

Propulzija električne bespilotne letelice - poređenje Li-jon kobalt i Li-jon čelik fosfat akumulatora

Bespilotna letelica je daljinski komandovan leteći robot sa automatskim upravljanjem koji se koristi kao platforma za nošenje specifičnog korisnog tereta kao što su kamere, senzori, komunikaciona ili neka druga oprema i naoružanje. Bespilotne letelice se sve više primenjuju na ekološkim zadacima civilnog sektora kao što su: osmatranja i kontrola saobraćaja, cevovoda, dalekovoda, zaštita od šumskih požara, zaštita od zagađivanja, očuvanja i istraživanja prirodne sredine, merenja radijacije itd. U radu su prikazane neke mogućnosti poboljšanja letnih performansi bespilotne električne letelice srednjeg dometa koja za propulziju i pogon opreme koristi hibridnu kombinaciju vodoničnih gorivih ćelija i litijum-jon kobalt akumulatora u prvom slučaju i vodoničnih gorivih ćelija i litijum-jon čelik-fosfat akumulatora u drugom slučaju. Razmatran je i ekološki aspekt obe hibridne kombinacije.

Ključne reči: ekologija, bespilotna letelica, gorive ćelije, performanse, litijum-jon-kobalt akumulatori, litijum-jon-čelik-fosfat akumulatori, performance

1. UVOD

Bespilotna letelica je daljinski komandovan leteći robot sa automatskim upravljanjem koji se koristi kao platforma za nošenje specifičnog korisnog tereta kao što su kamere, senzori, komunikaciona ili neka druga oprema. Tehnološki razvijene zemlje uočile su izrazitu isplativost i svrsishodnost korišćenja bespilotnih letelica u odnosu na druga sredstva kao što su osmatrački avioni, helikopteri, baloni ili sateliti. Bespilotne letelice (slika 1) obavljaju i specifične zadatke u aktivnostima zaštite prirodne sredine. Za potrebe osmatranja terena velikih površina potrebno je raspolagati pouzdanim letelicama visokih performansi u pogledu doleta i istrajnosti leta [1].



Slika 1 - Taktička letelica srednjeg dometa

Adrese autora: ¹Vojnotehnički institut, Beograd, ²Institut tehničkih nauka SANU, Beograd, ³Yugoimport-SDPR, Beograd

Primljeno za publikovanje: 16. 03. 2013.

Prihvaćeno za publikovanje: 22. 06. 2013.

Osnovni problem poboljšanja doleta i istrajnosti bespilotne letelice sa električnim pogonom, svodi se na izbor odgovarajućeg izvora električne energije sa maksimalnom specifičnom energijom po jedinici mase, zadovoljavajućom "gustinom energije" (količnik raspoložive energije i zapremine) kao i karakteristikama u pogledu raspoložive jačine struje. Sve više primenjivana koncepcija izvora energije zasniva se na kombinaciji gorivih vodoničnih ćelija i litijum-jon kobalt ili litijum-jon-čelik-fosfat akumulatora[2]. Hibrid gorivih ćelija i Li-akumulatora je vrlo poželjna kombinacija osobina obe komponente. Pri poletanju i penjanju potrebno je obezbediti vrlo velike jačine struje (i preko 100A), što gorive ćelije teško mogu da obezbede, pa su u ovoj fazi leta akumulatori ti koji daju potrebnu struju. Zahvaljujući višestruko većoj specifičnoj energiji u odnosu na Li-akumulatore i visokom stepenu konverzije (0.6), gorive ćelije snabdevaju energijom električni motor (sa elisom) tokom krstarenja, a istovremeno viškovima pune akumulatora.

U radu su prikazane karakteristike obe hibridne koncepcije, kao i letne performanse jedne razmatrane bespilotne električne letelice srednjeg dometa koja potencijalno može da koristi ove izvore napajanja.

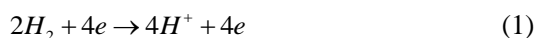
U proračunu letnih performansi električne bespilotne letelice, kao alat koristi se namenski razvijen računarski programski paket SOKO.

2. MATERIJALI I METODE

Vodonična goriva ćelija - osnovne karakteristike

Goriva ćelija (slika 2) je po definiciji elektro-hemijska ćelija, koja se za razliku od baterija može kontinualno napajati gorivom i oksidantom kao reaktantima, konvertujući hemijsku energiju u električnu.

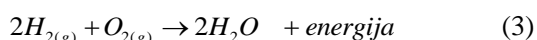
Vodonik ili goriva koja sadrže vodonik (ugljo-vodonici i alkoholi) se direktno konvertuju u električnu energiju i toplotu kroz elektrohemijske reakcije oksidacije vodonika



i redukcije kiseonika



pri čemu nastaje voda kao proizvod, prema sumarnoj elektrohemijskoj reakciji datoj stehiometrijskom jednačinom:



S obzirom da se gasoviti vodonik i kiseonik elektrohemijskim putem konvertuju u vodu, goriva ćelija poseduje niz prednosti u odnosu na toplotnu mašinu, kao što su: visoka efikasnost, bešuman rad, i ukoliko je vodonik gorivo, ne dolazi do emisije zagađivača. Ukoliko je vodonik proizveden sa obnovljivim izvorom energije, tada je i dobijanje električne energije gorivom ćelijom održiv postupak. Ako se umesto čistog vodonika koriste ugljovodonici, oksidacijom goriva u gorivoj ćeliji nastaju kao proizvod voda i ugljen-dioksid, a sa porastom sadržaja vodonika u ugljovodoniku, formiranje vode kao proizvoda, postaje značajnije tako da je smanjena emisije CO₂.

U najznačajnije nisko-temperaturne vodonične ćelije [3] spadaju polimerne membranske gorive ćelije koje omogućavaju visok stepen konverzije hemijske u električnu energiju i sastoje se od tri osnovne komponente: anode, katode i polimerne membrane. Polimerna membrana je čvrst elektrolit, poseduje visoku električnu provodnost, sa protonima (H⁺ joni) kao prenosiocima naelektrisanja koji nastaju elektrohemijskom oksidacijom vodonika na anodi (1) uz jednovremeno odigravanje reakcije redukcije kiseonika kao oksidanta na katodi (2). Anoda i katoda sadrže nano-strukturane katalizatore od platinskih metala na nosaču od ugljeničnog materijala visoke specifične površine, dok su nosači sa katalizatorima u direktnom kontaktu sa polimernom membranom i sa strujnim kolektorima koji sadrže odgovarajuće kanale za distribuciju gasovitog vodonika i kiseonika.

Osnovne karakteristike vodonične gorive ćelije:

Prednosti

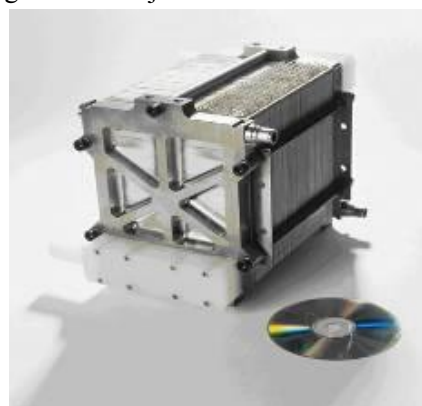
1. Visoka specifična energija (600 Wh/kg)
2. Mogućnost brze promene izlazne snage
3. kompaktnost i mala masa
4. posebno pogodna za napajanje potrošača sa malom snagom a gde je potrebna velika količina energije
5. visoka energetska efikasnost (stepen konverzije oko 60% što zavisi od radne gustine struje i dvostruko

je veće nego kod motora sa unutrašnjim sagoravanjem)

6. jednostavno održavanje
7. ne zahteva primenu punjača
8. niski troškovi održavanja

Nedostaci

1. Zahteva primenu skupih katalizatora (platinski metali)
2. Osetljivost na prisustvo nečistoća u vodoniku kao gorivu (CO, CO₂)
3. ukoliko se jedna ćelija pokvari potrebno je promeniti ceo set redno vezanih ćelija
4. skup transport i skladištenje vodonika
5. ograničena trajnost



Slika 2 - Vodonična goriva ćelija

Li-jon kobalt akumulatori --- osnovne karakteristike

Osnovne karakteristike Li-jon kobalt akumulatora (slika 3) , u kome je katodni materijal litijum-kobalt-oksidi, dok je anoda od nano-karbonska, su date kroz prednosti i nedostatke ovog sistema:

Prednosti

1. visoka specifična energija (200 Wh/kg),
2. relativno visok napon 3.6-3.7 V
3. visoka "energetska gustina" 250-620 Wh/l,
4. jednostavno održavanje,
5. fleksibilnost dizajniranja različitih oblika kućišta,
6. mogućnost postizanja relativno visoke izlazne struje.

Nedostaci

1. visoka cena,
2. degradacija performansi sa padom temperature,
3. neophodna primena specijalnog postupka punjenja,
4. potrebno duže vreme punjenja,
5. podložnost starenju i samopražnjenju,
6. ograničenja pri transportu,

7. nepoželjno dostizanje minimalnog i maksimalnog napona,
8. neophodno održavanje napona i struje u bezbednim granicama,
9. prilikom punjenja i pražnjenja kao i kratkog spoja postoji latentna opasnost od vrlo burnog požara i eksplozije,
10. ispod 500 ciklusa punjenje-pražnjenje,
11. ekološki manje prihvatljive – zbog prisustva kobaltovih jedinjenja



Slika 3 - Li-jon-Co akumulator

Isključivo Li-jon Co akumulatori koriste i domaća mini bespilotna letelica VRABAC (slika4). Istrajnost leta bespilotne letelice VRABAC na visini od 300 m je preko 1 h.



Slika 4 - Domaća električna mini bespilotna letelica VRABAC (Izložba PARTNER 2011)

Li-jon čelik fosfat akumulatori - osnovne karakteristike

Druga vrsta akumulatora koji se takođe koriste u kombinaciji kod hibrid gorivih ćelija je Li-jon čelik-fosfat akumulator. Osnovne karakteristike Li-jon čelik-fosfat akumulatora (slika 4), u kome je katodni materijal litijum-čelik-fosfat, dok je anoda najčešće nano-karbon date su kao:

Prednosti

1. niža cena,
2. veća pouzdanost u odnosu na Li-jon-kobalt akumulatora,
3. prilikom pražnjenja mogućnost postizanja vrlo visoke izlazne struje,
4. brže punjenje u odnosu na Li-jon-kobalt akumulatora,
5. veća pouzdanost i robusnost,

6. jednostavno održavanje,
7. na visokoj temperaturi bez dekompozicije,
8. fleksibilnost dizajniranja različitih oblika kućišta,
9. nije neophodna primena specijalnog postupka punjenja,
10. relativno kratko vreme punjenja,
11. podložne manjem starenju i samopražnjenju,
12. manja ograničenja pri transportu,
13. prilikom punjenja i pražnjenja kao i kratkog spoja smanjena opasnost od požara i eksplozije,
14. preko 2000 ciklusa punjenje-pražnjenje,
15. ekološki prihvatljive,
16. redukovani troškovi ekološke zaštite jer nema kobaltnih jedinjenja.

Nedostaci

1. niži napon, 3.3 V,
2. niža specifična energija 100-120 Wh/kg,
3. nešto niža "energetska gustina" 220 Wh/l,
4. nepoželjno dostizanje minimalnog i maksimalnog napona,
5. neophodno održavanje napona i struje u bezbednim granicama,



Slika 5 - Li-čelik-fosfat akumulator

Računarski programski paket SOKO

Program SOKO na osnovu učitanih masenih, aerodinamičkih i propulzorskih karakteristika proračunava osnovne i specijalne performanse taktičke električne bespilotne letelice srednjeg doleta. Letelica se posmatra kao materijalna tačka promenljive mase (gorive ćelije tokom rada troše vodonik - manja promena mase), a metoda proračuna performansi je metoda totalne energije. Program sadrži više modula koji izvršni deo programa snabdevaju potrebnim podacima. Moduli su: poletanje, optimalno penjanje, krstarenje, čekanje na režimu maksimalne istrajnosti, osmatranje, neke evolucije, planiranje i sletanje. Korišćenjem nabrojanih modula proračunava se i zadati profil leta. Kompjuterski program SOKO pisan je u računarskom jeziku MATHCAD 14 [4-6].

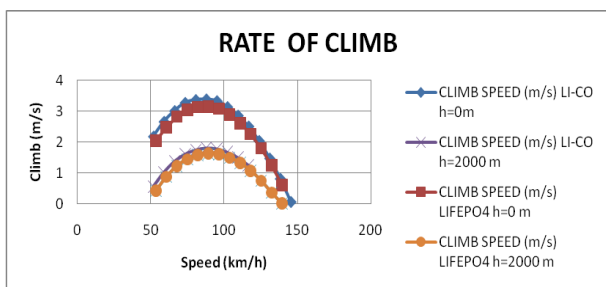
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Razmatrane su dve varijante taktičke bespilotne letelice srednjeg dometa: prva sa litijum-jon kobalt (Li-Co) i druga sa litijum jon-čelik-fosfat (LiFePO₄) akumulatorima. Obe varijante su u hibridnoj kombinaciji sa vodoničnim gorivim ćelijama.

Taktičko-tehnički zahtevi koje letelica mora da zadovolji su sledeći:

- istrajnost leta na visini 1500 m veća od 5.5 h,
- dolet na visini 1500 m veći od 440 km,
- brzina krstarenja 80 km/h,
- taktički radijus 50 km,
- poletanje: uz pomoć katapultu na kamionu,
- sletanje: klasično ili air-bag sa padobranom,
- masene karakteristike: koristan teret - 3 kg, masa vodoničnih gorivih ćelija (komplet) 16.5 kg,
- geometrijske karakteristike: površina krila $S=2.10 \text{ m}^2$, razmah krila $b=5.6 \text{ m}$.

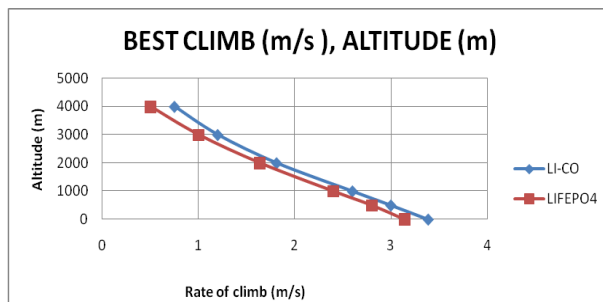
Bespilotna letelica za propulziju koristi električni jednosmerni motor (bez četkica) maksimalne snage do 4KW, u režimu optimalnog krstarenja snaga je oko 1.8 KW. Energija se obezbeđuje iz hibridne kombinacije Li - akumulatora i vodoničnih gorivih ćelija. U poletanju i penjanju na zadatu visinu leta, energiju uglavnom obezbeđuju Li - akumulatori (daju struju visoke amperaže). Tokom krstarenja, energiju obezbeđuju vodonične gorive ćelije, koje istovremeno sa viškom energije dopunjavaju Li-akumulatore [4]. Hibridna kombinacija Li-akumulatora i vodoničnih gorivih ćelija je trenutno najprihvatljivija i najmodernija koncepcija u domenu električnih bespilotnih letelica visokih sposobnosti i ultra lakih letelica sa posadom.



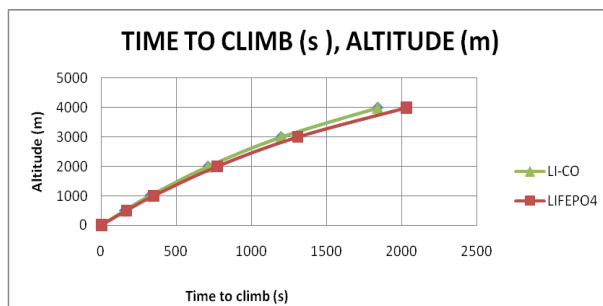
Slika 6 - Brzine penjanja u funkciji brzine na putanji, za visine 0 i 2000 metara, za obe hibridne kombinacije: vodonične gorive ćelije i litijum-jon kobalt akumulatori i vodonične gorive ćelije i litijum-jon čelik-fosfat akumulatori

Rezultati proračunatih performansi, za taktičke bespilotne letelice srednjeg dometa sa litijum-jon kobalt (Li-Co) i litijum jon-čelik-fosfat (LiFePO₄) akumulatorima, u oba slučaja u hibridnoj kombinaciji

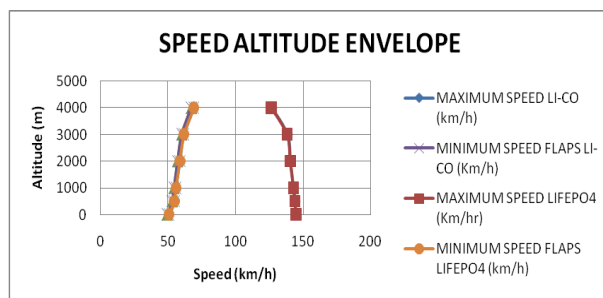
sa vodoničnim gorivim ćelijama, dobijeni su kompjuterskim programom SOKO, preko zadatih modula[4-7]. Dobijeni dijagrami prikazani su na slikama 6, 7, 8 i 9. Dobijene zavisnosti brzine penjanja od brzine na putanji (slika 6), maksimalne brzine penjanja od visine (slika 7), vremena penjanja od visine (slika 8) kao i anvelope leta (slika 9) radjene su u računarskom jeziku MATHCAD 14.



Slika 7 - Maksimalne brzine penjanja u funkciji visine za obe hibridne kombinacije: vodonične gorive ćelije i Li-Co akumulatori, i vodonične gorive ćelije i LiFePO₄ akumulatori



Slika 8 - Vreme penjanja u funkciji visine za obe hibridne kombinacije: vodonične gorive ćelije i Li-Co akumulatori i vodonične gorive ćelije i LiFePO₄ akumulatori



Slika 9 - Anvelope leta za obe hibridne varijante: vodonične gorive ćelije i litijum-jon kobalt akumulatori i vodonične gorive ćelije i litijum-jon čelik-fosfat akumulatori

4. ZAKLJUČAK

Primenom Li-jon čelik-fosfat umesto Li-Co akumulatora za propulziju i pogon avionike jedne elek-

trične taktičke bespilotne letelice donekle se degradiraju neke letne karakteristike: minimalna brzina raste, maksimalna opada, smanjuje se brzina penjanja, snižava se plafon leta, pogoršavaju se parametri planiranja, skraćuje dolet a lansiranje se otežava. Korist primene Li-jon čelik-fosfat akumulatora ogleda se u raspoloživosti jačom strujom, olakšanom i bržem punjenju u letu, smanjenoj mogućnosti požara i povećanoj pouzdanosti. Značajno niža cena je prednost Li-jon čelik-fosfat akumulatora. Treba napomenuti da Li-jon čelik-fosfat akumulatori pripadaju "zelenijim tehnologijama" u poređenju sa Li-Co akumulatorima. Činjenica je da prilikom izbora između Li-Co i Li-jon čelik-fosfat akumulatora prednost treba dati Li-Co akumulatorima ali ipak ne treba zanemarivati i Li-jon čelik-fosfat akumulatora, posebno u fazi testiranja letilice i tokom eksploatacije u manje zahtevnim misijama.

5. LITERATURA

- [1] Smetana, F., „Flight vehicle performance and aerodynamic control“, Air Force Institute of Tehnology, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 2001.
- [2] Horizon Energy Systems Pte. Ltd, Singapore AEROPAK, katalog proizvoda
- [3] Ralph T. R., Hogarth M. P., Platinum Metals Rev., 2002, 46(3) 117-135
- [4] Velimirovic, K., Gajić-Krstajić Lj., Velimirović N. "Neke prednosti vodoničnih gorivih ćelija u odnosu na litijum-polimer akumulatora za propulziju mini bespilotne letelice", XIII YUCORR International Conference, Book of Abstracts, p 49, april 2011, Tara, Srbija
- [5] Velimirovic, K., Velimirović N. "Tactical Unmanned aerial vehicle Pegasus as a platform to carry missiles" OTEH 2011, Vojnotehnički institut, Beograd
- [6] Velimirovic, K., Velimirović N. "Određivanje maksimalnog taktičkog radijusa klipno-elisne taktičke bespilotne letelice, program Beliorao", SYM-OP-IS 2011
- [7] Radovi internog karaktera, konsultacije sa kolegama Vojnotehničkog instituta i Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd, 2010-2012

*Мемориам и част Емилијану Венечанину,
професору физике XIV београдске гимназије
Memoriam et honor Emilian Venečanin, professor
of physics XIV Belgrade High School*

ABSTRACT

PROPULSION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES – COMPARISON OF LITHIUM - ION COBALT AND LITHIUM - ION IRON PHOSPHATE BATTERIES

Unmanned aerial vehicles are remotely commanded flying robots with automatic control. They are used as platforms for carrying specific payload, such as cameras, sensors, communication equipment and weapons. Unmanned aerial vehicles, in addition to military applications, are increasingly being applied to environmental civil society tasks, such as surveillance and control of traffic, pipelines, power lines, forest fires protection, protection from pollution, conservation and research of environment, etc. This paper presents some possibilities to improve flight performances of unmanned aerial vehicles with electric propulsion. The unmanned aerial vehicle uses a hybrid combination of hydrogen fuel cells and lithium - ion - cobalt battery or lithium - ion - iron phosphate battery. The environmental aspect of both hybrids combinations was also considered.

Key words: Ecology, Unmanned aerial vehicles, Fuel cell, Lithium-ion-cobalt batteries, Lithium-ion-iron phosphate batteries, Performances

Scientific paper

Received for Publication: 16. 03. 2013.

Accepted for Publication: 22. 06. 2013.