumulatory kwasowo-ołowiowe oraz superkondensatory, które – ze względu na swoje cechy – coraz częściej stosowane są do wspomaganie pracy innych zasobników.

Zasobniki energii

W wielu obecnie funkcjonujących układach zasilania elektrycznego wykorzystuje się zasobniki energii. Mogą być one stosowane do stabilizacji systemu energetycznego, np. w elektrowniach szczytowo-pompowych bądź wykorzystujących podziemne zbiorniki powietrza albo w przypadkach odnawialnych źródeł energii – tzw. źródeł „chimerycznych”, w których wydatek energetyczny uzależniony jest od czynników losowych (występowanie wiatru, poziom nasłonecznienia itp.). Są także nieodzownym elementem układów zasilania rezerwowego, w których zmagazynowaną w zasobnikach energię wykorzystuje się (po przetworzeniu w blokach wewnętrznych tych systemów) do bezprzerwowego zasilania odbiorników w przypadkach zaników bądź nieprawidłowych parametrów napięcia sieciowego [4,5,6,7]. Bardzo powszechnie wykorzystywane są również w celu dostarczenia energii do układów mobilnych, takich jak przenośny sprzęt teleinformatyczny (telefony komórkowe, tablety, laptopy, urządzenia audio itp.), elementy przenośnego oświetlenia czy zupełnie odmienne w swej

naturze środki transportu samochodowego (we wszelkich wykonaniach: spalinowe, elektryczne czy hybrydowe).

W systemach energetycznych jako zasobniki energii wykorzystuje się najczęściej duże zbiorniki wodne lub zasobniki pneumatyczne (sprężone powietrze w zbiornikach podziemnych – wyrobiskach). W przypadku współpracy z odnawialnymi źródłami energii dość często stosowanymi są zasobniki kinetyczne (z masami wirującymi) [5,6].

W zasilaniu urządzeń mobilnych konieczne jest wykorzystanie zasobników energii, które właściwie dostosowane będą do charakteru pracy odbiorników ilością zmagazynowanej energii, dynamiką przekazywania i odzyskiwania (uzupełniania) energii oraz możliwościami przemieszczania [8,9,10].

Dokonując doboru zasobnika energii elektrycznej uwzględnić należy wiele różnych parametrów charakteryzujących zasobnik, przy czym dwa z nich zasługują na szczególną uwagę – są to gęstość energii (określająca zasobność energetyczną zasobnika) oraz gęstość mocy (czyli zdolność do oddawania określonej energii w danym czasie, a zatem możliwość stosowania prądów o dużych wartościach). Istotnymi parametrami są również: rezystancja wewnętrzna, temperatura pracy (czynnik środowiskowy), sprawność (związana z powstającymi stratami wewnętrznymi), żywotność (trwałość), jak również cena [11,12].

Zasobniki energii w obiektach mobilnych

Wśród mobilnych zasobników energii wyróżnić można: wtórne ogniwa elektrochemiczne – akumulatory (w których energia chemiczna zamieniana jest na elektryczną), kinetyczne – z masami wirującymi (w których energia gromadzona jest w postaci mechanicznej), superkondensatory (ma w nich miejsce gromadzenie energii w polu elektrycznym) oraz ogniwa paliwowe (generują energię elektryczną w wyniku przebiegu elektrochemicznej reakcji utleniania dostarczanego z zewnątrz paliwa – gromadzenie energii może polegać na wytworzeniu reakcji odwrotnej).

Systemy mobilne mogą mieć zupełnie odmienną naturę, a co za tym idzie różny charakter zapotrzebowania na energię elektryczną. Takim najbardziej typowym przykładem tych różnic są z jednej strony telefony komórkowe, tablety lub laptopy, czyli urządzenia teleinformatyczne, z drugiej natomiast samochody elektryczne. Występują w nich różne zapotrzebowania na zasobność, gabaryty oraz ciężar wykorzystywanych

zasobników czy dynamikę poboru energii. W osprzęcie teleinformatycznym upowszechniły się zasobniki elektrochemiczne (akumulatory) – szczególnie w postaci ogniw litowo-jonowych czy polimerowych, ale przewidywane są coraz częściej jako przyszłe źródła zasilania superkondensatory. W pojazdach rozważane były wykorzystania kinetycznych zasobników energii, lecz problemem są ciągle powstające silne momenty bezwładności związane z dużymi prędkościami obrotowymi dużych mas (szczególnie sprawiające kłopoty w przypadkach złej przyczepności kół do nawierzchni lub stwarzające zagrożenia bezpieczeństwa w przypadkach kolizji). Cały czas trwają prace nad wykorzystaniem do zasilania samochodów elektrycznych ogniw paliwowych, lecz jest to hamowane przez ciągle duże koszty oraz niebezpieczeństwo, jakie wiąże się z przechowywaniem niebezpiecznego gazu. Z uwagi na cenę i własności użytkowe popularnie wykorzystywane są w samochodach akumulatory kwasowo-ołowiowe (szczególnie jako rozruchowe), natomiast w rozwiązaniach elektrycznych i hybrydowych coraz częściej pojawiają się akumulatory litowo-jonowe, a pewnym nowum są próby zastosowania superkondensatorów.

Jak z tych rozważań wynika, mimo różnic w charakterze zapotrzebowań na energię zarówno w obszarze teleinformatyki, jak również motoryzacji, w obiektach mobilnych w praktyce stosuje się przede wszystkim ogniwa elektrochemiczne. Mają one pewne ograniczenia funkcjonalne szczególnie w zakresie dynamiki oddawania i przyjmowania energii (gęstości mocy). Z tych względów coraz częściej rozważa się wykorzystanie jako dodatkowego zasobnika superkondensatorów. Jak wykazano w pracach [1,7,9,11,13,14] akumulatory i superkondensatory wzajemnie uzupełniają się parametrami technicznymi. Słabe punkty jednych są mocnymi stronami drugich i odwrotnie. Szczególnie ma to miejsce w zakresie najważniejszych dla zasobników energii parametrów, jakimi są gęstość energii i gęstość mocy.

Zasobniki energii w pojazdach elektrycznych

W poprzednich rozdziałach niniejszej pracy oraz w wcześniej opublikowanych pracach [1,9,11,15] wykazano, że w zastosowaniach do samochodów elektrycznych bardzo popularne są akumulatory elektrochemiczne. Spośród dużej gamy opracowywanych i produkowanych wtórnych źródeł elektrochemicznych w pojazdach (spalinowych, elektrycznych lub hybrydowych) najczęściej wykorzystywane są akumulatory litowo-jonowe oraz kwasowo-ołowiowe. Pierwsze z nich charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami, lecz ich cena sprawia, że zastosowanie akumulatorów litowo-jonowych o dużej pojemności jest ograniczone. Natomiast akumulatory kwasowo-ołowiowe są znacznie tańsze (z tego względu należą do najpopularniejszych w zastosowaniach przemysłowych i motoryzacyjnych), jednak długotrwałe obciążanie i ładowanie dużymi prądami doprowadza do ich szybkiej degradacji.

Kłopotu tego nie ma w superkondensatorach, ponieważ mają one dużą gęstość mocy. Dzięki temu możliwe są w nich przepływy energii o dużej dynamice (stosowanie dużych prądów ładowania i rozładowania). Znaczną zaletą jest także ich wysoka trwałość (długa żywotność). Ewidentną wadą superkondensatorów jest ich niska gęstość energii (zasobność) [16,17].

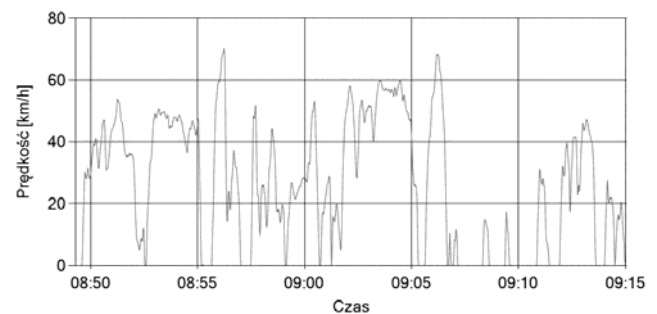
Z uwagi na przedstawione uwarunkowania, rosnącym zainteresowaniem cieszą się hybrydowe magazyny energii elektrycznej [18] wyposażone w zasobnik o dużej gęstości energii oraz zasobnik o dużej gęstości mocy. Takim

przykładem jest zasobnik zbudowany z akumulatora kwasowo-ołowiowego oraz superkondensatora.

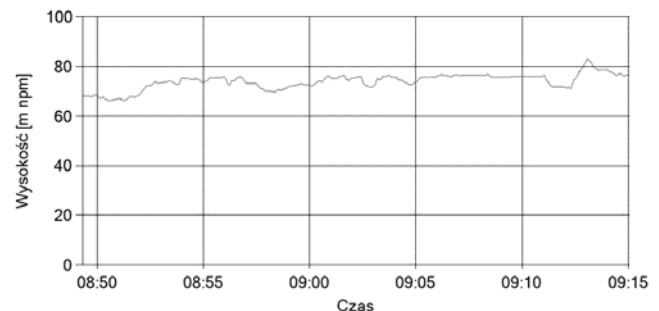
W przypadku pojazdów elektrycznych dobór baterii akumulatorów uzależniony jest szczególnie od dystansu zadanej jazdy, co związane jest ze zdolnością do gromadzenia w nich dużej ilości energii. Superkondensatory natomiast – ze względu na swoją charakterystykę – wykorzystywane są głównie w stanach dynamicznych, podczas gwałtownego hamowania i przyspieszania, dlatego dobór ich zasobności (pojemności) uzależniony jest głównie od dynamiki jazdy oraz masy pojazdu.

Dobór elementów hybrydowego zasobnika energii w samochodzie elektrycznym

Przedstawiając zagadnienie dobru hybrydowego układu zasilania elektrycznego do wybranego pojazdu, zdecydowano się poruszyć problematykę określenia minimalnych parametrów zasobnika zbudowanego z baterii akumulatorów kwasowo-ołowiowych oraz superkondensatorów, które umożliwią co najmniej dwukrotne pokonanie zadanego odcinka drogi o dystansie ponad 22 km (dojazd do celu i z powrotem) w terenie miejskim w okresie dużego natężenia ruchu (łączny zakładany dystans wynosi około 45 km). Wybrany odcinek charakteryzuje się takimi właściwościami (dystansem oraz charakterystyką jazdy), jakimi cechuje się znaczna część codziennych tras pokonywanych podczas dojazdu do pracy na całym świecie. Jest to trasa, dla której zasadne jest stosowanie pojazdów elektrycznych (w przypadku codziennej jazdy na duże odległości dzisiejsze pojazdy elektryczne nie są korzystne w eksploatacji, ze względu na ograniczone zdolności szybkiego ładowania zasobników energii). Analizowany pojazd charakteryzuje się masą 1000 kg oraz powierzchnią czołową równą 2,35 m². W celu określenia zapotrzebowania na moc dokonano rejestracji prędkości jazdy samochodu (rys. 1) oraz wysokości (rys. 2) na której poruszał się pojazd, pokonujący odcinek drogi o długości 12 km.

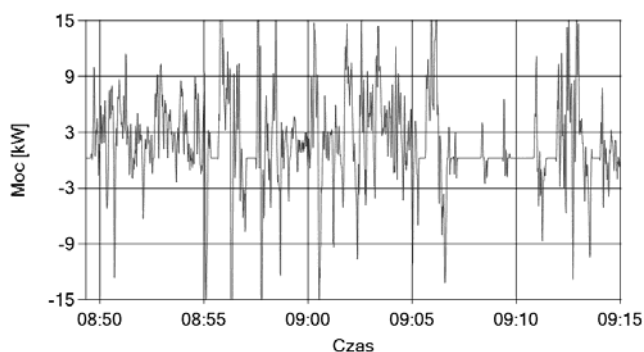


Rys. 1. Zarejestrowany przebieg prędkości jazdy pojazdu w funkcji czasu



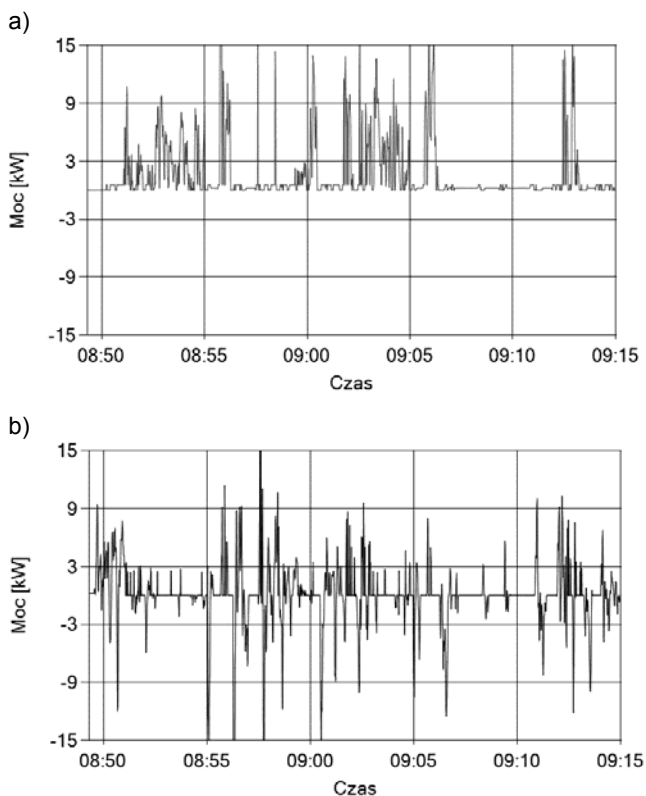
Rys. 2. Zarejestrowany przebieg zmian wysokości pojazdu w funkcji czasu

Na podstawie zarejestrowanych wartości oszacowano przyspieszenia i siły działające na pojazd, a na ich podstawie wyznaczono moc (rys. 3) potrzebną do jazdy pojazdu o założonych parametrach i z zadaną prędkością.



Rys. 3. Wyznaczony przebieg zapotrzebowania na moc pojazdu w funkcji czasu

Dokonując doboru akumulatora do pojazdu elektrycznego przeznaczonego na dojazd do pracy drogą o przedstawionej charakterystyce należy podkreślić, że nawet jeśli pojazd miałby pokonywać dziennie bardzo krótkie odcinki drogi, akumulator musi charakteryzować się parametrami (np. rezystancją wewnętrzną, pojemnością, prądami użytkowymi) umożliwiającymi zasilenie silnika odpowiednią mocą niezbędną do przejechania założonego dystansu, ale jednocześnie pozwalającymi w każdej chwili uzyskać pełną, oczekiwaną dynamikę pojazdu. W praktyce należy także uwzględnić pojawienie się konieczności jazdy w tym samym dniu do innych obiektów (celów) lub możliwości pokonywania nieplanowanych objazdów.



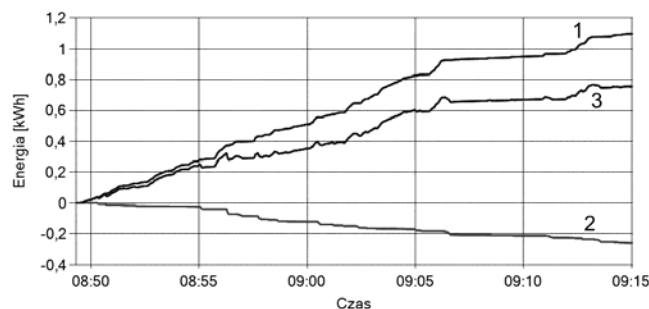
Rys. 4. Zależność zapotrzebowania na moc w funkcji czasu dla: a) akumulatora, b) superkondensatora

Uwzględniając ilość energii potrzebnej do przebycia zadanej drogi oraz moce, którymi akumulator miałby być

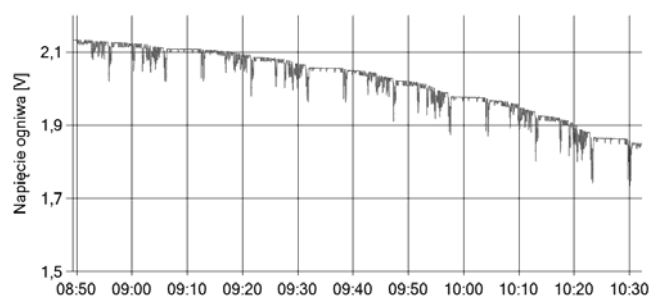
obciążany, wybrano baterię zbudowaną z 4 akumulatorów 12 V (łącznie 48 V) o pojemności 120 Ah. Następnie, w celu ograniczenia szkodliwych dla akumulatora prądów, wybrano superkondensator zakładając, że powinien on mieć możliwość przejęcia energii hamowania odzyskowego w każdej rozważanej sytuacji (przedstawionej na rysunku 3) oraz co najmniej 50 % udział w przekazywaniu energii do i z silnika elektrycznego. Ostatecznie wybrano moduł superkondensatorowy typu SUM 086R4C 0093F EA (o napięciu 86 V oraz pojemności 93 F). Wartości mocy, jaką obciążane byłyby oba wybrane zasobniki, przedstawiono na rysunkach 4a i 4b.

Następnie dla analizowanego pojazdu, trasy oraz wybranej konfiguracji zasobnika energii dokonano rozważań na temat oszczędności energii związanej z możliwością odzysku podczas hamowania. Rezultaty analizy przedstawiono na rysunku 5. Z przedstawionych wykresów wynika, że podczas takiej jazdy możliwe byłoby zmniejszenie zużycia energii o ponad 25% na skutek hamowania odzyskowego.

Ponadto zweryfikowano poprawność wyboru hybrydowego zasobnika energii elektrycznej do pojazdu o założonych parametrach, pokonującego trasę o długości 45 km (czterokrotność trasy o charakterystyce przedstawionej na rysunkach 1 i 2), analizując napięcie na akumulatorze. Uzyskane wartości napięć na pojedynczym ogniwie akumulatora zaprezentowano na rysunku 6. Jak można na nim zauważyć, pod koniec rozpatrywanej trasy akumulator byłby rozładowany – napięcie na pojedynczej celi ogniwa byłoby bliskie granicznej wartości 1,75 V/ogniwo.



Rys. 5. Bilans energii podczas jazdy 1) oddanej, 2) możliwej do odzyskania podczas hamowania, 3) wypadkowej



Rys. 6. Napięcie pojedynczego ogniwa akumulatora podczas jazdy na odcinku o długości 45 km

Uwagi i wnioski

Zagadnienie doboru zasobników energii elektrycznej do specyficznych warunków funkcjonowania obiektów jest szczególnie złożonym problemem w przypadku urządzeń charakteryzujących się zmiennymi warunkami pracy, jakimi są układy napędowe pojazdów elektrycznych. Wyznaczenie zasobności energetycznej akumulatorów utrudnia jednocześnie fakt, że ładunek zgromadzony w bateriach elektrochemicznych zależy nie tylko od pojemności akumulatorów, ale także w dużej mierze od dynamiki ich

pracy (chwilowych wartości prądów) oraz warunków środowiskowych. Ponadto istotne w ich eksploatacji jest ograniczenie prądów znacznie przekraczających wartości znamionowe w celu uzyskania długiej żywotności akumulatorów. W przypadku pojazdów elektrycznych najbardziej niewłaściwymi momentami, generującymi duże wartości prądów w układzie silnik-bateria, są gwałtowne hamowania (podczas których energia kinetyczna pojazdu może zostać zamieniona w energię elektryczną) oraz dynamiczne przyspieszania. Duże prądy ładowania i rozładowania akumulatorów prowadzą do ich przyspieszonej degradacji. Jak przedstawiono w pracy problemy te można rozwiązać stosując jednocześnie dwa rodzaje zasobników energii elektrycznej różniące się gęstością mocy i gęstością energii – odpowiednio dobrane akumulatory elektrochemiczne oraz superkondensatory.

LITERATURA

- [1] Bednarek K., Kasprzyk L., Zasobniki energii w systemach elektrycznych, cz. 1 i 2, *Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical engineering*, Poznań 2012, No 69, 199-218
- [2] Bednarek K., Moduły bateryjne w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), *Elektro.info*, 2013, nr 4, 72-74
- [3] Czerwiński A., Akumulatory baterie ogniwa, 2005, WKiŁ, Warszawa
- [4] Sikora R., Zeńczak M., Magazynowanie energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym, *Napędy i sterowanie*, 2011, nr 2, 61-66
- [5] Korzeniewska E., Drzymała A., Elektrownie fotowoltaiczne – aspekty techniczne i ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 324-327
- [6] Tomczewski A., Wykorzystanie kinetycznych magazynów energii do poprawy warunków współpracy turbiny wiatrowej z

- systemem elektroenergetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 6, 224-227
- [7] Bednarek K., Praca hybrydowa i zasobniki energii w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), *Elektro.info*, 2013, nr 1-2, 72-73
- [8] Denton T., *Automobile electrical and electronic systems*, 1995, 2000, Arnold, London
- [9] 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
- [10] <http://www.samochodyelektryczne.pl/>
- [11] Kasprzyk L., Bednarek K., Elektromagnetyzm a zagadnienia gromadzenia energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 12, 221-224
- [12] <http://www.ever.eu/>
- [13] Bednarek K., Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach, *Elektro.info*, 2012, nr 1-2, 54-57
- [14] <http://www.welcome-ecolcap.put.poznan.pl/>
- [15] Kasprzyk L., Analysis of energy recovery possibilities from motor vehicles, *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, 90(2014), nr 4, pp. 235-238
- [16] <http://www.ultracapacitor.co.kr/>
- [17] <http://www.emu.com.pl/>
- [18] Paska J., Klos M., Michalski Ł., Molik Ł., Układy hybrydowe – integracja różnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, *Elektroenergetyka*, 2010, nr 4(6), 46-57

Autorzy:

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