

Моделирование солнечных батарей космических аппаратов в программной среде SimInTech

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

А.М. Поляков – к.т.н., доцент, «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва)

E-mail: poliakovam@mpei.ru

А.Р. Корсаков – инженер-программист, ООО «ЗВ Сервис» (Москва)

E-mail: a.korsakov@zv-services.com

Р.В. Козлов – начальник группы отдела разработки систем электропитания космических аппаратов, АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева» (г. Железногорск)

E-mail: krv@iss-reshetnev.ru

А.С. Тетерин – инженер-конструктор отдела разработки систем электропитания космических аппаратов, АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева» (г. Железногорск)

E-mail: teterin@iss-reshetnev.ru

Рассмотрена реализация математической модели солнечной батареи (БС) космического аппарата (КА) в программном комплексе SimInTech. Проведены расчеты для математической модели БС с детализацией до каждого фотопреобразователя (ФП). Представлены результаты расчета характеристик БС в рабочей точке с учетом ее затенения элементами конструкции КА.

Ключевые слова: солнечная батарея, математическая модель, космический аппарат, SimInTech.

The implementation of the mathematical model of the solar battery (BS) of the spacecraft in the software complex SimInTech is considered. Calculations for the mathematical model of the BS with detailing to each photoconverter (FP) have been performed. The results of the calculation of the characteristics of the BS at the operating point are presented, taking into account its shading by the elements of the space vehicle structure.

Keywords: solar battery, mathematical model, spacecraft, SimInTech.

В настоящее время созданы и успешно эксплуатируются системы персональной (мобильной) спутниковой связи. Создание систем персональной спутниковой связи с космическими аппаратами (КА), функционирующими на геостационарной орбите (ГСО), связано с необходимостью решения ряда специфических технических задач. Так, для обеспечения требуемой мощности сигнала необходимо применение сетчатых антенн большого диаметра (от 12 м), а в перспективе могут быть применены антенны диаметром до 48 м. Одновременно растет требуемая мощность системы электропитания (СЭП). Рост требуемой мощности СЭП приводит к росту площади солнечных батарей (БС), которая может достигать 80 м² и более. При этом осуществить взаимную компоновку БС и антенн так, чтобы полностью исключить затенение БС антеннами в процессе орбитального функционирования КА, не всегда удается, а с ростом диаметра антенн становится все более затруднительным.

При наличии в составе КА антенны достаточно большого диаметра затенению подвергается большая часть или даже вся БС. При этом конфигурация затенения БС будет неоднородной и изменяющейся во времени. Исключение из расчета энергобаланса, выполняемого при проектировании СЭП КА, мощности БС на период затенений нецелесообразно, так как в этом случае потребуется значительно увеличить энергоемкость аккумуляторных батарей (АБ), а также дополнительно увеличить мощность БС для компенсации разрядной энергии АБ, что приведет к росту массы СЭП и, в конечном итоге, к снижению массового совершенства и конкурентоспособности КА в целом.

Таким образом, расчет характеристик и задание требований к БС геостационарных КА персональной спутниковой связи в условиях полного затенения БС антеннами является актуальной научно-технической задачей.

Ц е л ь р а б о т ы – рассмотреть реализацию полномасштабной математической имитационной модели БС на базе среды математического моделирования SimInTech.

Математическая модель солнечной батареи

На базе модели фотопреобразователя (ФП) была реализована математическая модель БС с индивидуальным учетом каждого ФП и сопутствующих элементов. Фактически модель БС представляет собой элек-

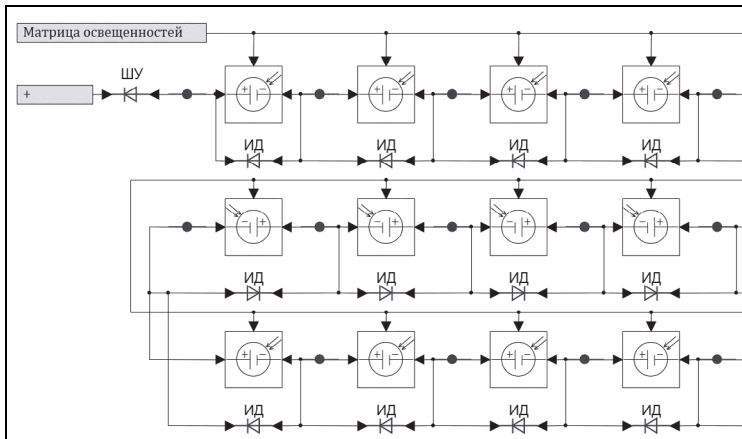


Рис. 1. Фрагмент схемы элементарного генератора БС

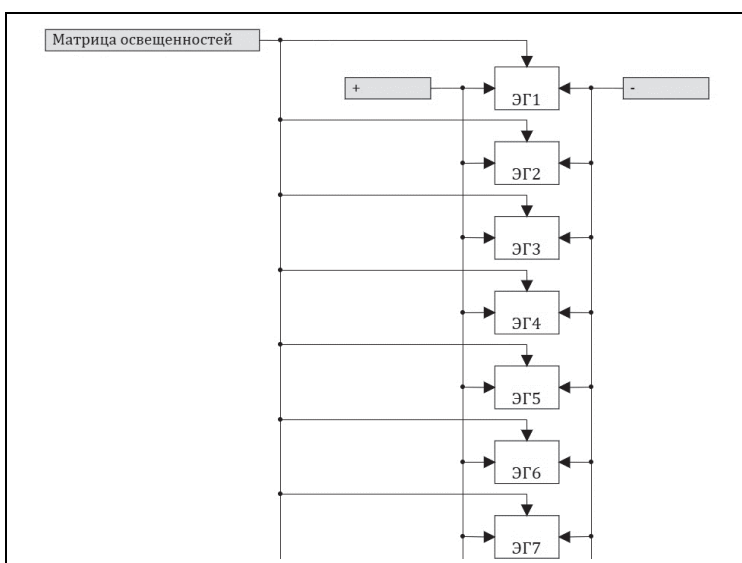


Рис. 2. Фрагмент схемы панели БС

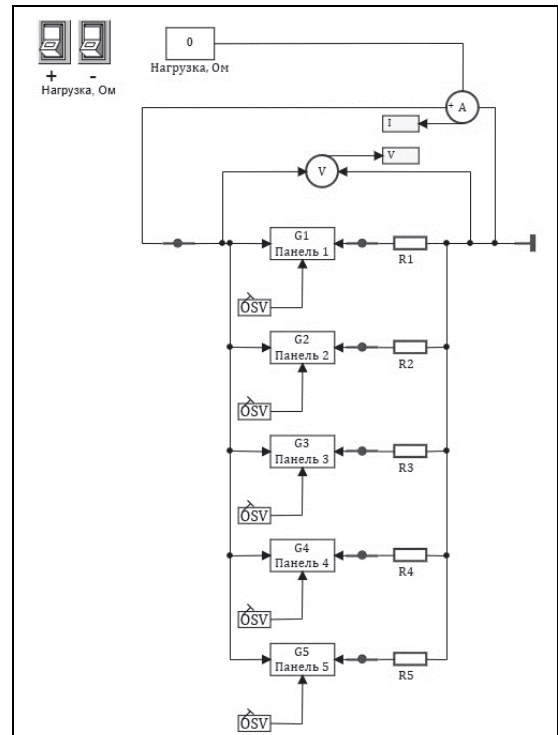


Рис. 3. Математическая модель БС, реализованная в SimInTech

трическую схему. На рис. 1 представлен фрагмент схемы одного элементарного генератора БС.

Каждый элементарный генератор содержит 60 последовательно соединенных ФП с развязывающими и шунтирующими диодами.

В свою очередь, одна панель БС представляет собой 40 параллельно со-

единенных элементарных генераторов, как показано на рис. 2.

БС, схема которой представлена на рис. 3, состоит из пяти идентичных панелей.

В общей сложности модель набрана из $60 \times 40 \times 5 = 12000$ блоков ФП и значительного числа прочих блоков электротехнической библиотеки SimInTech.

Результаты моделирования

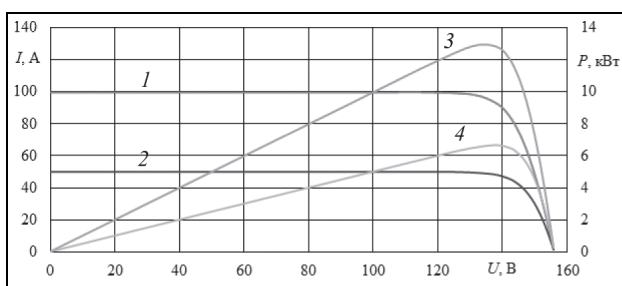


Рис. 4. Графики статических ВАХ БС при различной освещенности: 1 – ВАХ для освещенности 100%; 2 – ВАХ для освещенности 50%; 3 – мощность для освещенности 100%; 4 – мощность для освещенности 50%

С учетом числа параллельных и последовательных элементов для БС в целом получаем: напряжение холостого хода 156,6 В; напряжение и ток максимальной мощности 141 В и 96,6 А соответственно; ток короткого замыкания (КЗ) 99,8 А.

На рис. 4 приведены расчетные вольт-амперные характеристики (ВАХ) и мощностные характеристики БС при температуре 28°C для различной освещенности. При изменении освещенности ВАХ имеет пропорциональное снижение тока КЗ, что ведет к снижению потерь в кабельной сети и максимум мощности незначительно смещен в сторону большего напряжения.

На рис. 5 показано влияние температуры на ВАХ и мощностные характеристики, видны характерные смещения тока КЗ и напряжения холостого хода.

На рис. 6 приведен график изменения тока при динамическом затенении одной панели (для исключения постоянной составляющей от других незатененных панелей) и работе БС на источник напряжения 106 В.

Из графика видно, что даже частичное затенение ФП приводит практически к двукратному снижению тока от одной панели, а в расчете на БС в целом к снижению тока на 10%, при условии 100%-й освещенности остальных четырех панелей БС.

- Разработанная полномасштабная модель позволяет рассчитывать характеристики и задавать требования к БС в условиях ее динамического затенения элементами конструкции КА. Математическая модель БС с учетом каждого ФП может быть реализована с использованием отечественного программного комплекса SimInTech. Достоверность модели обеспечивается применением известных алгоритмов и апробированных теоретических положений, многократно подтвержденных, в том числе при разработке, изготовлении и испытаниях БС.

Предлагаемый подход к расчету и заданию характеристик БС, а также непосредственно разработанная модель БС, могут быть использованы для обоснованной минимизации проектных запасов как на уровне БС, так и на уровне СЭП при проектировании СЭП геостационарных КА персональной спутниковой связи.

Литература

1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. 1983. 360 с.
2. Townsend T. A Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct-Coupled Photovoltaic Systems. MS Thesis. University of Wisconsin. 1989.
3. Моделирование тепловых режимов КА и окружающей среды / Под ред. Г.И. Петрова. М.: Машиностроение. 1971. 382 с.
4. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир. 1975.
5. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. М.: Госэнергоиздат. 1959.
6. Фаворский О.Н., Каданер Я.С. Вопросы теплообмена в космосе. М.: Высшая школа. 1972. 280 с.

Поступила 15 ноября 2017 г.

Modeling electrical systems with solar panels in SimInTech

© Authors, 2017
© Radiotekhnika, 2017

A.M. Poliakov – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, «National Research University «MPEI» (Moscow)

E-mail: poliakovam@mpei.ru

A.R. Korsakov – Programming Engineer, LLC «3VS» (Moscow)

E-mail: a.korsakov@3v-services.com

R.V. Kozlov – Head of Group, Spacecraft Electric Power Systems Development Division,

JSC Academician M.F. Reshetnev «ISS» (Zheleznogorsk)

E-mail: krv@iss-reshetnev.ru

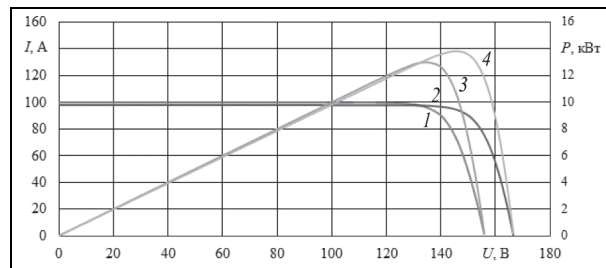


Рис. 5. Графики статических ВАХ БС при различной температуре: 1 – ВАХ для температуры 28°C; 2 – ВАХ для температуры 0°C; 3 – мощность для температуры 28°C; 4 – мощность для температуры 0°C

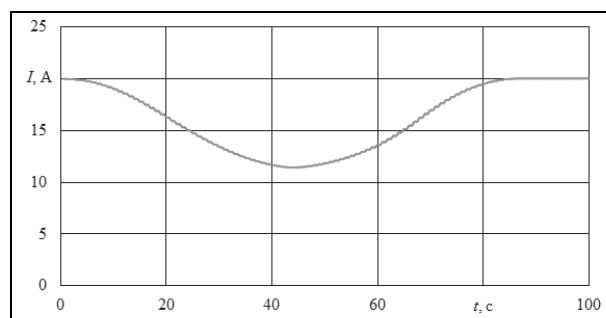


Рис. 6. График изменения тока одной панели БС при динамическом затенении

A.S. Teterin – Design Engineer, Spacecraft Electric Power Systems Development Division,
JSC Academician M.F. Reshetnev «ISS» (Zheleznogorsk)
E-mail: teterin@iss-reshetnev.ru

The implementation of the mathematical model of the solar battery (BS) of the spacecraft in the software complex SimInTech is considered. Calculations for the mathematical model of the BS with detailing to each photoconverter (FP) have been performed. The results of the calculation of the characteristics of the BS at the operating point are presented, taking into account its shading by the elements of the space vehicle structure. The proposed approach to the calculation and specification of the BS characteristics, as well as the directly developed BS model, can be used to reasonably minimize the design stocks both at the BS level and at the SES level in the design of the SES geostationary spacecrafts for personal satellite communications.

References

1. *Raushenbax G.* Spravochnik po proektirovaniyu solnechny'x batarej: Per. s angl. M.: E'nergoatomizdat. 1983. 360 s.
2. *Townsend T.* A Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct-Coupled Photovoltaic Systems. MS Thesis. University of Wisconsin. 1989.
3. *Modelirovanie teplovy'x rezhimov KA i okruzhayushhej sredy' / Pod red. G.I. Petrova.* M.: Mashinostroenie. 1971. 382 s.
4. *Zigel' R., Khae'll Dzh.* Teploobmen izlucheniem. M.: Mir. 1975.
5. *Kutateladze S.S., Borishanskij V.M.* Spravochnik po teploperedache. M.: Gose'nergoizdat. 1959.
6. *Favorskij O.N., Kadaner Ya.S.* Voprosy' teploobmena v kosmose. M.: Vy'sshaya shkola. 1972. 280 s.

Уважаемые читатели!

Возможно, вас заинтересуют статьи, опубликованные в журналах
«Нанотехнологии» №1, 2, 3 и 4, 2017 г.:

Стратегии разработки «умных» наноструктурных трибологических материалов
с заданными трибоэмиссионными свойствами

Невишупа Р.А., Савранский В.В., Деулин Е.А., Войнов К.Н., де Сеговия Х.Л., Роман Э.

Квантово-оптическая концепция обработки и распознавания изображения глазом

Васичев Б.Н., Рыбаков Ю.А., Гукасов В.М., Лазаренко М.И., Маркин А.В.

Изучение электропроводящих свойств комплексов графен-нуклеотид с позиции разработки
на их основе новых устройств биоэлектроники

Шмыгин Д.С., Глухова О.Е.

Высококчувствительный панорамный спектрометрический комплекс с квазиоптическим
трактом для исследования резонансной прозрачности водосодержащих сред в КВЧ- и
ТГЧ-диапазонах

Синицын Н.И., Мещанов В.П., Креницкий А.П., Ёлкин В.А.

Новая гибридная структура графен-графан как перспективный компонент для приборов
радиоэлектроники

Глухова О.Е., Шунаев В.В., Слепченков М.М., Накрап И.А., Панова Н.А.

Концепция построения биосенсора на основе НЕМТ

Агасиева С.В., Вьюгинов В.Н., Жердева В.В., Зыбин А.А., Тихомиров В.Г.

Приборы для диагностики патологических изменений в организме человека методами
микроволновой радиометрии

*Гуляев Ю.В., Леушин В.Ю., Гудков А.Г., Щукин С.И., Веснин С.Г., Кубланов В.С.,
Порохов И.О., Седанкин М.К., Сидоров И.А.*

Материалы журнала предоставлены в открытом доступе на нашем сайте:

<http://radiotec.ru/>