

Dariusz STRĄK, Marzena MIĘSIKOWSKA, Magdalena PIASECKA

SYSTEM POZYSKIWANIA ENERGII DLA BEZZAŁOGOWEGO STATKU POWIETRZNEGO

W artykule przedstawiono koncepcję systemu pozyskiwania energii dla modelowego bezzałogowego statku powietrznego, opartą o zastosowanie innowacyjnego systemu sterowania ładowaniem i magazynowaniem energii elektrycznej. Metoda ta jest szczególnie istotna dla BSP o niewystarczającym utrzymaniu zasilania i pozwala na zwiększenie czasu, odległości i zasięgu jego lotu. Artykuł zawiera ponadto przegląd BSP i metod pozyskiwania przez nie energii oraz charakterystykę modułów fotowoltaicznych, w tym ogólną charakterystykę i zasadę działania fotoogniw i ich rodzaje oraz ogólną charakterystykę systemów pozyskiwania i magazynowania energii.

WSTĘP

Bezzałogowe Statki Powietrzne (BSP) znajdują zastosowanie w wielu różnych dziedzinach gospodarki. Między innymi, dzięki możliwości przesyłania obrazu wideo w czasie rzeczywistym, można wykorzystywać BSP do patrolowania dróg i autostrad. Dodatkowo wyposażenie BSP w sensory akustyczne może przyczynić się do pozyskiwania informacji o zagrożeniach występujących w aglomeracjach miejskich. Obecnie, metody zasilania dronów pozwalają na wykonywanie lotów na czas kilkudziesięciu minut. Krótki czas pracy baterii to jedna z największych wad dronów. Metody przechowywania energii, a także jej pozyskiwania to bardzo ważne aspekty konstrukcyjne BSP. Efektywne metody pozyskiwania i magazynowania energii przez BSP mogą wydłużyć czas, jaki spędzają te statki w powietrzu.

Panele fotowoltaiczne znajdują dziś zastosowanie w różnych dziedzinach techniki, takich jak drogownictwo, technika wojskowa, przemysł samochodowy, technika kosmiczna, elektronika użytkowa oraz obszar zaspokajania potrzeb energetycznych gospodarstw domowych. Celem niniejszej pracy jest przybliżenie problematyki pozyskiwania energii elektrycznej z wykorzystaniem promieniowania słonecznego – fotowoltaiki i przedstawienie rozwiązania technicznego wykorzystującego fotoogniw wraz z systemem pozyskiwania i magazynowania energii do zastosowania zasilania czasowego bezzałogowych statków powietrznych.

Celem pracy jest opracowanie koncepcji systemu pozyskiwania energii dla modelowego bezzałogowego statku powietrznego, opartą o zastosowanie innowacyjnego systemu sterowania ładowaniem i magazynowaniem energii elektrycznej. Metoda ta jest szczególnie istotna dla BSP o niewystarczającym utrzymaniu zasilania i pozwala na zwiększenie czasu, odległości i zasięgu jego lotu. Artykuł zawiera ponadto przegląd BSP i metod pozyskiwania przez nie energii oraz charakterystykę modułów fotowoltaicznych.

1. PRZEGLĄD BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH (BSP) I METOD POZYSKIWANIA PRZEZ NIE ENERGII

1.1. Przegląd BSP i metod ich zasilania

Opracowanie nowoczesnych metod pozyskiwania i magazynowania energii przez bezzałogowe statki powietrzne (BSP) jest nie-

zbędne do celów wydłużenia czasu lotu i efektywnego działania BSP. Energia konieczna jest do efektywnej pracy czujników, algorytmów przetwarzania informacji, a przede wszystkim do długiego i efektywnego lotu BSP. Obecne systemy zasilania pozwalają uzyskać kilkudziesięciu minutowy czas lotu BSP.

Źródła energii elektrycznej takie jak ogniwa paliwowe, ogniwa słoneczne mogą zwiększyć czas lotu i praktyczne zastosowanie BSP. Liczba obracających się śmigieł i udźwig determinuje podział dronów na quadcoptery, hexacoptery, octacoptery. Hycopter to nowy dron, który może przebywać w powietrzu przez cztery godziny [1]. Dron przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Hycopter, - dron wytworzony przez firmę Horizon Unmanned Systems [1]

W ramie statku gromadzony jest wodór. Ogniwa paliwowe zamieniają wodór w energię elektryczną. Dzięki temu rozwiązaniu statek może przebywać w powietrzu przez cztery godziny bez obciążenia.

Solarne drony to drony, które zasilane są energią słoneczną do udostępniania bezprzewodowego Internetu [2].

Przeprowadzono różne badania, które wykorzystują aktywne zarządzanie energią dla systemów hybrydowych z wykorzystaniem ogniw słonecznych, ogniw paliwowych, baterii. Zaprojektowany został system zarządzania energią słoneczną (PMS) [3]. Zademontrowano poprzez symulację numeryczną, że w układzie hybrydowym z panelem fotowoltaicznym / ogniwnem paliwowym / akumulatorem, system sterowania spełnia wymagania dotyczące obciążenia, przy jednoczesnym zapewnieniu działania pod różnymi ograniczeniami, takimi jak: limit przeładowania baterii i limit ogniwa paliwowego [4-6]. Zbadany został model i układ hybrydowy ogniwo fotowolta-

iczne / ogniwo paliwowe / akumulator [7], w którym celem kontroli było utrzymanie stałego napięcia. Zaprojektowane zostały bardzo proste sterowniki.

Bezzałogowy samolot zasilany energią elektryczną otrzymaną z ogniw słonecznych i akumulatorów to Phoenix – bezzałogowy samolot stratosferyczny [8]. Wykorzystuje on ogniwa słoneczne, które wykonane zostały jako panele ze specjalnymi powłokami zabezpieczającymi. Można je bezpośrednio przykleić do skrzydła. Akumulatory charakteryzują się najwyższą dostępną gęstością energii. W celu zapewnienia optymalnej pracy paneli słonecznych wykonano specjalistyczne przetwornice z układami sterującymi, które maksymalizują moc uzyskaną z paneli przy danym oświetleniu [8].

2. CHARAKTERYSTYKA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH WSPÓLPRACUJĄCYCH Z SYSTEMAMI POZYSKIWANIA I MAGAZYNOWANIA ENERGII

2.1. Ogólna charakterystyka i zasada działania fotoogniw

Ogniwa fotowoltaiczne to elementy półprzewodnikowe, pracujące w różnych układach połączeń, determinujących ich parametry prądowo-napięciowe. Zadaniem fotoogniw jest zamiana energii promieniowania słonecznego bezpośrednio w energię elektryczną. Zasada działania fotoogniw opiera się o zjawisko zwane fotoelektrycznym wewnętrznym. Efekt fotowoltaiczny po raz pierwszy zaobserwowano w roku 1839 jako powstawanie nośników prądu w dwóch oświetlonych elektrodach, zanurzonych w elektrolicie. Wy różnia się 2 rodzaje zjawisko fotoelektrycznych [9,10]:

- zewnętrzne występuje wtedy, gdy energia fotonu jest na tyle duża, że powoduje wypchnięcie elektronu poza ciało, na które oddziałuje, zwane jest także fotoemisją lub emisją fotoelektronową;
- wewnętrzne polega na absorpcji fotonów w ogniwach słonecznych, które wywołuje przejścia elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Energia z absorbowanego fotonu musi być większa od przerwy energetycznej półprzewodnika. Po wybicie elektronu w sieci krystalicznej powstaje dziura, rekombinująca z elektronem z sąsiedniego atomu i w ten sposób powstaje kolejna dziura. Obecność pola elektrycznego wewnątrz materiału półprzewodnika powoduje przemieszczanie nośników o różnych znakach. W ten sposób na zewnętrznym złączu powstaje różnica potencjałów, napięcie elektryczne jako wynik efektu fotowoltaicznego.

Fotoogniwa wytwarzane są z materiałów półprzewodnikowych, najczęściej z krzemu. Produkcja fotoogniw zaczyna się od zmieszania krzemu z atomami boru w procesie krystalizacji. Otrzymane bloki krzemowe cięte są na cienkie płytki, a następnie napyłane gazem fosforowym w piecu o temperaturze ponad 800 °C. Fosfor wnika do płytek i tworzy różnie naładowane warstwy. W efekcie powstają dwa nośniki energii o przeciwnej polaryzacji, dążące do wyrównania potencjałów. Fotony ze światła słonecznego padając na płytkę krzemową, rozbijają wiązania i powodują przepływ elektronów. Po obu stronach płytki powstają odwrotnie naładowane pola elektryczne. Po podłączeniu do płytek odbiornika prądu zaczyna płynąć prąd elektryczny.

Ogniwa PV są bardzo kruche i nieodporne na działanie warunków atmosferycznych. W takiej postaci nie mogłyby być praktycznie wykorzystywane. Moduł fotowoltaiczny powstaje w wyniku połączenia pojedynczych ogniw względem siebie. Połączone ogniwa umieszcza się w specjalnej konstrukcji zabezpieczającej. Ogniwa umieszcza się pomiędzy dwiema warstwami folii odpornej na działanie warunków atmosferycznych. Od zewnętrznej strony dodaje się dodatkową ochronną warstwę hartowanego szkła. Folia umieszczo-

na z tyłu ogniwa zwiększa wytrzymałość modułu na uszkodzenia mechaniczne. Folia hermetyzuje moduł dając wieloletnią odporność na zmienne warunki atmosferyczne. Rama modułu wykonywana jest zwykle z anodyzowanych profili aluminiowych.

2.2. Rodzaje fotoogniw

Podstawowe kryterium podziału ogniw fotowoltaicznych wynika z technologii produkcji i zastosowanych materiałów: wyróżnia się ogniwa I, II i III generacji.

Ogniwa fotowoltaiczne I generacji to klasyczne, najczęściej występujące ogniwa, produkowane z czystego krzemu krystalicznego. Do I generacji zaliczamy ogniwa:

- a) amorficzne – produkowane są z bezpostaciowego, niewykryształizowanego krzemu, charakteryzują się niską sprawnością do 10% i są najtańsze,
- b) monokrystaliczne – wykonane są z jednego kryształu krzemu, charakteryzują się sprawnością około 20% i wysoką ceną. Przetwarzanie informacji przetwarzanie informacji
- c) polikrystaliczne – wykonane są z wykryształizowanego krzemu. Ich cena jest umiarkowana a sprawność wynosi około 14-18%.

Do II generacji zaliczamy ogniwa:

- CdTe – wykonane z wykorzystaniem półprzewodnikowego tellurku kadmu, sprawność ogniw wynosi 10-12%; podczas ich produkcji zużywa się bardzo mało półprzewodnika, co przekłada się na atrakcyjną cenę;
- CIGS - wykonane z mieszaniny półprzewodników takich jak miedź, ind, gal, selen, sprawność ogniw wynosi 12-14%; warstwa półprzewodnika w tej technologii wystarczająca do zaabsorbowania promieni słonecznych to zaledwie 1 mikrometr.

III generacja ogniw obejmuje wszystkie ogniwa pozbawione klasycznego złącza półprzewodnikowego, w tym ogniwa transparentne, elastyczne oraz organiczne. Największe minusy tych ogniw to krótka trwałość i niska sprawność.

2.3. Ogólna charakterystyka systemów pozyskiwania i magazynowania energii

Możemy wyróżnić dwa podstawowe rodzaje systemów fotowoltaicznych:

- autonomiczne, nie dołączane do sieci elektrycznej, tzw. off grid,
- dołączone do instalacji elektrycznej, tzw. on grid.

Oprócz generatorów fotowoltanicznych stosuje się inne typy generatorów, w systemie hybrydowym.

Energia elektryczna najczęściej magazynowana jest w akumulatorach. Unowocześnionym magazynem energii, wykorzystywanym w nanotechnologii mogą być superkondensatory, zwane też ultrakondensatorami, które umożliwiają magazynowanie energii w polu elektrycznym. Zasada działania superkondensatorów polega na gromadzeniu ładunków elektrycznych na podwójnej warstwie elektrycznej, która powstaje na granicy elektrolitu i elektrody.

Jedną z najnowocześniejszych technologii magazynowania energii są nadprzewodnikowe zasobniki energii SMES. W celu zmagazynowania energii wykorzystywane jest zjawisko nadprzewodnictwa [11].

3. KONCEPCJA SYSTEMU POZYSKIWANIA ENERGII DLA BSP

3.1. Główne założenia dla zaproponowanej koncepcji

Poniżej przedstawiono najważniejsze założenia i wytyczne techniczne dla zaproponowanej koncepcji:

1. Zastosowana instalacja umożliwi przebycie przez bezzałogowy statek powietrzny dłuższego czasu lotu podczas słonecznego

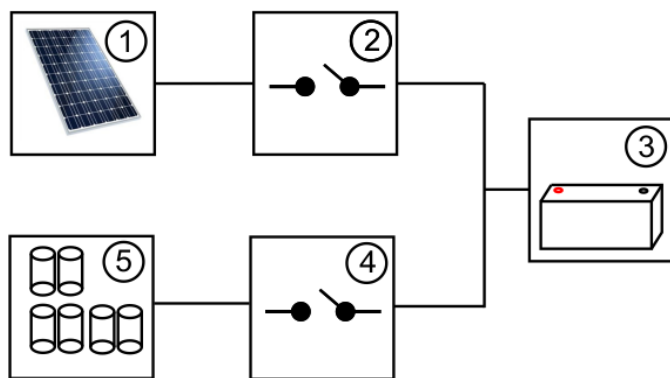
dnia oraz pełne naładowanie baterii podczas wyłączonego bezzałogowego statku powietrznego.

2. W górnej części modelowego pojazdu bezzałogowego zamontowane będzie poziomo ogniwo fotowoltaiczne o powierzchni 140 mm x 110 mm o parametrach podanych poniżej.
3. Typ zastosowanego ogniwa fotowoltaicznego: krzem monokryształiczny.

3.2. Charakterystyka zaproponowanego rozwiązania technicznego

Schemat blokowy zaproponowanej koncepcji wykorzystania fotoogniwa wraz z systemem pozyskiwania i magazynowania energii pokazano na rysunku 2. Charakterystyka najważniejszych elementów składowych zaproponowanej koncepcji:

(1) Ogniwo fotowoltaiczne PV - zainstalowane będzie w położeniu poziomym na górnej stronie bezzałogowego statku powietrznego, zmodyfikowano typowy moduł PV w ten sposób, że usunięto w jego konstrukcji diody (wkład elektroniczny mający za zadanie zapobiegać blokadzie pracy układu przy niskich napięciach wyjściowych). Typ ogniwa: monokryształiczne, napięcie nominalne: 12 V DC, moc szczytowa generatora: 5 W, napięcie mocy maksymalnej: 17,8 V, prąd maksymalny: 0,28 A, napięcie obwodu otwartego: 22,3 V, prąd zwarcia: 0,30 A, zakres temperatur pracy: -40 °C ÷ 85 °C, wymiary: 185 mm x 250 mm x 25 mm, masa 0,4 kg ÷ 0,6 kg. Widok ogniwa fotowoltaicznego pokazano na rysunku 3.



Rys. 2. Schemat blokowy zaproponowanej koncepcji wykorzystania fotoogniwa wraz z systemem pozyskiwania i magazynowania energii
1 - PV (fotoogniwo monokryształiczne), 2 - regulator ładowania, 3 - akumulator (np. bateria drona), 4 - układ zabezpieczający (regulator napięcia), 5 - zespół superkondensatorów.



Rys. 3. Widok ogniwa fotowoltaicznego – monokryształicznego

(2) - Regulator ładowania - urządzenie to stosowane będzie jako pośrednik pomiędzy panelem fotowoltaicznym, a akumulatorem. aby utrzymywać akumulator w stanie maksymalnego naładowania i nie dopuszczać do jego przeładowania, a także nadmiernego rozładowania przez odbiorniki (4 x silniki drona). Regulator pozwala zabezpieczyć układu przed tzw. prądem zwrotnym pobieranym przez panel słoneczny przy braku oświetlenia, jeżeli panel nie został wyposażony w diodę zwrotną.

(3) - Akumulator - rodzaj ogniwa : Litowo - Polimerowe pojemność ogniwa: 3 820 mAh, napięcie: 11,4 V, dodatkowe informacje : zabezpieczenie przed przeładowaniem.

(4) - Układ zabezpieczający (regulator napięcia) układ zabezpieczający przed przeładowaniem kondensatorów oraz przed cofaniem prądu do układu buforu superkondensatorów.

(5) - Superkondensatory - zastosowanie umożliwia podniesienie napięcia do poziomu wymaganego przez układ ładowania akumulatorów (magazynem energii). Superkondensatory mogą być ładowane równolegle z akumulatorem (baterią) bezzałogowego statku powietrznego.

Inne rozwiązania systemu pozyskiwania energii dla bezzałogowych statków powietrznych obejmują również zasilanie awioniki, oświetlenia urządzenia czy kamer.

3.3. Charakterystyka modelowego drona

Do koncepcji przyjęto modelowy dron typu Quadcopter, wyposażonego w 4 wirniki. Założono następujące dane techniczne:

- maksymalna prędkość lotu - 65 km/h;
- maksymalna wysokość lotu - 5 km;
- zasięg lotu - 7 km;
- wymiary drona: 83 mm x 83 mm x 198 mm;
- dron wyposażony jest w akumulator litowo-polimerowy;
- pojemność baterii drona - 3 830 mAh;
- urządzenie posiada inteligentny system z zaimplementowanym systemem unikania przeszkód;
- dron wyposażony w 5 kamer - czujników, monitorujących w sposób ciągły otoczenie;
- dron posiada GPS wspierany systemem GLONASS, zapewniający doskonałą stabilizację i dokładne informacje o aktualnym położeniu;
- urządzenie posiada tryb lotu „Podążanie za celem”.

PODSUMOWANIE

Głównym celem artykułu jest przedstawienie koncepcji systemu pozyskiwania energii dla modelowego bezzałogowego statku powietrznego, opartą o zastosowanie innowacyjnego systemu sterowania ładowaniem i magazynowaniem energii elektrycznej. Metoda ta jest szczególnie istotna dla BSP o niewystarczającym utrzymaniu zasilania i pozwala na zwiększenie czasu, odległości i zasięgu jego lotu. W pracy zamieszczono przegląd BSP i metod pozyskiwania przez nie energii, ogólną charakterystykę ogniw fotowoltaicznych oraz systemów pozyskiwania i magazynowania energii. Przedstawione rozwiązanie może przyczynić się do wydłużenia czasu lotu BSP, do efektywniejszego wykorzystania sensorów i algorytmów wspomagających loty urządzeń. Dłuższe działanie BSP dają przede wszystkim możliwość rozszerzenia funkcjonalności tych obiektów, a opracowywanie nowych algorytmów sterujących pracą BSP pozwoli na przekształcanie BSP w system inteligentny. Z kolei, wydłużenie czasu działania BSP i ich funkcjonalności spowodować może zwiększenie komercyjnego wykorzystania tych urządzeń, które już dziś są przedmiotem zainteresowania wielu firm ze względu na ogrom funkcji, które mogą wykonywać.

BIBLIOGRAFIA

1. <http://antyweb.pl/>
2. <https://tech.wp.pl/solarne-drony-od-google-a-dostarcza-internet-z-nieba-6034794538619521a>
3. Shiao J. K., Ma D. M., Yang P. Y., Wang G. F., Gong J. H., *Design of a solar power management system for an experimental UAV*, „IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems”, vol. 45, no. 4, pp. 1350-1360, 2009.
4. Jiang Z., Gao L., Blackwelder M. J., Dougal R. A., *Design and experimental tests of control strategies for active hybrid fuel cell/battery power sources*, „Journal of Power Sources”, vol. 130, pp. 163-171, 2004.
5. Jiang Z., Gao L., Dougal R., *Adaptive control strategy for active power sharing in hybrid fuel cell/battery power sources*, „IEEE Transactions on Energy Conversion”, vol. 22, pp. 507-515, 2007.
6. Jiang Z., *Power management of hybrid photovoltaic—fuel cell power systems*, Proc. Power Eng. Society General Meeting, pp. 1-6, 2006.
7. Becherif M., Ayad M. Y., Wack M., *Control study on fuel cell battery and solar hybridization power sources*, Proc. Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1-8, 2010.
8. <http://phoenix-uav.com/>
9. Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010.
10. <http://www.swiat-szkla.pl/kontakt/5688-ogniwa-fotowoltaiczne-roznych-typow.html>
11. http://ep.com.pl/artykuly/10300-Akumulatory_i_nie_tyko.html

Energy-saving system for unmanned aerial vehicle

The article presents the concept of energy supply system for a model of unmanned aerial vehicle, based on the application of an innovative control system for charging and storing electrical energy. This method is especially important for BSPs with insufficient power supply and allows for increased time, distance and range of the flight. The article includes a review of BSP, the methods of obtaining energy, the characteristics of photovoltaic modules, including the general characteristics and principle of operation of photovoltaics and their types, and the general characteristic of energy acquisition and saving system.

Autorzy:

mgr inż. **Dariusz Strąk** – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

dr inż. **Marzena Mięsikowska** – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

dr hab. inż. **Magdalena Piasecka**, prof. PŚk - Politechnika Świętokrzyska w Kielcach