

УДК 629.783

Имитатор солнечной батареи для испытаний системы электроснабжения малого космического аппарата

Чередниченко Ксения Антоновна^(*)

cherednichenko@bmstu.ru

Лазарев Никита Денисович

lazarevnd@bmstu.ru

Тененбаум Степан Михайлович

tenenbaum@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Разработан имитатор солнечной батареи на основе рассмотренной эквивалентной математической модели (электрической схемы), состоящей из источника тока, полупроводниковых диодов и резисторов. Проведены испытания имитатора, показавшие достаточную точность выходных характеристик в сравнении с солнечной батареей. Разработанный имитатор предназначен для настройки и испытаний регулятора максимальной мощности системы электроснабжения малого космического аппарата.

Ключевые слова: имитатор солнечной батареи, система электроснабжения, вольт-амперная характеристика, малый космический аппарат, математическое моделирование

Введение. Система электроснабжения (СЭС) малого космического аппарата (МКА) в условиях ограниченных энергетических ресурсов должна быть надежна и эффективна. Данная задача является актуальной для МКА, разрабатываемых в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1–4]. Для полноценной отработки (настройки и различных испытаний) таких систем, в особенности регулятора максимальной мощности, предлагается использование имитатора солнечных батарей (СБ). Целью данной работы является моделирование и последующая разработка универсального имитатора, позволяющего воспроизводить нелинейную вольт-амперную характеристику (ВАХ) СБ в широком диапазоне внешних факторов, влияющих на выходную электрическую мощность, таких как температура солнечной батареи, ее освещенность и др.

Методы и материалы; результаты. СБ может быть представлена в виде эквивалентной электрической схемы (рис. 1), состоящей из источника тока J , полупроводниковых диодов D и последовательного R_s и параллельного R_p сопротивлений [5].

На схеме I_D , I_{Rp} — токи, протекающие через соответствующие компоненты, N — количество диодов, I_{pv} , U_{pv} — ток и напряжение на выходе электрического эквивалента, равные аналогичным параметрам имитируемой СБ. В качестве имитируемой СБ была выбрана солнечная батарея МКА серии «Хорс» [3].

В качестве математического описания данной электросхемы выступает уравнение (1) [5], из которого определяются параметры имитатора: ток J , сопротивления R_s и R_p и количество диодов N :

$$I_{pv}(U_{pv}) = J - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(U_{pv} + I_{pv}R_s)}{aNkT} \right) - 1 \right) - \frac{U_{pv} + I_{pv}R_s}{R_p}, \quad (1)$$

где q — заряд электрона, k — постоянная Больцмана, a — коэффициент идеальности диода, I_0 — обратный ток насыщения диода, T — температура диодов.

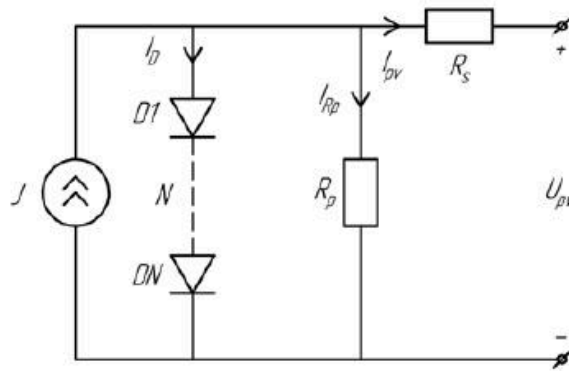


Рис. 1. Эквивалентная схема солнечной батареи

На основе математической модели был разработан и протестирован образец имитатора СБ, состоящий из источника питания, выступающего в качестве источника тока, полупроводниковых диодов и резисторов необходимого сопротивления. При снятии ВАХ имитатора использовалась электронная нагрузка. Для снижения температуры имитатора в процессе его работы использовалось активное воздушное охлаждение.

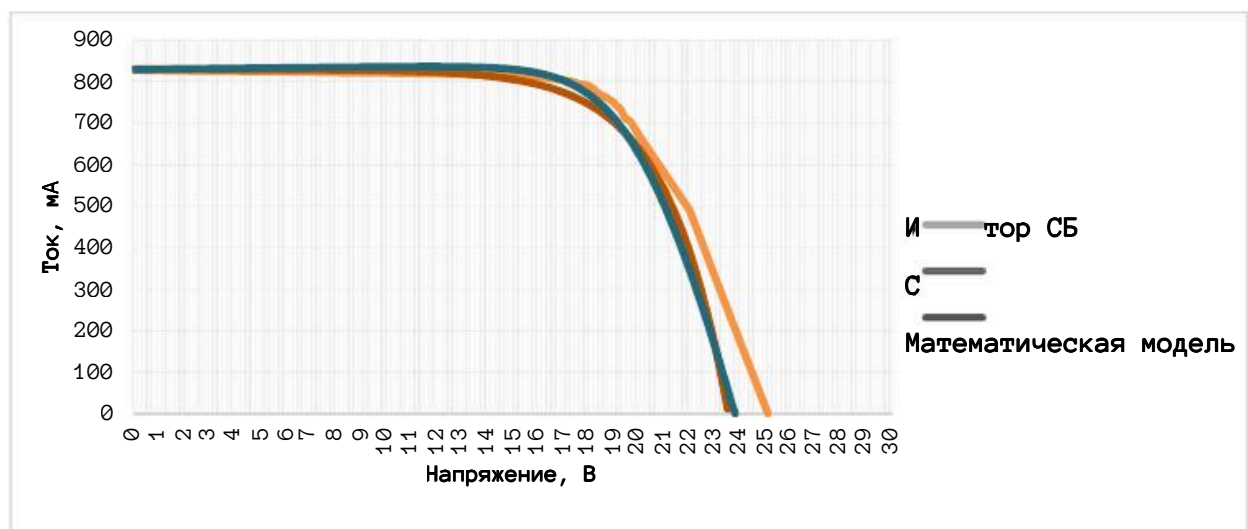


Рис. 2. Сравнение ВАХ имитатора и солнечной батареи

Были проведены испытания, в результате которых определилось, что ВАХ имитатора СБ с достаточной точностью повторяет ВАХ СБ МКА (рис. 2). Так-

же представляется возможность динамического изменения ВАХ путем регулирования выходного тока источника питания и мощности охлаждения с целью исследования поведения экстремального регулятора СЭС МКА в переменных условиях.

Заключение. Таким образом, разработан имитатор солнечной батареи на основе математической модели, который позволяет воспроизводить выходные параметры реальной СБ и проводить испытания системы электроснабжения космического аппарата.

Список источников

- [1] Рачкин Д.А., Тененбаум С.М., Мельникова В.Г. и др. Опыт мониторинга космической погоды и использования аппаратуры АИС на борту космического аппарата типа CubeSat. *К.Э. Циолковский: ключевые идеи и современные достижения космонавтики. 59-е Науч. чтения, посв. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского: сб. матер.* Калуга, Эйдос, 2024, т. 1, с. 28–32.
- [2] Гончаров Н.В., Корецкий М.Ю., Майорова В.И. и др. Ярило — проект построения группировки наноспутников для исследования Солнца. *Космонавтика и ракетостроение*, 2018, № 1 (100), с. 69–78.
- [3] Майорова В.И., Рачкин Д.А., Тененбаум С.М. и др. Платформа CubeSat 6U XL, разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана, для решения научных и прикладных задач. *Идеи Циолковского в теориях освоения космоса. К.Э. Циолковский: ключевые идеи и современные достижения космонавтики. 58-е Науч. чтения, посв. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского: сб. матер.* Калуга, ИП Стрельцов И.А., 2023, с. 54–57.
- [4] Tenenbaum S., Rachkin D., Melnikova V. et al. Onboard systems of Yareelo nanosatellites for solar activity and radiation monitoring. *AIP Conference Proceedings. 44. Ser. XLIV Academic Space Conference: Dedicated to the Memory of Academician S.P. Korolev and Other Outstanding Russian Scientists — Pioneers of Space Exploration*, 2021, vol. 2318, art. no. 120016. <https://doi.org/10.1063/5.0036225>
- [5] Раушенбах Г. *Справочник по проектированию солнечных батарей*. Москва, Энергоатомиздат, 1983, 360 с.