УДК 336.72

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ МІКРОСУПУТНИКА

Семіконь Є.В., Сарибога Г.В.
Київський політехнічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Було досліджено основні питання енергоефективності систем енергозабезпечення мікросупутника, основні джерела енергії такі, як сонячні батареї та акумулятор, основні споживчі системи мікросупутника та розроблено алгоритми та програмне забезпечення для системи керування енергозабезпеченням. На основі платформи ARDUINO UNO було розроблено електричну схему та програмне забезпечення для знаходження основної характеристики сонячної батареї – вольт-амперної характеристики, для подальшого її застосування у розроблених алгоритмах.

Ключові слова: сонячна батарея, система управління енергозабезпеченням мікросупутника, електрична схема, вольт-амперна характеристика.

Постановка проблеми. Основною метою створення університетського мікросупутника МС_КПІ є розробка базової уніфікованої конструкції космічного апарата цього класу. МС_КПІ буде виконувати функцію віртуальної науково-дослідної космічної лабораторії, що забезпечить довгострокові випробування нової техніки у космосі при істотній економії засобів, та доступу багатьох користувачів до проведення таких наукових досліджень.

В склад віртуальної лабораторії на базі МС_КПІ входять такі основні функціональні частини: об'єкт досліджень, підсистема керування, підсистема зберігання даних, підсистема збору та обробки даних, підсистема енергозабезпечення, підсистема радіозв'язку, наземна система зв'язку, збору інформації, керування, обробки інформації, зберігання даних тощо.

Найважливішою частиною є проектування системи енергозабезпечення, яка слугує для вироблення, зберігання, регулювання та розподілу електроенергії у всіх фазах роботи мікросупутника на орбіті. Задачею дослідження є розробка алгоритму та програмного забезпечення системи керування енергозабезпеченням мікросупутника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянувши існуючі схеми космічних апаратів можна прийти до висновку про склад і тип службових систем, що найбільш часто встановлюються на супутниках малого та середнього класів. Наявність даних систем забезпечує можливість реалізації цільового призначення космічного апарату, а також функціонування систем протягом активного існування.

Система енергозабезпечення призначена для забезпечення електроенергією бортової апаратури космічних апаратів (далі «КА») в процесі орбітального польоту протягом заданого часу експлуатації, а також при його наземних випробуваннях.

В якості постійних джерел енергопостачання (акумуляторів) на КА найбільшого поширення набули батареї хімічні (далі БХ), що виробляють електроенергію на основі протікання хімічних процесів. БХ характеризуються номінальною напругою, ємністю, номінальним струмом заряду та розряду та терміном експлуатації.

До БХ, призначених для роботи в космічному просторі залучають наступні вимоги:

- Високі питомі масо габаритні та електричні характеристики.
- Широкий діапазон робочих температур.
- Здатність підзарядки малими струмами.
- Низькі струми саморозряду

Типи БХ, які використовуються на КА:

1. Кислотні. Мають велику ємність, але швидко виходять з ладу у розрядженому стані,
2. Лужні. В зарядженому стані швидко втрачають ємність, розраховані на великі струми та великі ємності.
3. Срібно-цинкові. Мають відносно невеликі габарити, надають велику кількість ампер/годин але не переносять перезаряду.
4. Нікель – кадмієві. Мають більш високі питомі характеристики, мають більшу кількість, порівняно з іншими, циклів заряд-розряду.
5. Літій-іонні. Мають добрі питомі характеристики, та довгий термін зберігання (від 10 до 15 років). Відносно дешеві. Але акумулятори такого типу не мають змоги створювати великі ємності, не полюбляють перезаряду, мають обмежену кількість циклів заряду та розряду.

Споживання електроенергії апаратурою службових систем та корисного навантаження призводить до розряду БХ. Тому для забезпечення функціонування СЕЗ протягом тривалого терміну експлуатації повинні бути передбачені джерела поповнення електроенергії, що забезпечують заряд БХ. В якості таких джерел електроенергії можуть використовуватись фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), ядерні установки та ін. Їх часто називають первинними джерелами електроенергії.

Однак ядерні енергетичні установки являють собою екологічну небезпеку у вигляді тривалого радіаційного випромінювання. Час ізоляції вимкненого реактору ЯЕУ складає близько 300 років.

Для ефективної роботи СБ може використовуватися система орієнтації сонячних батарей (СОСБ), яка повинна забезпечувати орієнтацію СБ на Сонце при мінімальній власній споживчій потужності протягом терміну активного існування КА. Для орієнтації на Сонце використовуються сонячні датчики. Як показує практика, СОСБ неефективні при застосуванні на мікросупутниках, так як не забезпечують позитивного ефекту збільшення потужності за рахунок додаткового споживання енергії самої СОСБ. До того ж це

© Семіконь Є.В., Сарибога Г.В., 2016

призводить до ускладнення конструкції та зниження показників надійності.

Апаратура КА, як правило, вимагає різного номіналу напруг споживання та роздільного споживання. Тому до складу системи енергозабезпечення (СЕЗ) входять перетворювачі та стабілізатори напруги,

Перетворювачі та стабілізатори напруги призначенні для вироблення стабілізованої напруги різного номіналу, що подається на бортову апаратуру КА, вмикаючи службові системи та корисне навантаження. Як правило, бортова апаратура використовую напругу 27 В для живлення мікросхем радіоелектронної апаратури КА, але на мікросупутнику така потужність не потрібна, цілком достатньо від 5 до 12 В.

Крім цього для підвищення надійності використовуються резервні канали споживання та виробляється поділ напруги одного номіналу для різних споживачів. За рахунок цього при виході з ладу каналу заданого номіналу, бортова апаратура може бути переведена на резервний канал споживання, у разі виходу з ладу конкретного приладу (наприклад, короткого замикання або обриву лінії) цей прилад може бути відключений від живлення. Залишена апаратура буде виконувати свої функції, тобто вихід із ладу одного приладу не призведе до втрати працездатності всього КА.

Як правило, стабілізатори напруги несуть у собі елементи захисту від короткого замикання, при перевищенні споживчою апаратурою допустимого максимального струму (наприклад, у 1.5 рази). Такий захист дозволяє уникнути позачергових ситуацій, здатних призвести до повного виходу з ладу СЕЗ КА.

Останнім часом широкого поширення набувають перетворювачі та стабілізатори напруг, що виробляються на інтегральних схемах с ККД до 0.8.

Для забезпечення управління СЕЗ, підтримки та контролю режимів роботи, вмикання та вимикання живлення та ін. до складу СЕЗ вносять блок управління та інтерфейс.

При побудові систем енергозабезпечення космічних апаратів застосовуються наступні типи структур:

– буферна, з безпосереднім підключенням первинного і вторинного джерел енергії до навантаження;

– регульована, в якій підключення джерел енергії і навантаження між собою реалізується за послідовною, паралельною або комбінованою схемою з використанням регуляторів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вважається, що саме система енергозабезпечення та енергозбереження автономних пристроїв є найбільш актуальною, але не зовсім досконалою. Для керування такими системами ще немає єдиного програмного комплексу для його застосування у різних сферах використання автономних об'єктів.

Постановка задачі. Ціллю статті є розробка алгоритму та програмного забезпечення системи керування енергозабезпеченням мікросупутника на основі проведення наземного експерименту з використанням мікроконтролера Arduino.

Викладення основного матеріалу. Для того щоб розробити програмне забезпечення, яке буде контролювати роботу системи енергоживлення, треба розробити алгоритм, за яким буде функціонувати СЕЗ та окремі її компоненти.

Система енергозабезпечення мікросупутника виконую наступні функції:

· Розкриває сонячні батареї

· Підтримує достатній рівень зарядженості акумуляторних батарей

· Забезпечує енергетичний баланс в даному розділі наведені алгоритми за якими виконуються вище перелічені функції.

У першу чергу розглянемо схему початку роботи СЕЗ та розкриття сонячних батарей. Перед відділенням КА усі бортові системи відключенні від електропостачання. Для початку функціонування СЕС датчик відділення КА повинен подати сигнал про те, що відбулося відділення КА від РН. Після цього на плату СЕЗ від акумулятора потрапляє живлення. СЕЗ подає команду на розкриття СБ. ДР регіструє факт розкриття СБ та відповідна інформація потрапляє у блок телеметричної інформації для передачі на Землю. На рис. 1. зображено алгоритм, за яким відбувається запуск СЕЗ та розкриття сонячних батарей. Лістинг коду програми роботи алгоритму наведено в додатку А.

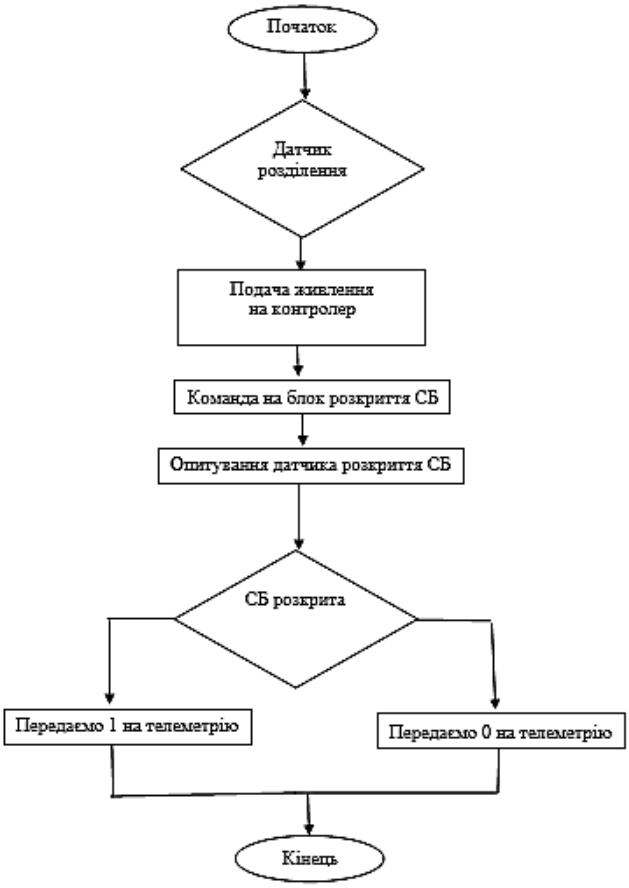

Рис. 1. Блок схема алгоритму «Запуск»

Розглядається процес управління заряду акумулятора. З відповідних датчиків на контролер поступає інформація про рівень зарядженості акумуляторних батарей. У разі недостатнього рівня заряду акумулятора, підключаємо підзарядку батареї від СБ У випадку максимальної зарядженості акумулятора, блок управління за-

рядом вимикає подачу живлення на батарею від СБ, формує інформацію про стан заряду та передає її до телеметрії. Лістинг коду програми роботи алгоритму наведено в додатку Б.

На рисунку 2. наведена блок-схема алгоритму за яким відбувається контроль заряду акумуляторної батареї.

Рис. 2. Блок-схема алгоритму за яким відбувається контроль заряду акумуляторної батареї

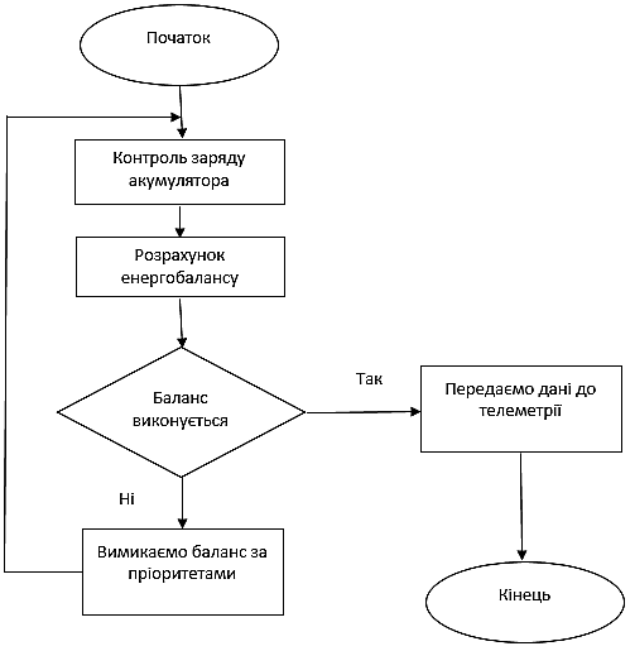

Рис. 3. Блок-схема алгоритму, за яким відбувається контроль енергетичного балансу СЕЗ

У контролер надходить інформація про заряд акумуляторної батареї, поточну напругу та струм споживання різними елементами БА. Контролер проводить аналіз вхідних даних, та при недостачі енергії відправляє сигнал на інтерфейс про відключення бортової апаратури за пріоритетами. Лістинг коду програми роботи алгоритму наведено в додатку В.

На рис. 3. зображено блок-схему алгоритму, за яким відбувається контроль енергетичного балансу СЕЗ.

Для забезпечення мікросупутника енергією було обрано сонячні батареї на основі монокремнію. Це обумовлено розвиненою кремнієвої технологією взагалі і можливістю виготовлення на його основі сонячних елементів з найбільш прийнятним відношенням ефективність/вартість, а також найбільшим ККД з усіх інших типів сонячних батарей.

Основні характеристики сонячної батареї:

- P = 5 Вт
- $I_{к.з.}$ = 750 мА
- $U_{х.х}$ = 6 В
- Габаритні розміри 160 х 160 мм.

На основі мікроконтролера Arduino UNO розроблено програмно-апаратний комплекс. Він складається з модуля Arduino UNO і елементів схеми управління навантаженням.

Програмне забезпечення запускає одночасно три процеси на ммікроконтролері:

- Зміна вихідної напруги, що призводить до зміни навантаження
- Вимірювання напругу
- Вимірювання струму

Ці дії повторюються задану кількість разів.

Для забезпечення енергією супутник, враховуючи характеристики блоку живлення та батарейного блоку, потрібно скористатися паралельно-послідовним з'єднанням. Згідно з характеристиками блоку живлення HESC104-HV, вхідна напруга становить 6-50 В, а струм заряду 0-4 А, тобто для живлення системи необхідно не більше 8 з'єднаних послідовно обраних сонячних батарей. Кількість сонячних батарей, які з'єднані паралельно потрібно обирати згідно розмірів, форми мікросупутника та апаратури корисного навантаження.

1. Лістинг коду програми для виконання алгоритму «Запуску»

```
boolean otd
boolean kontrOn;
boolean datchikSB;
void setup () {Serial.begin (9600);}
void loop () {
if (otd=1){ // Перевірка успішності відділення мікросупутника.
kontrOn=1; // Включення живлення на контроллер;
if (datchikSB=1){Serial.write («Сонячні батареї розкриті»);}
else {Serial.write («Сонячні батареї не розкриті «);} // Перевірка розкриття сонячних панелей і відправка даних по телеметрії.
}}
```

2. Лістинг коду програми для виконання алгоритму «Контроль зарядженості акумуляторів»

```
boolean battery; // значення, яке відповідає за зарядженість акумулятора
boolean kontrOn;
void setup () {Serial.begin (9600);}
void loop () {
```

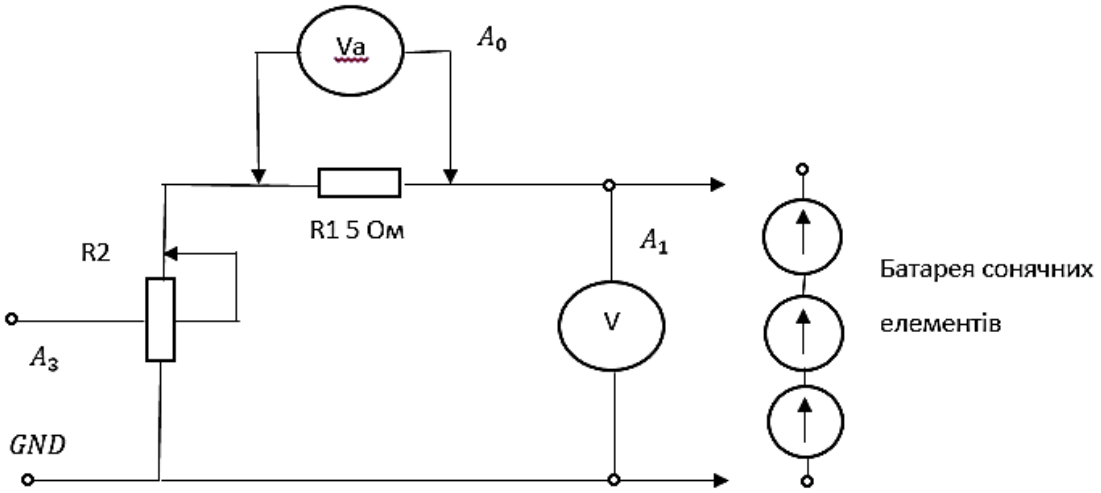

Рис. 4. Принципова схема включення навантаження і вимірювання струму і напруги

L: if (battery=1) // перевірка заряджености акумулятора
{kontrOn=0; // відключення підзарядки;
Serial.print («Батарея заряджена»);} // відправка даних по телеметрії
else { kontrOn=1;goto L;} // підключення підзарядки і повтор алгоритму
}}

3. Лістинг коду програми для виконання алгоритму «Контроль енергетичного балансу СЕЗ та Вмикання і вимикання бортових систем»

boolean battery; // значення яке відповідає за зарядженість акумулятора
boolean balance; // значення при якому недостатньо енергії для виконання всіх функцій
int systemOff [i]; // i-кількість бортової апаратури; i-найважливіша система, потім по пріоритету i-1,i-2..., встановлюється індивідуально
int k;
int p=0;
void setup () {Serial.begin (9600);}
void loop () {
if (battery=1) // перевірка заряджености акумулятора
{balance=1;} //баланс виконується;
else {balance=0; //баланс не виконується;
battery=0;} // виконуємо алгоритм для зарядки акумулятора
if (balance=1)
{if (Serial.available>0) // очікування команди
{systemOff [i]={1,1,1...}; // включення систем за командою
Serial.print («перелік систем, які запущені»);} // відправка даних по телеметрії
else
{systemOff [i]={0,1,1....}; // відключення систем за пріоритетом;
Serial.print («перелік систем, які виключені»);} // відправка даних по телеметрії }}

Висновки. Для системи керування енергозабезпечення було розроблено 3 алгоритма:

1. Розкриття сонячних панелей, та запуск СЕЗ;
2. Контролюватися рівень заряду акумуляторних батарей;
3. Контролювання енергобалансу СЕЗ мікросупутника;

Для кожного з алгоритмів було розроблено програмне забезпечення і побудовані блок схеми. Результати роботи можуть бути використані для контролю та управління елементами СЕЗ малогабаритних космічних літальних апаратів та автономних об'єктів.

Список літератури:

1. Зинченко В. П., Кралина Ю. В., Шурпач С. А. «Моделирование вольт-амперной характеристики солнечных батарей микроспутника».
2. Фалеев Д. С. «Основные характеристики солнечных модулей».
3. Безручко К. В., Гайдуков В. Ф., Губин С. В., Драновский В. И., Карпов Я. С., Туркин И. Б. «Солнечные батареи автоматических космических аппаратов» – 2011.

Семиконь Е.В., Сарибога А.В.
Киевский политехнический университет Украины «Киевский политехнический институт»

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ МИКРОСПУТНИКА

Аннотация
Было исследовано основные вопросы энергоэффективности систем энергообеспечения микроспутника, основными источниками энергии такие, как солнечные батареи и аккумулятор, основные потребительские системы микроспутника и разработано алгоритмы и программного обеспечение для системы управления энергообеспечением. На основе платформы ARDUINO UNO было разработано электрическую схему и программное обеспечение для определения основной характеристики солнечной батареи вольт-амперной характеристики, для дальнейшего ее применения в разработанных алгоритмах.
Ключевые слова: солнечная батарея, система управления энергообеспечением микроспутника, электрическая схема, вольт-амперная характеристика.

Semikon Y.V., Saryboga G.V.
Kyiv Polytechnic University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

ALGORYTHM AND SOFTWARE DEVELOPING FOR ENERGY CONTROL SYSTEM OF MICROSATTELITE

Summary
The main issues of energy efficiency microsatellite, the main sources of energy such as solar cells and battery, consumer systems of microsatellite were investigated. Algorithms and software for control systems of power supply for the microsatellite was developed. Based on the platform ARDUINO UNO, electrical circuit and software of the main characteristics of solar cell – the current-voltage characteristics was developed for its following use in the algorithms.
Keywords: solar panels, energy control system of microsatellite, electrical circuit, current-voltage characteristic.