

УДК 621.31:629.78

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЛЕРА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Пост Сергей Сергеевич,

аспирант каф. систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Института космических и информационных технологий ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Россия, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, корп. УЛК. E-mail: serseric@mail.ru

Донцов Олег Анатольевич,

магистрант каф. систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Института космических и информационных технологий ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Россия, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, корп. УЛК. E-mail: badzed_bz@mail.ru

Иванчуря Владимир Иванович,

д-р техн. наук, профессор каф. систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Института космических и информационных технологий ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Россия, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, корп. УЛК. E-mail: ivan43ura@yandex.ru

Краснобаев Юрий Вадимович,

д-р техн. наук, профессор каф. систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Института космических и информационных технологий ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Россия, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, корп. УЛК. E-mail: uvkras@mail.ru

Имитационные модели автономных систем электропитания находят применение при проектировании таких систем и позволяют осуществлять прогноз их функционирования с учётом деградиационных изменений энергетических характеристик солнечной и аккумуляторных батарей. Применение типовых элементов при создании имитационных моделей позволяет оперативно изменять топологию систем электропитания, позволяя учитывать внешние факторы, влияющие на работу системы, – освещённость, температуру, угол падения солнечных лучей и др. Актуальность статьи обусловлена необходимостью создания имитационной модели типового элемента автономной системы – контроллера солнечной батареи.

Цель исследования: разработка имитационной модели контроллера солнечной батареи для пополнения базы типовых элементов.

Задача: создание имитационной модели контроллера солнечной батареи, логика функционирования которой соответствует логике функционирования реального контроллера в различных режимах: в режиме заряда аккумуляторной батареи постоянным током заданной величины, в режиме поиска точки экстремального регулирования солнечной батареи, в режиме заряда аккумуляторной батареи снижающимся током при достижении напряжения аккумуляторной батареи определённого уровня; также модель должна осуществлять контроль за состоянием аккумуляторной батареи и, в случае снижения напряжения аккумуляторной батареи до нижнего уровня, отключать нагрузку.

Методы исследования: имитационное моделирование с использованием языка *Simulink*, входящего в состав программного пакета *MatLAB 7.9*.

Результаты: разработана имитационная модель контроллера солнечной батареи, адекватно отражающая логику работы реального контроллера, что позволяет использовать её на этапах проектирования и эксплуатации автономных систем электропитания. Модель защищена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612150.

Ключевые слова:

Автономная система электропитания, контроллер солнечной батареи, имитационная модель, аккумуляторная батарея, солнечная панель.

Введение

Автономные системы электропитания (СЭП), в которых в качестве первичного источника электропитания используются солнечные батареи (СБ), все более широко применяются в различных сферах жизни. К ним можно отнести туристические лагеря, загородные дома и дачные участки, фермерские хозяйства, разного рода экспедиции и научные базы, иные объекты, удалённые от про-

мышленных сетей электроснабжения. Значительный рост числа таких СЭП вызван, *во-первых*, расширением спектра различных электронных устройств и потребностью людей в их регулярном использовании, и, *во-вторых*, существенным снижением стоимости СБ, в пересчёте на единицу генерируемой мощности [1, 2].

Топологии указанных СЭП очень разнообразны и развиваются более полувека в связи с их внедре-

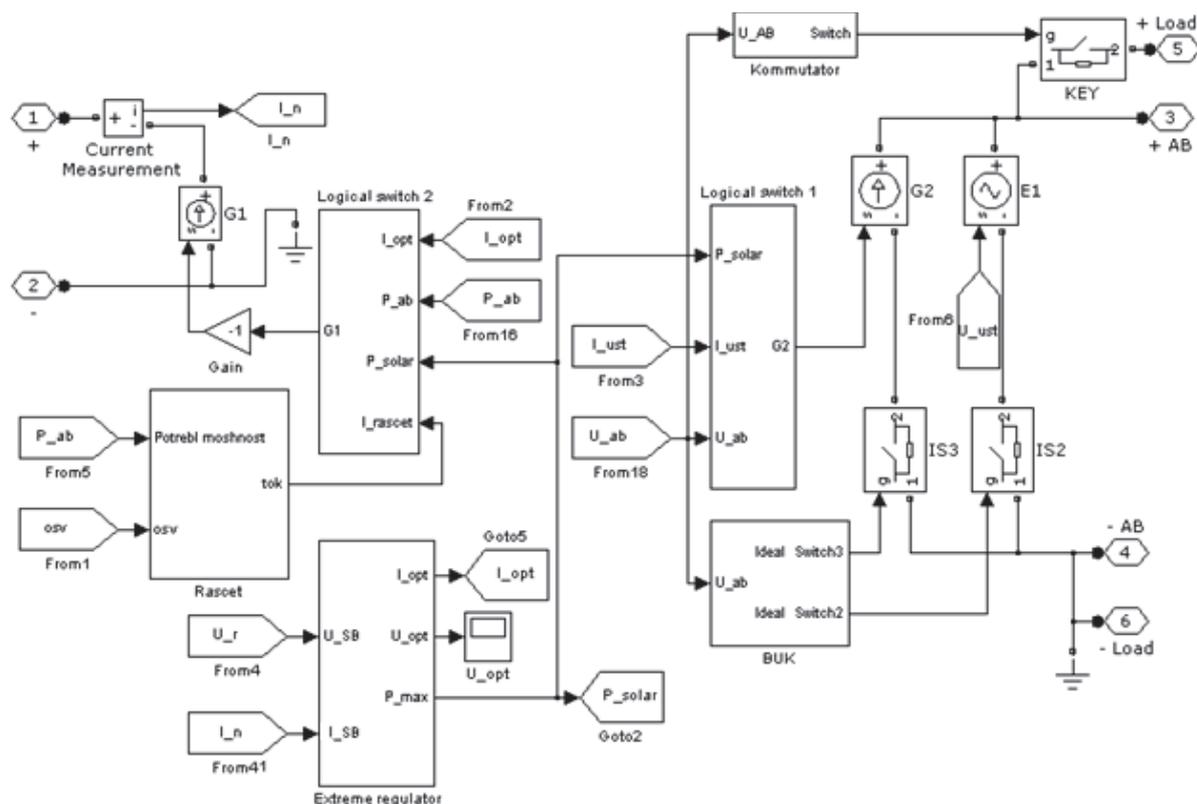


Рис. 1. Структурная схема модели контроллера СБ

Fig. 1. Block diagram of solar cell (SC) controller model

нием в космическую технику. Наземные автономные СЭП мощностью до единиц киловатт наиболее часто основаны на топологии, при которой СБ соединена с нагрузкой через кабельную сеть и контроллер СБ. При этом аккумуляторная батарея (АБ), входящая в состав СЭП и выполняющая функцию буферного источника энергии, подключается к дополнительным клеммам этого контроллера.

При избытке генерируемой мощности контроллер СБ обеспечивает передачу энергии в нагрузку и заряд АБ. При этом заряд АБ может производиться как неизменным током заданной величины, так и снижающимся током при поддержании напряжения АБ на заданном, обычно максимально допустимом уровне. При возникновении дефицита генерируемой мощности начинается разряд АБ и контроллер СБ обеспечивает отключение нагрузки при разряде АБ до допустимого уровня. В последние годы наибольшее распространение получили контроллеры, которые, при дефиците генерируемой мощности, переходят в режим отбора от СБ максимально возможной мощности – режим экстремального регулирования (ЭР). Такие контроллеры, называемые МРРТ (Maximum Power Point Tracker) контроллеры, позволяют повысить энергоотдачу СБ до 30 % [3, 4].

Постановка задачи

При проектировании и эксплуатации автономных СЭП на основе СБ возникает ряд задач, реше-

ние которых целесообразно осуществлять посредством имитационного моделирования процессов в таких системах. Так, на этапе проектирования имитационное моделирование позволяет осуществить проверку правильности расчёта мощности солнечной батареи и ёмкости аккумуляторной батареи исходя из обеспечения энергобаланса в автономной СЭП при заданных условиях её функционирования. На этапе эксплуатации СЭП имитационное моделирование позволяет осуществить проверку обеспечения энергобаланса в системе при изменении условий эксплуатации, например, при иной, отличной от первоначально заданной, временной диаграмме мощности нагрузки. Кроме того, имитационное моделирование позволяет осуществить прогноз функционирования автономной СЭП с учётом деградационных изменений энергетических характеристик СБ и АБ. Для создания имитационной модели автономной СЭП необходимы имитационные модели всех её компонентов, а именно: модели СБ и АБ, и нагрузки, а также модели контроллера. Модели всех компонентов СЭП, кроме контроллера СБ, рассмотрены в [5–9]. Ниже представлены результаты разработки, тестирования имитационной модели и макетирования контроллера СБ.

Описание модели контроллера СБ

Схемотехнически контроллер представляет собой силовую цепь, в виде импульсного преобразо-

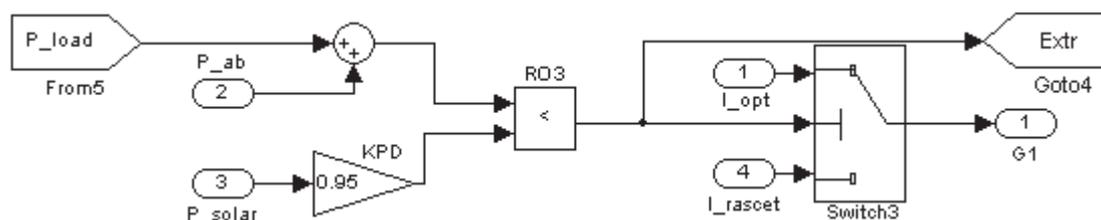


Рис. 2. Структурная схема блока Logical Switch2

Fig. 2. Block diagram of Logical Switch 2

вателя энергии, и устройство управления. Устройство управления изменяет режимы работы импульсного преобразователя энергии при реализации оговоренных выше функций контроллера [10–13].

Структурная схема модели контроллера СБ приведена на рис. 1. Клеммы 1 и 2 служат для подключения моделей кабельной сети и СБ, а к клеммам 3 и 4 подключается модель АБ. К клеммам 5 и 6 подключается нагрузка. Функциональный блок Key отключает нагрузку при снижении уровня напряжения АБ ниже задаваемого.

В модели контроллера входная цепь импульсного преобразователя энергии представлена управляемым источником тока G1, а выходная цепь – управляемыми источниками тока G2 и напряжения E1. Причём при работе контроллера в режиме заряда АБ током заданной величины к клеммам 3 и 4 посредством ключа IS3 подключается источник тока G2, а при заряде АБ снижающимся током к клеммам 3 и 4 посредством ключа IS2 подключается источник напряжения E1. При моделировании процессов в СЭП у контроллера СБ измеряются входные ток $I_{вх}$ и напряжение $U_{вх}$ и выходные ток $I_{вых}$ и напряжение $U_{вых}$. Затем производится вычисление выходной мощности $P_{вых} = I_{вых} \cdot U_{вых}$ и входной мощности $P_{вх} = P_{вых} / \eta$, где η – КПД импульсного преобразователя энергии. После чего посредством управляемого источника тока G1 задаётся входной ток контроллера $I_{вх}$ согласно выражению: $I_{вх} = P_{вх} / U_{вх}$.

Режим работы контроллера СБ задаётся блоком Logical Switch 2. Его структурная схема приведена на рис. 2.

В состав блока входят: сравнивающее устройство RO3, блок KPD учёта коэффициента полезного действия силовой цепи контроллера и ключ Switch3. Блок RO3 сравнивает мощность P_{SA} , генерируемую солнечной батареей, уменьшенную на величину КПД, и суммарную мощность аккумуляторной батареи P_{AB} вместе с нагрузкой P_{load} .

При недостатке генерируемой мощности и выполнении условия $P_{AB} + P_{load} > P_{SA}$ с выхода блока RO3 на вход ключа Switch3 поступает логическая единица, переводящая этот ключ в верхнее положение. При этом сигнал I_{opt} с выхода блока экстремального регулирования поступает на управляющий вход источника тока G1, и источник тока G1 начинает потреблять ток от СБ, соответствующий максимальной мощности СБ. Таким образом,

контроллер СБ обеспечивает режим экстремального регулирования СБ.

При избытке генерируемой мощности и выполнении условия $P_{AB} + P_{load} < P_{SA}$ с выхода блока RO3 на вход ключа Switch3 поступает логический ноль, переводящий ключ Switch3 в нижнее положение. При этом сигнал I_{rascet} с выхода блока Rascet поступает на управляющий вход источника тока G1, и источник тока G1 начинает потреблять от СБ ток, при котором АБ будет заряжаться либо постоянным током заданной величины, либо снижающимся током при фиксированном напряжении на АБ.

При избытке генерируемой мощности электроэнергии поступает в нагрузку, и, в случае необходимости, производится заряд АБ. В случае, когда напряжение на АБ меньше допустимого, включён ключ IS3, и на выход контроллера поступает энергия от управляемого источника тока G2. При увеличении напряжения на АБ до допустимого выключается ключ IS3, а ключ IS2 включается, и на выход контроллера поступает энергия от управляемого источника напряжения E1. При этом заряд АБ производится снижающимся током из условия постоянства напряжения на АБ. Ключами IS2 и IS3 управляет блок «BUC». Его структурная схема приведена на рис. 3.

В состав блока BUC входят сравнивающее устройство RO, а также ключи Switch2 и Switch1. Сравнивающее устройство RO сравнивает текущее напряжение АБ U_{AB} и сигнал U_{ust} , соответствующий максимально допустимому напряжению АБ.

Если напряжение АБ ниже максимально допустимого уровня и выполняется условие $U_{AB} < U_{ust}$, с выхода блока RO на вход ключа Switch1, управляющего ключом IS3, и на вход ключа Switch2, управляющего ключом IS2, поступает логический ноль, переводящий ключи в нижнее положение. При этом на управляющий вход ключа IS3 поступает логическая единица, а на управляющий вход ключа IS2 поступает логический ноль. Таким образом, ключ IS3 замкнут, ключ IS2 разомкнут, и АБ заряжается от источника тока G2.

Если напряжение АБ достигает допустимого уровня и выполняется условие $U_{AB} = U_{ust}$, с выхода блока RO на вход ключей Switch1 и Switch2 поступает логическая единица, переводящая ключи в верхнее положение. При этом на управляющий вход ключа IS3 поступает логический ноль, а на управляющий вход ключа IS2 поступает логическая единица. Таким образом, ключ IS2 замкнут,

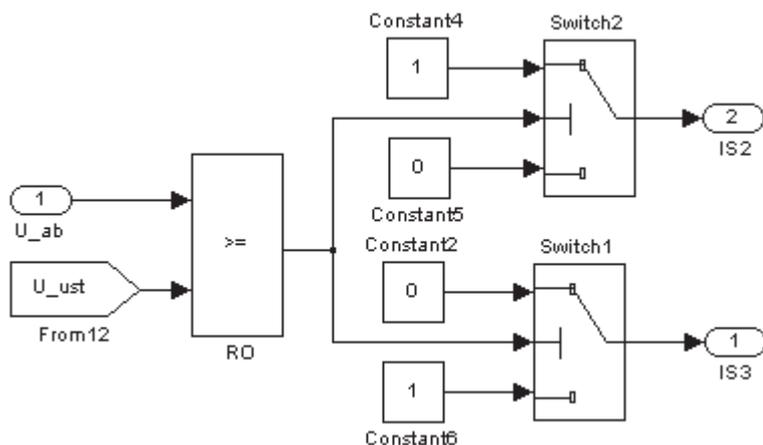


Рис. 3. Структурная схема блока ВУК

Fig. 3. Block diagram of BUK

ключ IS3 разомкнут, и АБ заряжается падающим током при постоянном напряжении, задаваемом источником напряжения E1.

При дефиците мощности, генерируемой СБ, электроэнергия от СБ поступает в нагрузку. В зависимости от величины дефицита мощности возможен как заряд, так и разряд АБ. Контроллер переводится в режим экстремального регулирования, который задаётся блоком Logic Switch1. Его структурная схема приведена на рис. 4.

Главную функцию в составе блока Logical Switch1 выполняет функциональный блок S-Function Builder1. Функциональный блок сравнивает мощность P_{SA} , генерируемую солнечной батареей, уменьшенную на величину КПД силовой цепи контроллера, с суммарной мощностью аккумуляторной батареи P_{AB} вместе с нагрузкой P_{load} .

В случае недостатка мощности СБ и выполнения условия $P_{AB} + P_{load} > P_{SA}$ система работает в режиме экстремального регулирования. В этом режиме ток заряда АБ рассчитывается по формуле $I_{AB} = (P_{SA_{max}} \cdot \eta - P_{load}) / U_{AB}$.

В случае избытка мощности СБ и выполнения условия $P_{AB} + P_{load} < P_{SA}$ АБ заряжается током, рассчитываемым по формуле $I_{AB} = P_{AB} / U_{AB}$, где $P_{AB} = P_{SA} \cdot \eta - P_{load}$. Ток заряда АБ не должен превышать уставочное значение $I_{ust} = 0,1 C_{AB}$, где C_{AB} – ёмкость АБ, А·ч. Функцию ограничения тока заряда АБ выполняет блок Saturation Dynamic.

В режиме ЭР обеспечивается пошаговый поиск точки максимума мощности СБ. Для чего измеряются входные ток и напряжение контроллера и вычисляется входная мощность $P_{вх} = I_{вх} \cdot U_{вх}$. После этого посредством управляемого источника тока G1

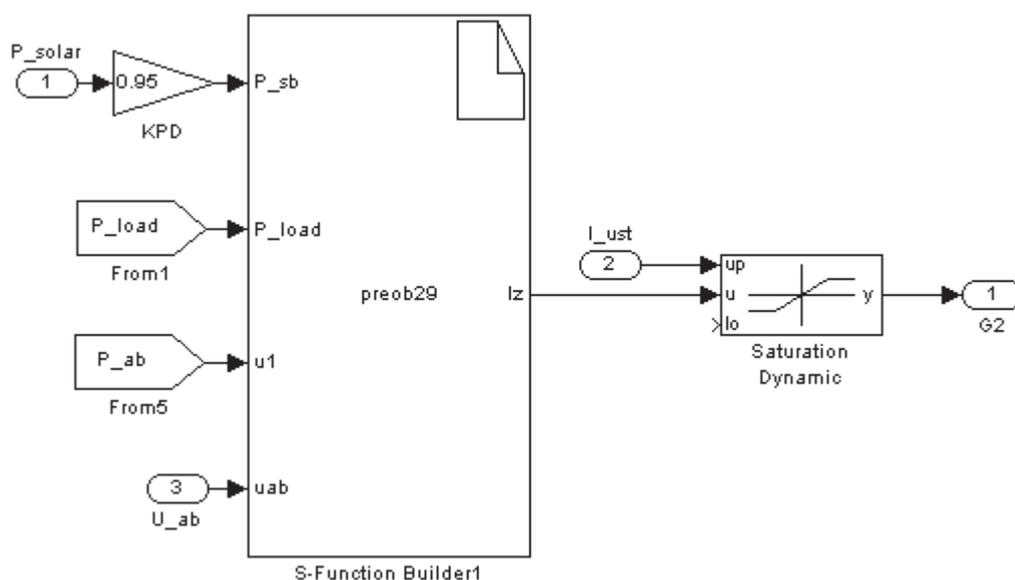


Рис. 4. Структурная схема блока Logical Switch1

Fig. 4. Block diagram of Logical Switch1

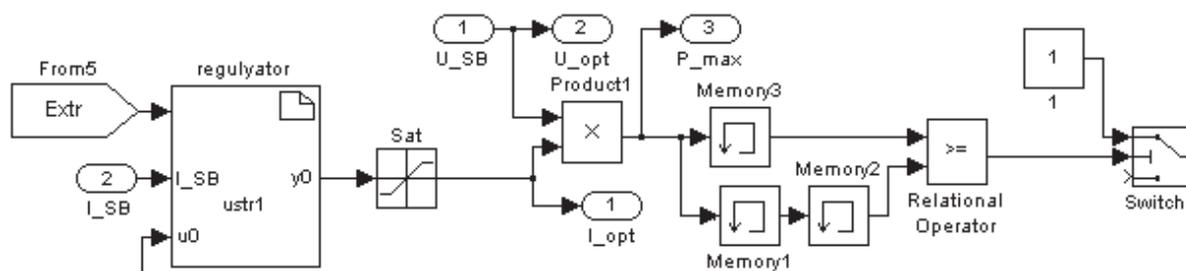


Рис. 5. Структурная схема блока Extreme regulator

Fig. 5. Block diagram of Extreme regulator

изменяется входной ток контроллера на величину $\Delta I_{вх}$ и, после измерения новых значений входного тока и напряжения контроллера, вычисляется новое значение входной мощности $P_{вх.н}$. Определяется приращение мощности по выражению $\Delta P_{вх} = P_{вх.н} - P_{вх}$ и, в случае положительного значения $\Delta P_{вх}$, производится следующее изменение входного тока контроллера на величину $\Delta I_{вх}$. В случае отрицательного значения $\Delta P_{вх}$ производится изменение знака приращения входного тока контроллера.

На рис. 5 представлена структурная схема блока Extreme regulator, отвечающего за нахождение точки максимальной мощности СБ.

На вход блока Extreme regulator поступают текущие значения тока и напряжения СБ, а также сигнал Extr с блока Logical Switch 2, активизирующий режим поиска точки максимальной мощности.

Начальное значение I_{SB} входного тока контроллера, потребляемого от СБ – задается в функциональном блоке «regulator». В блоке перемножения Product1 рассчитывается мощность, соответствующая потребляемому току и напряжению. Блок сравнения Relation Operator сравнивает значения $P_{вх.н}$ и $P_{вх}$. Результат сравнения $\Delta P_{вх}$ подается на вход функционального блока «regulator».

На основании результата сравнения, блок определяет знак приращения входного тока контроллера I_{SB} – значения тока I_{opt} и напряжения U_{opt} , соответствующие максимальной мощности P_{max} , поступают на выход блока [14, 15].

Тестирование модели контроллера СБ

Для тестирования модели контроллера СБ использована схема СЭП, приведённая на рис. 6. Модель состоит из солнечной батареи, контроллера СБ, аккумуляторной батареи и нагрузки.

Модель СБ имеет следующие параметры: напряжение холостого хода $U_{xx} = 20$ В, ток короткого замыкания $I_{кз} = 6,14$ А, максимальная мощность, генерируемая батареей, $P_{max} = 100$ Вт.

Модель АБ имеет следующие параметры: ёмкость АБ $C_{AB} = 100$ А·ч; номинальное напряжение АБ $U_{AB} = 12$ В; максимальное напряжение АБ $U_{AB,max} = 14,2$ В; максимально допустимая величина напряжения, до которой может быть разряжена АБ $U_{AB,min} = 10,5$ В.

Мощность, потребляемая нагрузкой, может меняться в течение суток. На рис. 6 представлен примерный вид задаваемой временной диаграммы потребляемой мощности со стороны нагрузки.

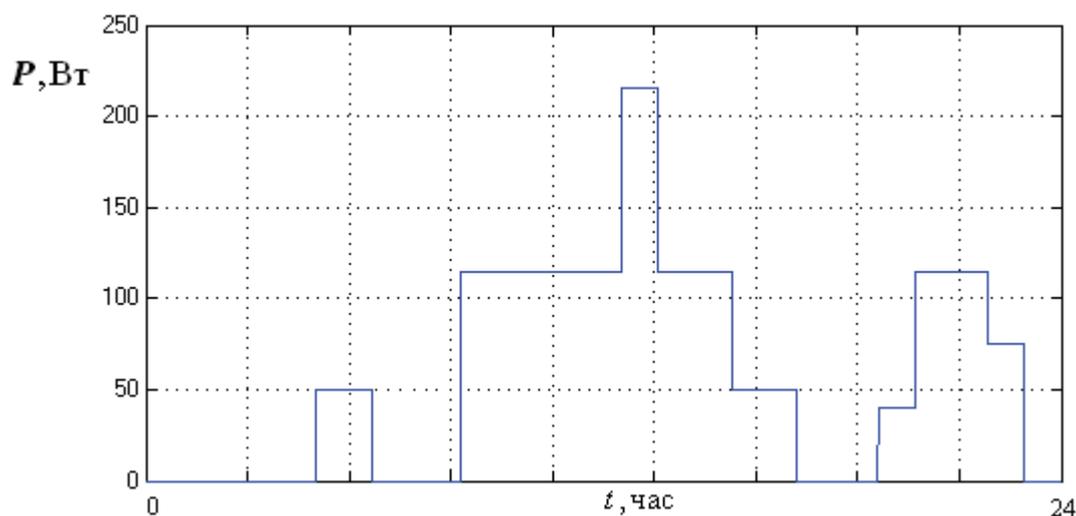


Рис. 6. Временная диаграмма потребляемой мощности

Fig. 6. Time pattern of power consumption

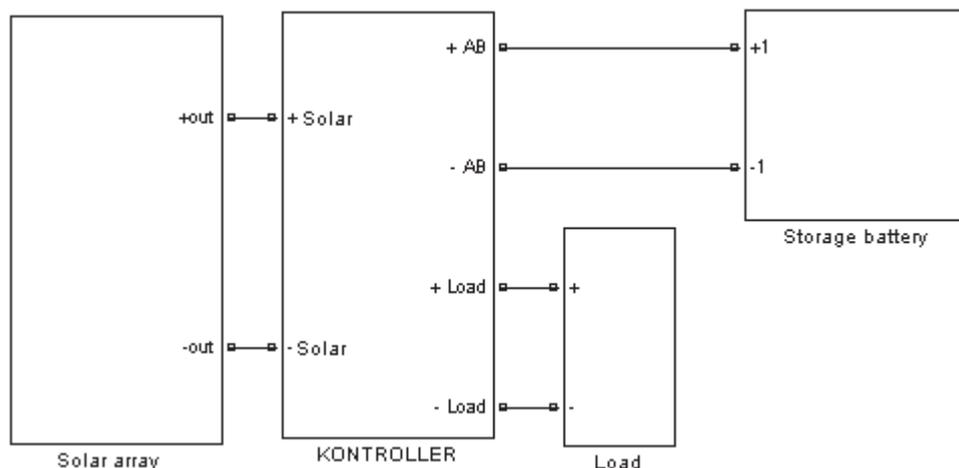


Рис. 7. Модель системы электропитания

Fig. 7. Power supply system model

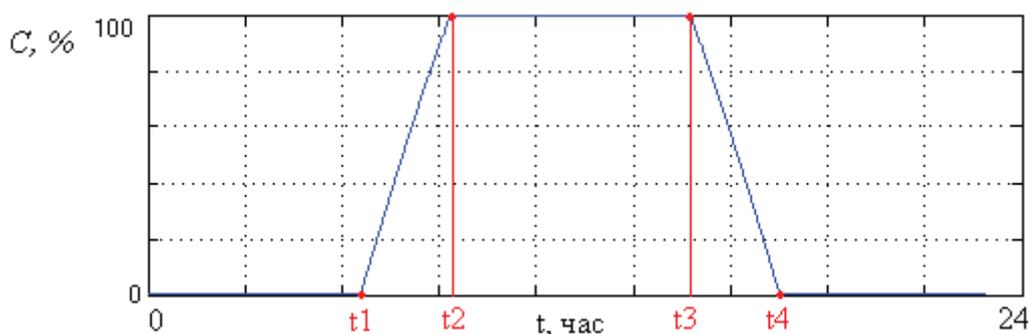


Рис. 8. Изменение уровня освещенности СБ в течение суток

Fig. 8. Change in SC light level within 24 hours

Рассмотрим работу модели контроллера совместно с моделями СБ и АБ. На рис. 8 приведена временная диаграмма изменения освещённости СБ в течение суток. На рис. 9 приведены временные диаграммы, поясняющие работу системы.

На временном интервале $0...t_1$ СБ не освещается. В момент времени t_1 СБ начинает освещаться, и к моменту времени t_2 уровень освещенности достигает максимальной величины. В момент времени t_3 уровень освещенности начинает снижаться, и в момент времени t_4 СБ перестаёт освещаться.

На рис. 9 приведены полученные при моделировании процессов временные диаграммы тока I_{AB} и напряжения U_{AB} аккумуляторной батареи за сутки. На временном интервале $0...t_1$ СБ не освещается, потребление мощности со стороны нагрузки не происходит и ток АБ равен нулю. В момент времени t_1 происходит коммутация нагрузки и АБ переходит в режим разряда. В момент времени t_2 нагрузка отключается; на СБ начинает падать солнечный свет, и контроллер СБ, в условиях малой генерируемой мощности, начинает работать в режиме ЭР. В момент времени t_3 происходит коммутация нагрузки и ток заряда снижается. В момент времени t_4 напряжение АБ достигает максимально допустимого уровня и АБ переходит в режим заря-

да падающим током. В момент времени t_5 СБ перестаёт освещаться и АБ переходит в режим разряда. В момент времени t_7 происходит коммутация нагрузки и АБ переходит в режим разряда. В момент времени t_8 происходит отключение нагрузки и разряд АБ прекращается. Согласно алгоритму работы контроллера, отключение нагрузки производится при снижении напряжения на АБ до уровня 10,5 В.

Как видно из временной диаграммы, напряжение АБ остаётся выше 10,5 В и отключение нагрузки не происходит. Следовательно, энергобаланс в системе выполняется.

Алгоритмы функционирования элементов устройства управления модели контроллера СБ были использованы при разработке макета контроллера СБ. Макет контроллера СБ состоит из силовой части и управляющего устройства. Силовая часть контроллера СБ выполнена по схеме конвертора понижающего типа [16]. Принципиальная схема силовой цепи приведена на рис. 10. Основным элементом управляющего устройства является микроконтроллер ATmega8 [17–19], который формирует импульсы управления заданной длительности и частоты. Управляющие импульсы поступают на вход драйвера ключа, который обеспе-

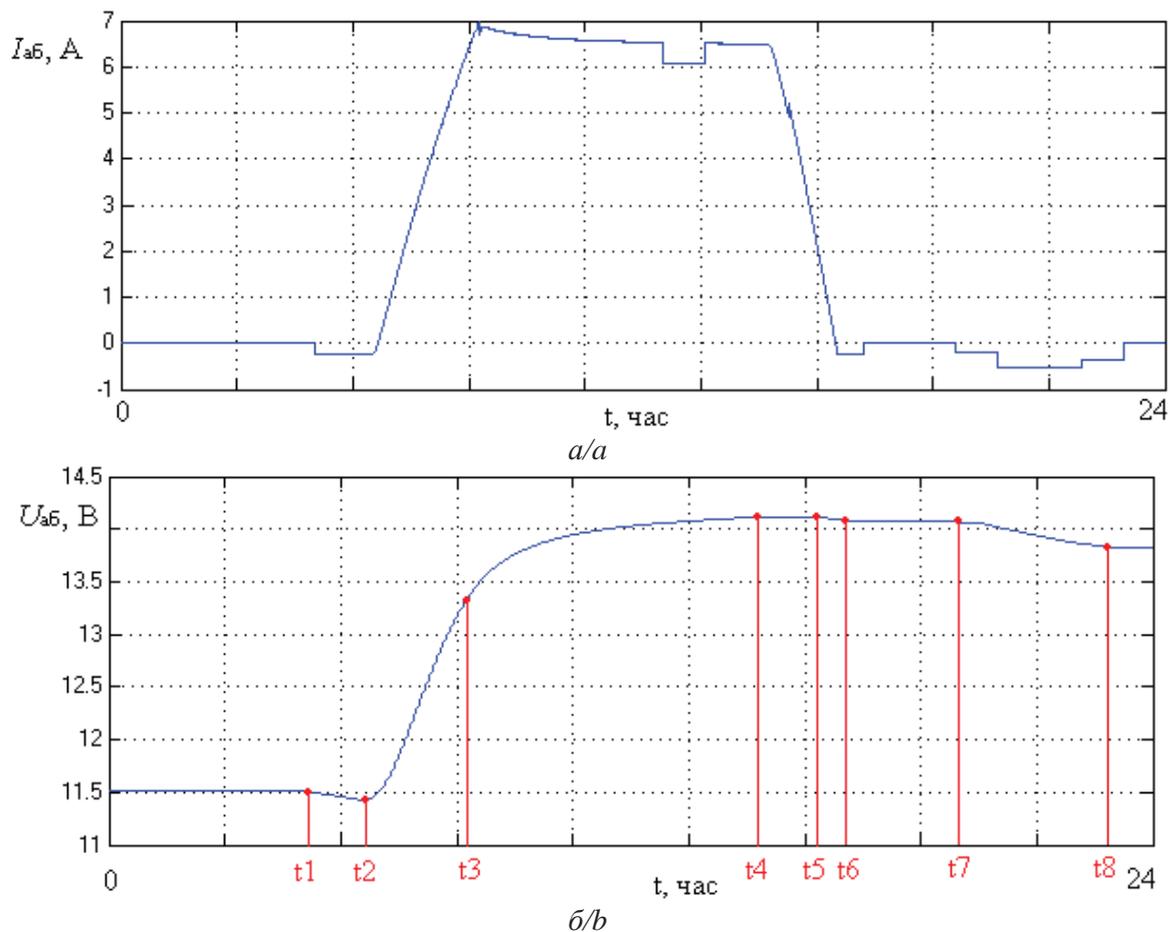


Рис. 9. Изменение уровня тока и напряжения АБ в течение суток
 Fig. 9. Change in current and voltage level of battery cell (BC) within 24 hours

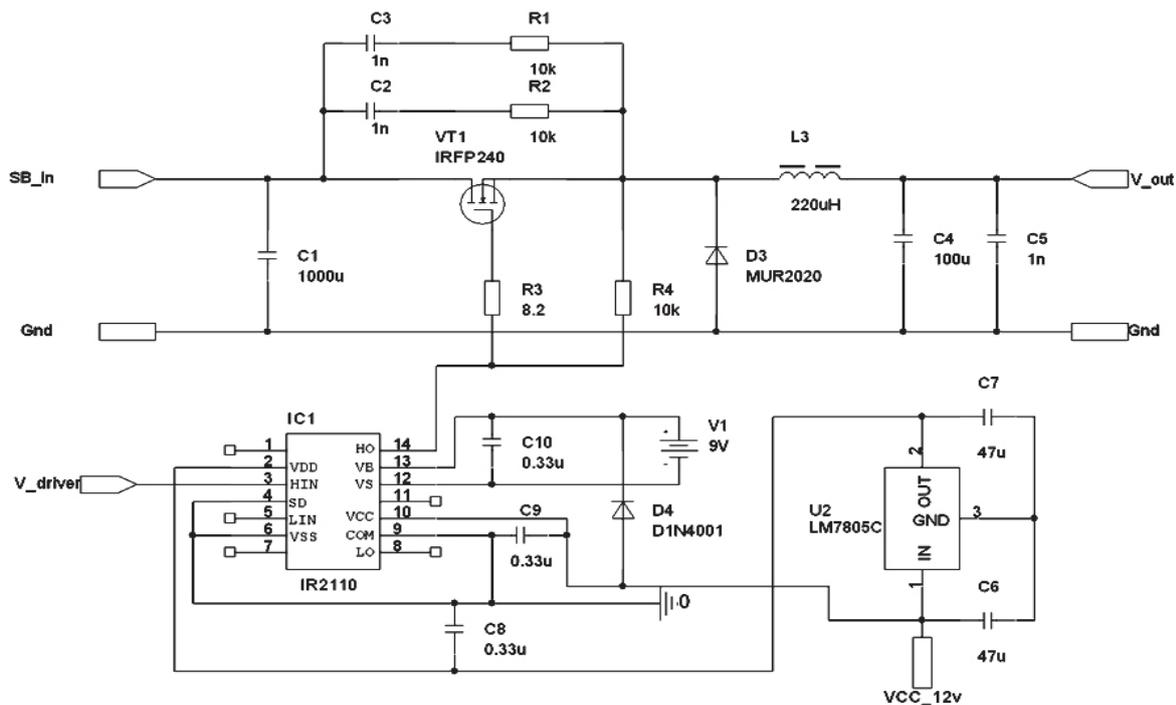


Рис. 10. Принципиальная схема силовой цепи контроллера СБ
 Fig. 10. Basic diagram of power circuit of SC controller

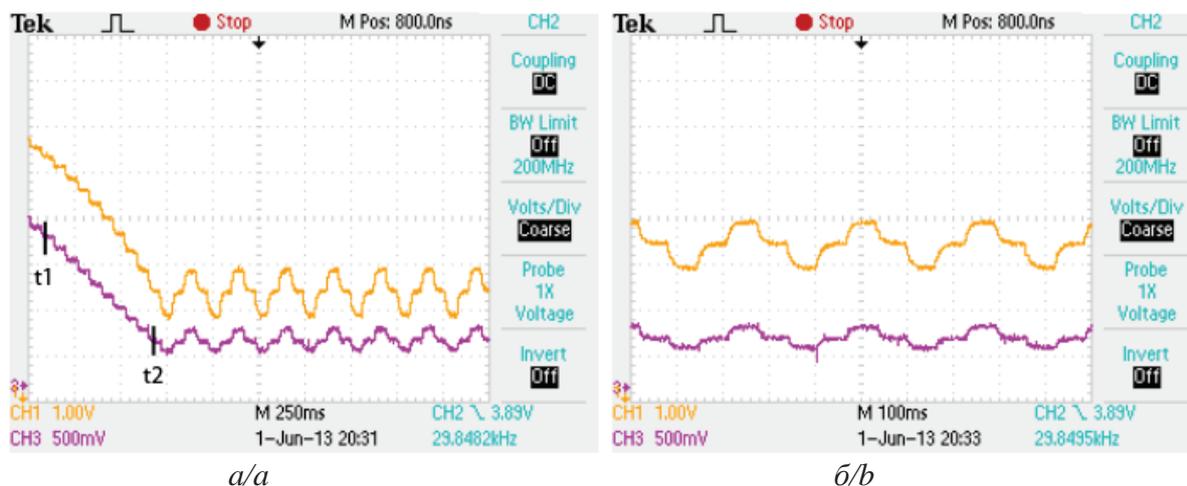


Рис. 11. Осциллограммы сигналов напряжения и тока СБ в режиме поиска максимальной мощности

Fig. 11. Oscillograph patterns of SC current and voltage signals in peak output search mode

чивает согласование уровней импульсов, формируемых микроконтроллером с сигналами управления силовым ключом [20].

Сравнение результатов экспериментальных исследований процессов в СЭП с макетом контроллера СБ и результатов тестирования модели СЭП с описанной выше моделью контроллера СБ показали их удовлетворительную сходимость. На рис. 11 в качестве иллюстрации приведена осциллограмма перехода макета СЭП из режима заряда АБ фиксированным током в режим ЭР.

Осциллограммы, приведенные на рис. 11, поясняют работу контроллера в режиме поиска экстремальной мощности.

Напряжение СБ представлено верхним графиком, ток СБ – нижним. Как видно из временных диаграмм, в момент времени t_1 происходит включение режима поиска максимальной мощности, далее происходит периодическое изменение коэффициента заполнения импульсов управления силовым ключом конвертора, и к моменту времени t_2 максимальная мощность оказывается найденной, после чего осуществляются поисковые движе-

ния рабочей точки в окрестностях максимума мощности СБ (рис. 11, б).

Заключение

1. Разработана имитационная модель контроллера солнечной батареи. При дефиците генерируемой мощности модель контроллера функционирует в режиме экстремального регулирования отбора этой мощности, при её избытке – в режиме заряда аккумуляторной батареи постоянным током заданной величины либо падающим током. Данная модель адекватно отображает логику работы реального контроллера, что позволяет использовать её на этапах проектирования и эксплуатации автономных систем электропитания.
2. В ходе испытаний разработанного макета контроллера солнечной батареи подтверждена его работоспособность во всех режимах, включая режим экстремального регулирования. Таким образом, экспериментально установлена правильность разработанных алгоритмов функционирования устройства управления контроллера и применённых схемотехнических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плеханов С.И. Солнце – это жизнь, а не батарейка // Химия и жизнь. – 2012. – № 8. URL: <http://www.hij.ru/read/issues/2012/avgust/1174/> (дата обращения: 22.05.2014).
2. Области применения солнечных батарей. URL: <http://www.solarbat.info/solnechnie-batarei-i-moduli/oblasti-primenenia-solnechnix-batarei> (дата обращения: 22.05.2014).
3. Что такое МРРТ-контроллеры? // Солнечный дом. Контроль и автоматика. 2002. URL: <http://solarhome.ru/ru/control/mppt/index.htm> (дата обращения: 23.05.2014).
4. Контроллеры для солнечных батарей // Инвенторы Ру. 2007. URL: <http://inventory.ru/category/kontrollery-dlja-solnechnyh-batarej/> (дата обращения: 25.05.2014).
5. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
6. Алатов И.М. Модель солнечной батареи // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск. – Вып. 9. – С. 182–190.
7. Иванчура В.И., Чубарь А.В., Пост С.С. Энергетические модели элементов автономных систем электропитания // Научный журнал СФУ. Секция «Техника и технологии». – 2012. – Т. 5. – № 2. – С. 179–190.
8. MatLAB and Simulink for technical computing. Implement generic battery model // Mathworks. 1994. URL: <http://www.mathworks.com/help/physmod/powersys/ref/battery.html> (дата обращения: 23.05.2014).
9. Источники энергии систем электроснабжения космических аппаратов: монография // М.В. Лукьяненко. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2008. – 176 с.
10. Электромеханические преобразователи энергии / С.С. Пост, В.И. Иванчура, Ю.В. Краснобаев, О.А. Донцов // Электромеханика. – 2012. – № 1. – С. 10–15.

- ханические преобразователи энергии: VI Междунар. научно-техн. конф. (ЭПЭ-2013). – Томск, 9–11 октября 2013. – С. 180–185.
11. Пост С.С. Модель контроллера солнечной батареи // Управление и информатика в технических системах: Матер. Всерос. научно-техн. конф., посвящённой 80-летию Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, профессора Б.П. Соустина. – Красноярск, 15–18 мая 2013. – Красноярск: Изд-во, ИКИТ СФУ. – С. 151–154.
 12. Зотов В.А. Имитационное моделирование энергетической системы с фотоэлементом в режиме отбора максимальной мощности // Научное сообщество студентов XXI столетия: XI Междунар. заочная научно-практ. конф. – Новосибирск, 11–17 мая 2012.
 13. Модель контроллера солнечной батареи: Свидетельство о государственной регистрации РФ программы для ЭВМ № 2013612150; заявл. 21 декабря 2012; опубл. 15.02.2013
 14. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Simulink и SimPowerSystems. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008 – 288 с.
 15. Культин Н.Б. C/C++ в задачах и примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 288 с.
 16. Донцов О.А. Использование экстремального регулятора в автономных системах электропитания // Молодёжь и наука–2012. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s006/s006-040.pdf> (дата обращения: 24.05.2014).
 17. Компания Atmel. Техническое описание. ATmega8. URL: http://www.atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_summary.pdf (дата обращения: 24.05.2014).
 18. Обзор по фирмам. Atmel. Микроконтроллеры // Рынок микроэлектроники. 1998. AVR. ATmega8. URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/atmega8.htm> (дата обращения: 24.05.2014)
 19. Design of a solar charge controller for a 100 WP solar PV system / Ishtiak Ahmed Karim, Abid Azad Siam, Navid Ahmed Mamun, Irin Parveen, Swaramita Saha Sharmi // Projournal of engineering research (per). – 2013. – V. 1 (4). URL: <http://www.projournals.org/PER/1220131101.pdf> (дата обращения: 25.05.2014)
 20. Найвель Г.С., Мазель К.Б., Хусаинов Ч.И. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: справочник. – М.: Радио и связь, 1986. – 576 с.

Поступила 16.06.2014 г.

UDC 621.31:629.78

SIMULATION MODEL OF A SOLAR CELL CONTROLLER

Sergey S. Post,

Siberian Federal University, 26, Kirensky street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: serseric@mail.ru

Oleg A. Dontsov,

Siberian Federal University, 26, Kirensky street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: badzed_bz@mail.ru

Vladimir I. Ivanchura,

Dr. Sc., Siberian Federal University, 26, Kirensky street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: ivan43ura@yandex.ru

Yury V. Krasnovaev,

Dr. Sc., Siberian Federal University, 26, Kirensky street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: uvkras@mail.ru

Simulation models of power supply autonomous systems are used when designing such systems and allow predicting their operation, taking into account degradation changes in power characteristics of solar and storage batteries. The use of typical elements when designing simulation models allows changing rapidly the topology of power supply systems. This allows taking into account the external factors that affect the system operation – illumination, temperature, sunlight incidence angle. Relevance of the research is conditioned by the need to develop a simulation model of a typical element of an autonomous system – solar controller.

The main aim of the study: development of a simulation model of a solar battery controller for renewing typical elements base.

The task of the research is to develop the simulation model of solar controller, logic of operation of which corresponds to the logic of functioning of real solar controller in different modes: storage battery charging with constant current of a given value; searching for a point of solar battery optimizing control; storage battery charging with dropping current when storage battery voltage achieves certain level; the model should control as well over the storage battery state and disconnect the load in the case of storage battery voltage drop to a lower level.

The methods used in the study: simulation using the software package MatLAB 7.9.

The results. The authors have developed the simulation model of the solar battery controller, reflecting adequately the logic in real controller operation, which allows applying it when designing and service of autonomous power supply systems. The model is protected by the certificate of state registration of the computer software № 2013612150.

Key words:

Autonomous power supply system, solar cell controller, simulation model, storage battery, solar array.

REFERENCES

1. Plekhanov S.I. Solntse – eto zhizn, a ne batareyka [Sun is life, but not a battery]. *Khimiya i zhizn*, 2012. Available at: <http://www.hij.ru/read/issues/2012/avgust/1174/> (accessed 22 May 2014).
2. *Oblasti primeneniya solnechnykh batarey* [Area of using solar batteries]. Available at: <http://www.solarbat.info/solnechnie-batarei-i-moduli/oblasti-primeneniya-solnechnix-batarei> (accessed 22 May 2014).
3. Chto takoe MRRT-kontrollery? [What is MPPT controller?]. *Solnechny dom. Kontrol i avtomatika* [Solar home. Control and automatic]. Available at: <http://solarhome.ru/ru/control/mppt/index.htm> (accessed 23 May 2014).
4. *Kontrollery dlya solnechnykh batarey* [Controller for solar cell batteries]. Available at: <http://inventory.ru/category/kontrollery-dlya-solnechnykh-batarey/> (accessed 25 May 2014).
5. Rauschenbach H. *Spravochnik po proektirovaniyu solnechnykh batarey* [Directory on designing solar cell batteries]. Translated from English. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 360 p.
6. Alatov I.M. Model solnechnoy batarei [Model of the solar cell battery]. *Informatika i sistemy upravleniya*, Krasnoyarsk, vol. 9, pp. 182–190.
7. Ivanchura V.I., Chubar A.V., Post S.S. Energeticheskie modeli elementov avtonomnykh sistem elektropitaniya [The energetic models of the elements of power supply systems]. *Nauchny zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologiya – Scientific journal of the Siberian Federal University, «Technique and technologies»*, 2012, vol. 5, no. 2.
8. *Mathworks. MatLAB and Simulink for technical computing. Implement generic battery model*. Available at: <http://www.mathworks.com/help/physmod/powersys/ref/battery.html> (accessed 23 May 2014).
9. Lukyanenko M.V. *Istochniki energii sistem elektrosnabzheniya kosmicheskikh apparatov: monografiya* [Electric sources of power supply systems of space vehicles]. Krasnoyarsk, Siberian State Aerocosmic University Press, 2008. 176 p.
10. Post S.S., Ivanchura V.I., Krasnobaev Yu.V., Dontsov O.A. Elektromekhanicheskie preobrazovateli energii [Electromechanical energy converters]. *Elektromekhanicheskie preobrazovateli energii. VI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Electromechanical energy converters. VI International research conference]. Tomsk, 9–11 October 2013. Vol. 6, pp. 180–185.
11. Post S.S. Model kontrollera solnechnoy batarei [Model of a solar controller]. *Kontrol i informatika v tekhnicheskikh sistemakh: Materiali Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po svyashennoy 80-letiyu professora B.P. Soustina* [Control and informatics in technical systems: Materials of All-Russia scientific conference, devoted to the eightieth anniversary of professor B.P. Soustin]. Krasnoyarsk, 15–18 May 2013. pp. 151–154.
12. Zotov V.A. Imitatsionnoe modelirovanie energeticheskoy sistemy s fotoelementom v rezhime otbora maksimalnoy moshchnosti [Simulation model of power photovoltaic system in extreme regulation mode]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya: XI Mezhdunarodnaya Zaochnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [XI scientific conference. Scientific community of students of XXI century]. Novosibirsk, 11–17 May 2012.
13. Ivanchura V.I., Chubar A.V., Krasnobaev Yu.V., Post S.S. *Model kontrollera solnechnoy batarei* [Model of the solar controller]. Certificate RF no. 2013612150, 2013.
14. Chernykh I.V. *Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB, Simulink i SimPowerSystems* [Simulation of electro-technical devices using MATLAB, Simulink and SimPowerSystems]. Moscow, DMK Press; St. Petersburg, Piter Publ., 2008. 288 p.
15. Kultin N.B. *C/C++ v zadachakh i primerakh* [C++ in tasks and examples]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2006. 288 p.
16. Dontsov O. A. Ispolzovanie ekstremalnogo regulatora v avtonomnykh sistemakh elektropitaniya [Using extreme power governor in autonomous systems of power supply]. *Molodezh i nauka*, 2012. Available at: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s006/s006-040.pdf> (accessed 24 May 2014).
17. *Company Atmel. Technical description. ATmega8*. Available at: http://www.atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_summary.pdf (accessed 24 May 2014).
18. *Microenergetic market. Browse of firms. Atmel. Mikrokontrolleri. AVR. ATmega8*. Available at: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/atmega8.htm> (accessed 24 May 2014).
19. Ishtiak Ahmed Karim, Abid Azad Siam, Navid Ahmed Mamun, Irin Parveen, Swaramita Saha Sharmi. Design of a solar charge controller for a 100 WP solar PV system. *Projournal of engineering research (per)*, 2013, vol. 1 (4). Available at: <http://www.projournals.org/PER/1220131101.pdf> (accessed 25 May 2014).
20. Naivelt G.S., Mazel K.B., Khusainov Ch.I. *Istochniki elektropitaniya radioelektronnoy apparatury* [Power sources for radio electronic devices]. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 1986. 576 p.

Received: 16 June 2014.