

## CERCETAREA MODURILOR DE ACUMULARE ȘI CONSUM ENERGETIC AL NANOSATELITULUI „TUMNANOSAT”

**Maxim GUȘANU\***,  
**Valentin ILCO**,  
**Alexei MARTÎNIUC**

*Universitatea Tehnică a Moldovei, Centrul Național de Tehnologii Spațiale*

\*Autorul corespondent: Maxim Gușanu, [maximg.748@gmail.com](mailto:maximg.748@gmail.com)

**Rezumat:** *Sistemul de alimentare cu energie electrică a nanosatelitului are o importanță esențială în succesul realizării misiunii deoarece toate modulele și subsistemele lui necesită energie pentru funcționare normală. Procesul de management a energiei electrice include atât optimizarea acumulării și conversiei energiei, cât și a consumului în dependentă de planul misiunii și condițiile externe. Sistemul de alimentare trebuie să fie robust și sigur, fiind capabil să prevină apariția unor situații critice și să rezolve, după posibilitate, unele probleme care pot apărea în timpul funcționării.*

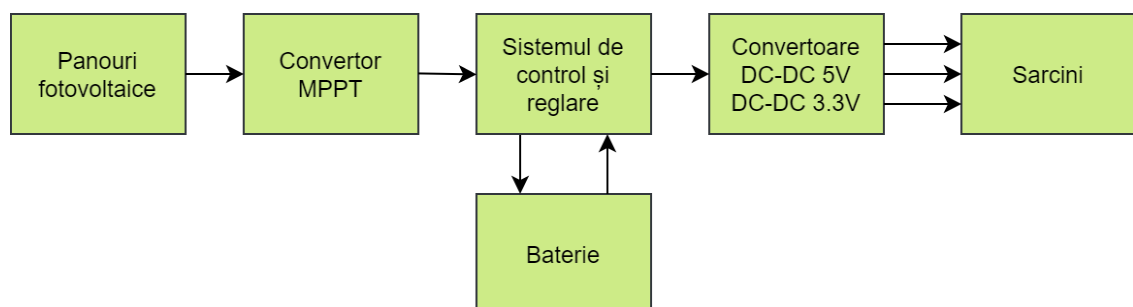
**Cuvinte cheie:** *nanosatelit, alimentare energie electrică, management energetic, simulare.*

### Introducere

Nanosateleții, fiind structuri foarte compacte, necesită un sistem de alimentare eficient de capturare a energiei solare, stocarea ei și distribuția ei rațională [1]. Organizarea procesului de alimentare constă în realizarea cooperării normale a acestor trei elemente și adaptarea lor sub planul misiunii [2]. Este necesar să fie prevăzute toate scenariile posibile de desfășurare a acțiunilor în cursul misiunii fiind reduse la minim riscurile de apariție a unor defecțiuni ireversibile. Testarea sistemului de alimentare în condiții reale de exploatare este imposibilă, din care motiv, apare necesitatea de realizare a modelului sistemului în mediu de simulare computerizată pentru testarea funcționării lui în diverse regimuri și condiții [1].

### Structura sistemului de alimentare

Sistemul de alimentare cu energie electrică a unui nanosatelit este de regulă alcătuit din trei elemente de bază: sursa primară de energie (panouri fotovoltaice), acumulator și sistemul control și distribuție a energiei. Schema de structură a modului de alimentare care este reprezentată în figura 1.



**Figura 1. Schema generală de structură a sistemului de alimentare**

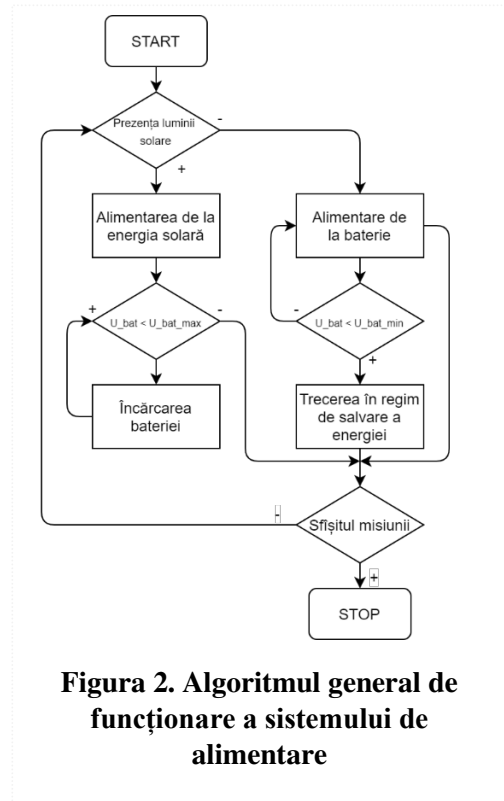
### Crearea modelului sistemului de alimentare

Modelul sistemului de alimentare a fost creat în mediul de simulare Simulink. Pentru simplificarea modelului, elementele sistemului de alimentare au fost înlocuite cu module funcționale echivalente sau asemănătoare. Elaborarea modelului începe de la definirea a elementelor sistemului ca blocuri funcționale și întocmirea algoritmului general de funcționare a sistemului reprezentat în figura 2:

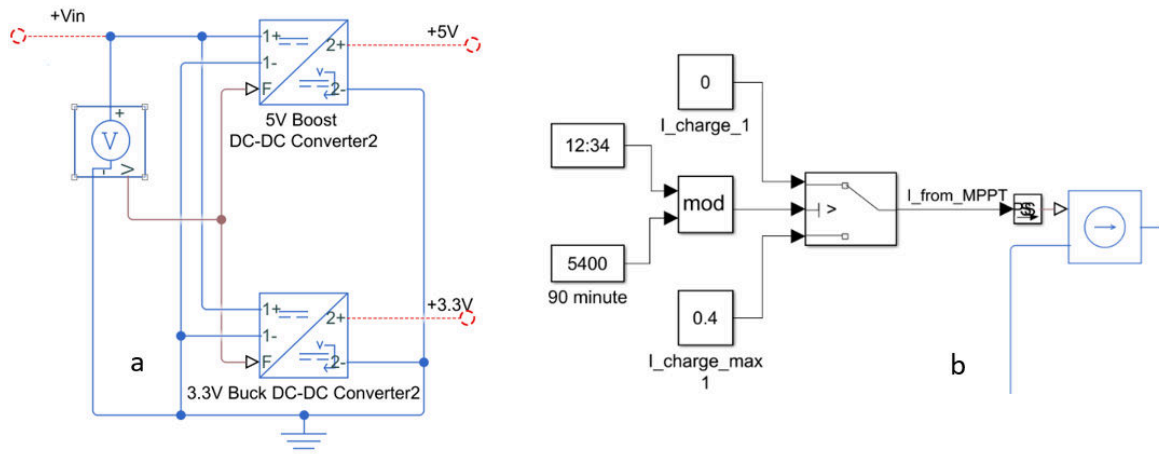
A fost simulată perioada de expunere a panourilor fotovoltaice la lumina solară pe parcursul mișcării pe orbită. Jumătate din perioada orbitală, nanosatelitul se va afla în umbra pământului, fiind alimentat din energia acumulată în baterii. Cealaltă jumătate, panourile fotovoltaice vor fi expuse la lumina solară alimentând nanosatelitul și suplinind resursele bateriei care au fost epuizate în semiperioada umbrată.

Conversia energiei de la panourile fotovoltaice va fi realizată utilizând algoritmul MPPT (Maximum Power Point Tracking), iar nanosatelitul va fi orientat mereu în poziția optimă față de soare, din care motiv, putem considera că pe perioada expusă la lumină, vom obține mereu puterea maximă posibilă de la panourile fotovoltaice. Excepții pot apărea doar în perioadele de tranziție, dar durata lor este destul de mică pentru a putea fi neglijată. Aceasta simplifică considerabil modelul sistemului fără introducerea erorilor. Astfel, panourile fotovoltaice pot fi înlocuite cu o sursă de curent constant care este activată pe jumătate din perioada orbitală. În figura 3a este reprezentat fragmentul modelului care simulează funcționarea panourilor fotovoltaice cu alternarea perioadei umbrite și insolate.

Toate subsistemele nanosatelitelui necesită tensiune nominală stabilizată de 3.3V sau 5V pentru funcționare normală. De aici apare necesitatea de a utiliza convertoare stabilizate de tensiune. Tensiunea pe baterie poate varia în diapazonul 3.5V – 4.2V, astfel pentru obținerea tensiunii 3.3V va fi utilizat convertor DC-DC cu topologia Buck (Step-Down), iar pentru 5V – convertor DC-DC cu topologia Boost (Step-Up). Pentru simulare, vor fi utilizate modelele convertoarelor din librăria standard Simulink. Schema de conexiune a convertoarelor este prezentată în figura 3b. Parametrii convertoarelor au fost setați conform specificațiilor tehnice pentru modulul EPS utilizat.



**Figura 2. Algoritmul general de funcționare a sistemului de alimentare**



**Figura 3. a) simularea funcționării panourilor fotovoltaice b) simularea convertoarelor DC-DC**

Realizarea modelului complet a sistemului de alimentare, necesită determinarea consumului mediu al tuturor subsistemelor nanosatelitelui. Pentru simularea consumului de energie, toate modulele nanosatelitelui, în baza datelor din specificațiile tehnice utilizate, care necesită energie electrică au fost înlocuite cu o sarcină rezistivă echivalentă care consumă 748mW/1 W, conform rezultatelor calculelor prezentate în Tabelul 1.

Bugetul energetic

| Module                       | Supply voltage, V | Supply current, mA | Consumed power, mW | Consumption time, sec. | Periodicity, h/ sec | Average power, mW | Consumed energy, Wh |
|------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| <b>OBC</b>                   | 3.3               | 100                | 330                | 3600                   | 1                   | 3600              | 0.33                |
| <b>Transceiver (TX mode)</b> | 3.3               | 800                | 2640               | 30                     | 0.08                | 300               | 0.33825             |
| <b>EPS</b>                   | 3.7               | 25                 | 80                 | 3600                   | 1                   | 3600              | 0.08                |
| <b>Payload</b>               | 0                 | 0                  | 0                  | 0                      | 1                   | 3600              | 0                   |
| <b>Power cycle period</b>    |                   | 3600               |                    |                        |                     | Total             | 748.2               |
|                              |                   |                    |                    |                        |                     |                   | 5                   |

Fiind luate în considerație toate particularitățile sistemului specificate anterior, a fost elaborat modelul complet al sistemului de alimentare reprezentat în figura 4, împreună cu toate instrumentele de măsură necesare pentru monitorizarea stării sistemului în întregime. Parametrii modelului pot fi configurați pentru a reflecta parametrii sistemului real în condiții reale de exploatare ceea ce asigură flexibilitate ridicată și permite testarea sistemului în diverse scenarii.

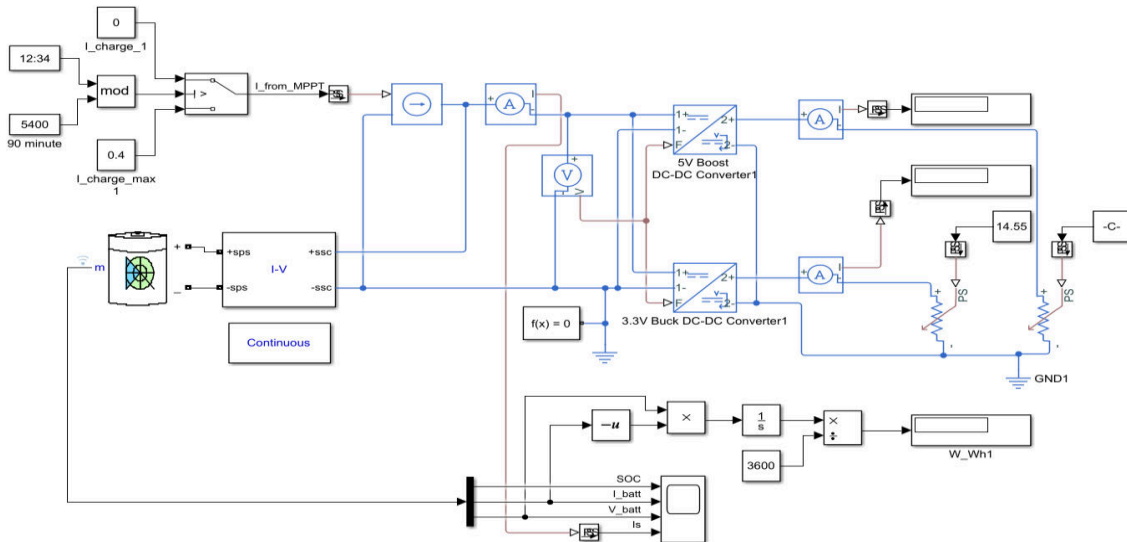


Figura 4. Modelul complet al sistemului

În calitate de exemplu, a fost simulată o misiune cu durata de 30 zile. Parametrii sistemului au fost setați în corespundere cu parametrii tuturor subsistemelor nanosatelitului proiectat. În stare inițială, bateria este încărcată până la nivelul 50%. Curentul maxim generat de panourile fotovoltaice este setat la nivelul 400mA. Știind că altitudinea orbitei nanosatelitului va fi la nivelul 400-450km, a fost aleasă perioada orbitală de 90 minute, în care jumătate din timp, satelitul este umbrit de către Pământ, iar cealaltă jumătate, este expus la lumină solară.

Au fost simulate doua cazuri de consum. În primul caz, vor fi utilizate datele din Tabelul 1 pentru a simula consumul mediu a tuturor subsistemelor nanosatelitului. Conform calculului, consumul mediu de energie este 0.748W, ceea ce corespunde sarcinii rezistive echivalente de 14,55Ohm pe linia 3.3V. Sunt monitorizați următorii parametri: nivelul de încărcare a bateriei, curentul încărcare/descărcare a bateriei, tensiunea pe baterie și curentul consumat de la panouri solare. Rezultatele simulării pentru cazul de consum 0.748W sunt reprezentate în figura 5.

Din primul grafic din figura 5, poate fi observat că curentul generat de către panourile fotovoltaice este suficient pentru a alimenta toate modulele nanosatelitului și de a încărca bateria concomitent. În fiecare ciclu de umbră/insolare, nivelul de încărcare a bateriei crește, ceea ce

demonstrează că în configurația dată, toate subsistemele nanosatelitului vor fi alimentate suficient fără perturbări pe o perioadă oricât de lungă, pînă la degradarea panourilor fotovoltaice, a bateriei sau apariției unor defecțiuni în sistemul de control.

În al doilea caz analizat, puterea medie consumată de către subsistemele nanosatelitului a fost ridicată pînă la nivelul de 1W, ceea ce corespunde sarcinii echivalente rezistive de 9.90Ohm pe canalul 3.3V. Astfel, curentul generat de panourile fotovoltaice este insuficient pentru a suplini complet resursele bateriei, epuizate în perioada de umbră. Din primul grafic al figurii 7, poate fi observată scăderea nivelului de încărcare a bateriei pe parcursul timpului, ceea ce semnifică că nanosatelitul va putea funcționa neîntrerupt doar o perioadă limitată de timp pînă la epuizarea completă a energiei din baterie. Acest caz de consum nu este favorabil, deoarece realizarea lui necesită planificarea mai riguroasă a misiunii și nu dispune de oarecare rezervare.

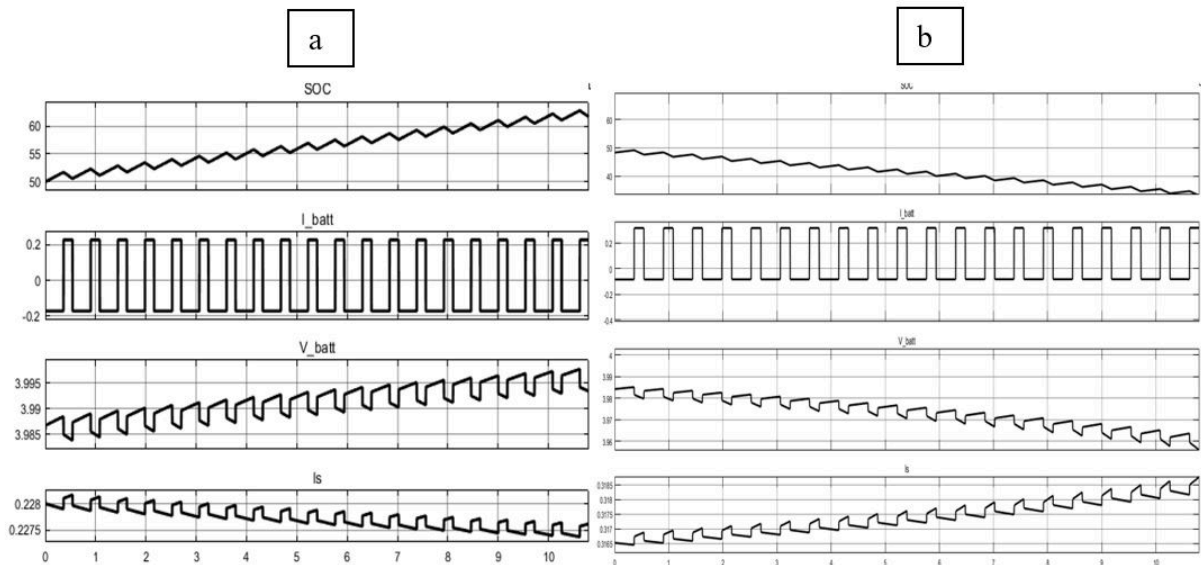


Figura 5. Rezultatele simulării pentru a) sarcină de 0.748 W și b) 1 W

### Concluzii

Simularea sistemelor complexe cu multe variabile poate simplifica considerabil procesul de proiectare, elaborare și testare a sistemului. Modelul sistemului este parțial abstractizat și idealizat, din care motiv el nu poate cuprinde toate detaliile prezente în condiții reale de exploatare, însă el permite depistarea și corectarea erorilor logice în proiectarea sistemului și poate asigura date necesare pentru optimizarea lui. Modelul sistemului de alimentare a nanosatelitului, conține toate elementele necesare pentru simularea diverselor scenarii de alimentare și consum cu configurația care reflectă parametrii componentelor reale. Deși modelarea sistemului nu poate oferi unele date exacte, totuși ea asigură o înțelegere intuitivă a sistemului, și oferă unele valori de referință, necesare la etapa de proiectare.

### Bibliografie

1. BURT Robert. Distributed electrical power systems in cubesat applications. Utah State University. Logan, Utah, 2011. p.21
2. SECRIERU Nicolae, LEVINET Nicolae, CANDRAMAN Sergiu, ILCO Valentin, GIRSCAN Adrian, MARGARINT Andrei. TUMnanoSat family for diverse educational space mission. In: *The 9th International Conference on Microelectronics and Computer Science & The 6th Conference of Physicists of Moldova*, Chișinău, Republic of Moldova, October 19-21, 2017, p.144.
3. PATEL M.R. *Spacecraft Power Systems*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. p.135, p.195.