

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ НА ВЫХОДНУЮ МОЩНОСТЬ ПРИ ЗАРЯДКЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

В.Ю. Чернышев, студент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(Россия, г. Москва)

DOI: 10.24412/2500-1000-2024-11-3-248-256

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к расчётам параметров данного типа задач. Проведено сравнение ПО для расчёта. Построены математические модели солнечной батареи, преобразователя напряжения и регулятора. Проанализировано влияние освещённости солнечной батареи в приложении к задаче зарядки бортовой аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: солнечная панель, преобразователь напряжения, MPPT регулятор, МКА.

Традиционно, система электропитания МКА состоит из:

- ФЭП;
- Преобразователь напряжения;
- Система управления;
- АКБ;

Как правило, задачи выбора этих компонентов связаны, поскольку приходится учитывать сразу несколько параметров – мощность ФЭП, КПД преобразователя, параметры СУ и её эффективность, ёмкость, токовые и мощностные характеристики АКБ. Далее важной является задача характеристик системы при различных параметрах освещённости ФЭП и подстройка характеристик системы.

Существуют методы примерной оценки каждого из этих параметров, однако они не позволяют с достаточной точностью оптимизировать систему, а лишь дают примерные характеристики с высокими коэффициентами запаса. При серьёзной проработке системы данных методов оказывается недостаточно и появляется потребность в ином, более точном, но не значительно более долгом по времени расчёта методе.

Методы расчёта электрических схем

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) – симулятор электронных

схем общего назначения с открытым исходным кодом. Является мощной программой, используемой в разработке как интегральных схем, так и печатных плат для проверки целостности схемы и для анализа её поведения.

На основе данного метода было разработано огромное количество САЕ пакетов. Для оценки возможности приложения к решению поставленных задач было выбрано ПО LTSpice.

Моделирование ФЭП

Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) или солнечные элементы – это полупроводниковые изделия, которые преобразуют солнечное излучение в электрический ток. Преобразование энергии в ФЭП основано на фотовольтаическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Модель солнечной батареи представляет собой ряд идеальных компонентов:

- Источник тока;
- Диод с настроенным током насыщения;
- Шунт-резистор;
- Паразитное последовательное сопротивление.

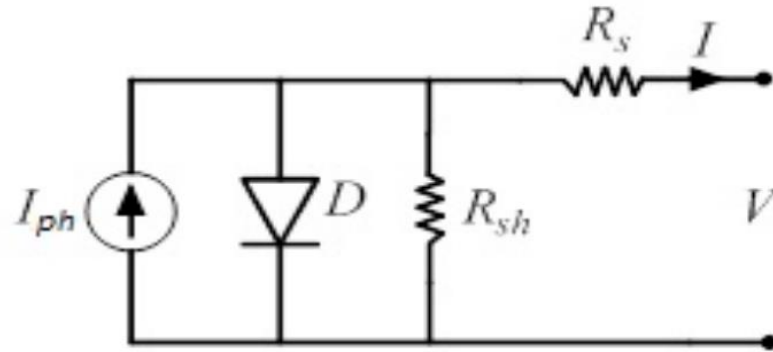


Рис. 1. Схема модели ФЭП

Дополнительно могут быть введены функции напряжения и тока от температуры. Однако в данной работе с целью упрощения схемы и ускорения расчета влияние температуры на характеристики ФЭП не вводились.

Для построения схемы использовались параметры ФЭП MSX-60 производства компании Solarex. Была выбрана схема из 36 последовательно установленных ФЭП.

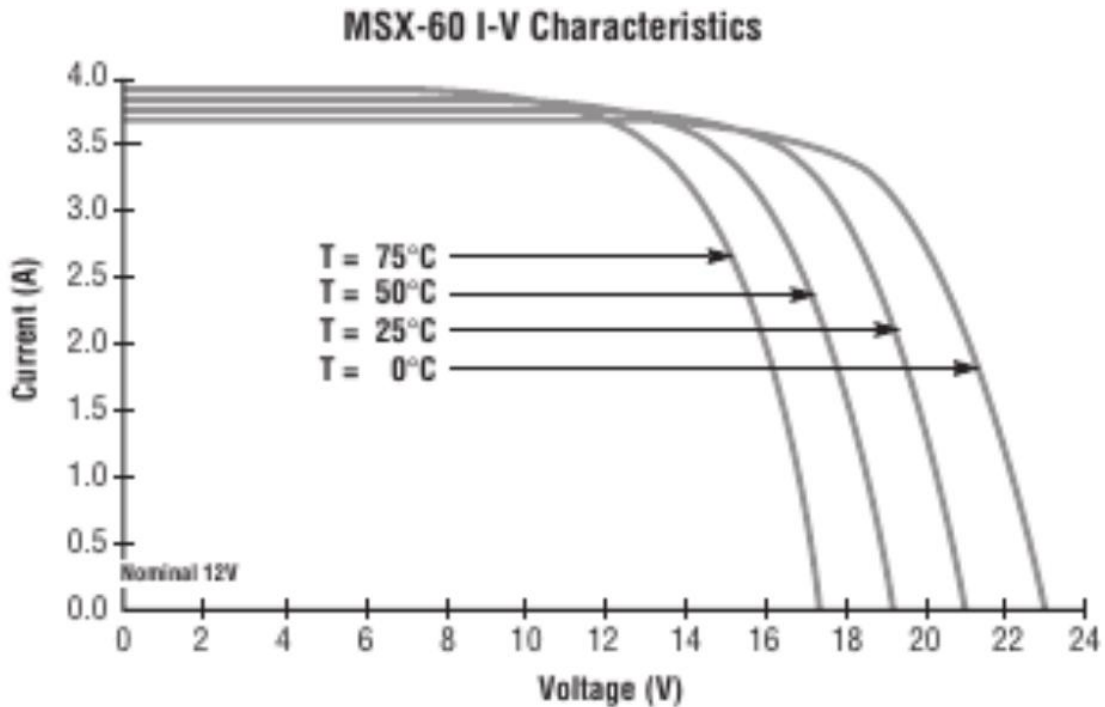


Рис. 2. ВАХ ФЭП MSX-60

Таблица 1. Характеристики ФЭП MSX-60

Параметр	Значение
Напряжение холостого хода (S_0), В	21.1
Ток короткого замыкания (I_{sc0}), А	3.8126
Ток насыщения (I_s), А	$2.5245e-10$
Количество подключенных ФЭП (N_{ser} , N_{per}), шт.	36, 1
Факторы идеальности (E_g , N)	1.12, 0.9784
Сопротивление шунта (R_{per1}), Ом	153.5644
Паразитное сопротивление (R_{ser1}), Ом	0.38572

Моделирование преобразователя напряжения

Существует огромное количество различных видов преобразователей напряжения, начиная от простого делителя напряжения,

заканчивая сложными DC/DC преобразователями с обратной связью по току и напряжению. В МКА для преобразования напряжения с ФЭП, как правило, используются MPPT (Maximum Power Point Tracking) регуляторы, либо преобразователи напряжения, управляемые ШИМ сигналом.

MPPT регуляторы дают ощутимый выигрыш в мощности только при условии использования большого количества ФЭП суммарной площадью более 1 кв. м.

Базово эти регуляторы отличаются лишь СУ. В плане силовой электроники они являются простейшими buck преобразователями, которые подразделяются на 3 вида: step-down, boost и комбинированный. Step-down на выходе даёт пониженное относительно входного напряжение, boost – повышенное. Комбинированный buck преобразователь сочетает в себе обе эти функции.

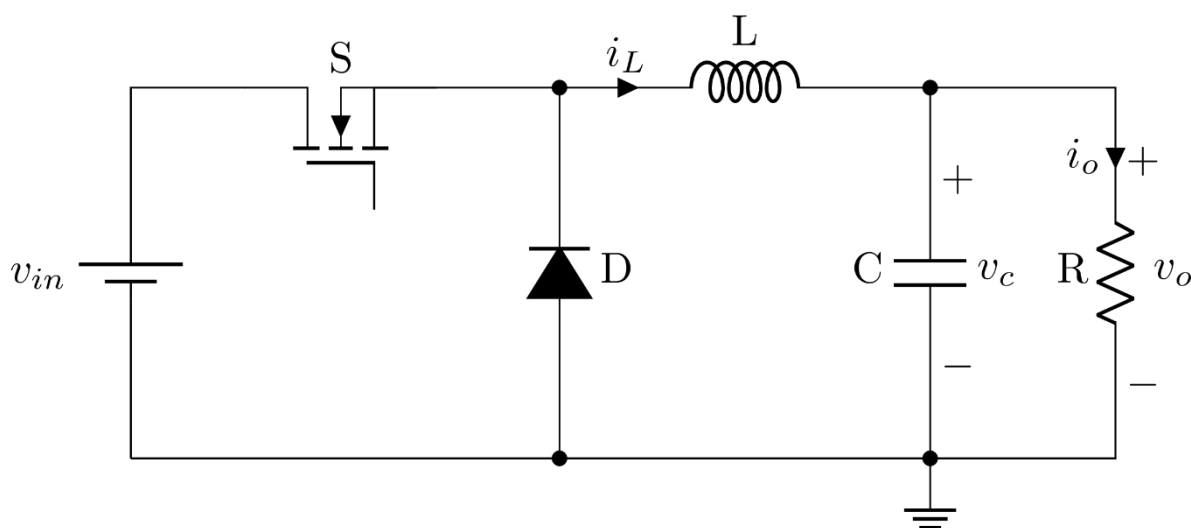


Рис. 3. Схема типового step-down buck преобразователя

Принцип step-down buck преобразователя заключается в понижении входного напряжения за счет использования управляемого переключателя, традиционно представленного N-канальным полевым транзистором. Появ-

ляющиеся при этом колебания тока сглаживаются при помощи индуктивности и ёмкости, параметры которых высчитываются по следующим формулам:

$$L = \frac{V_{out} * (V_{in} - V_{out})}{\Delta I_L * f_s * V_{in}} \quad (1)$$

где: V_{out} – напряжение на выходе, В;
 V_{in} – напряжение на входе, В;
 ΔI_L – допустимые колебания тока, А;
 f_s – частота переключения транзистора, Гц.

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 * f_s * \Delta V_{out}} \quad (2)$$

где: ΔV_{out} – допустимое отклонение выходного напряжения, В.

Моделирование системы управления

Система управления представлена двумя контурами – контроллер напряжения и регулятором Perturb & Observe.

Контроллер напряжения представляет собой СУ с отрицательной обратной связью, на

вход которому поступают два значения – выходное напряжение и результирующее воздействие регулятора Perturb & Observe. Интегратором вычисляется результирующее выходное

значение, которое конвертируется в значение скважности ШИМ сигнала для полевого транзистора.

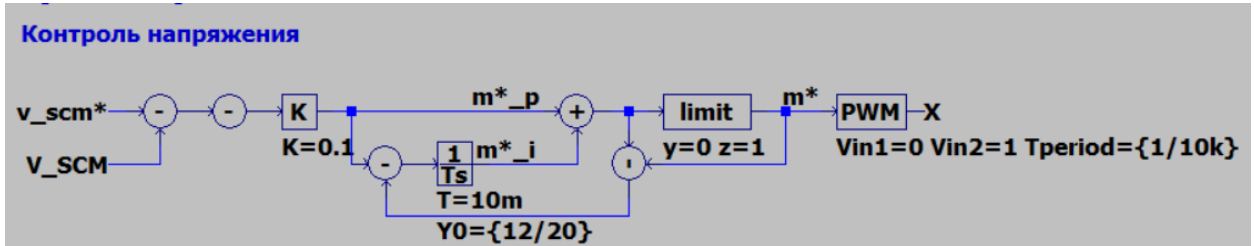


Рис. 4. Схема регулятора напряжения

Контроллер Perturb & Observe работает согласно одноимённому принципу – с определенной частотой считывается значение выходного напряжения. Экстраполиатор нулевого порядка преобразовывает дискретные значения аperiodического звена 1-го порядка. С

заданной частотой переключения полевого транзистора сравниваются значения и происходит понижение, либо повышение напряжения на заданную величину с целью «попадания» в целевое значение напряжения.

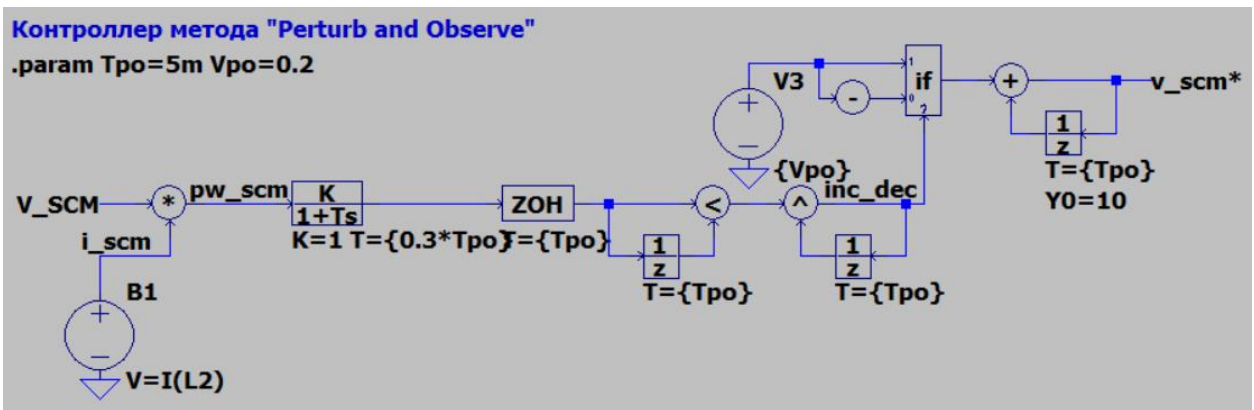


Рис. 5. Схема контроллера Perturb & Observe

Определение влияния освещённости ФЭП на его мощность

Для упрощения графического обозначения на схеме, модель ФЭП была скомпилирована в отдельный компонент.

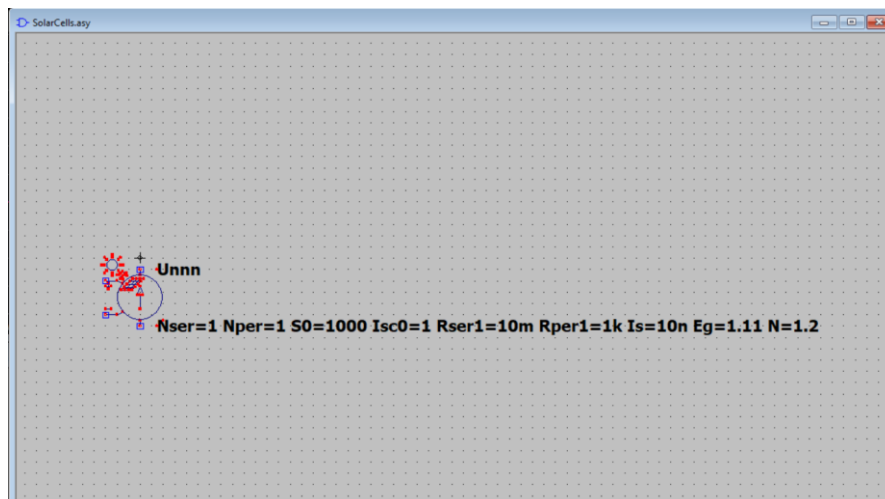


Рис. 6. УГО модели ФЭП

Расчётная модель состоит из источника напряжения, модели ФЭП и нагрузки. Источник напряжения V1 задаёт параметр напряжения холостого хода – таким образом модели-

руется освещённость ФЭП. U1 – модель ФЭП, заданная параметрами, описанными выше. V2 – активная нагрузка, необходимая для расчёта мощностной характеристики ФЭП.

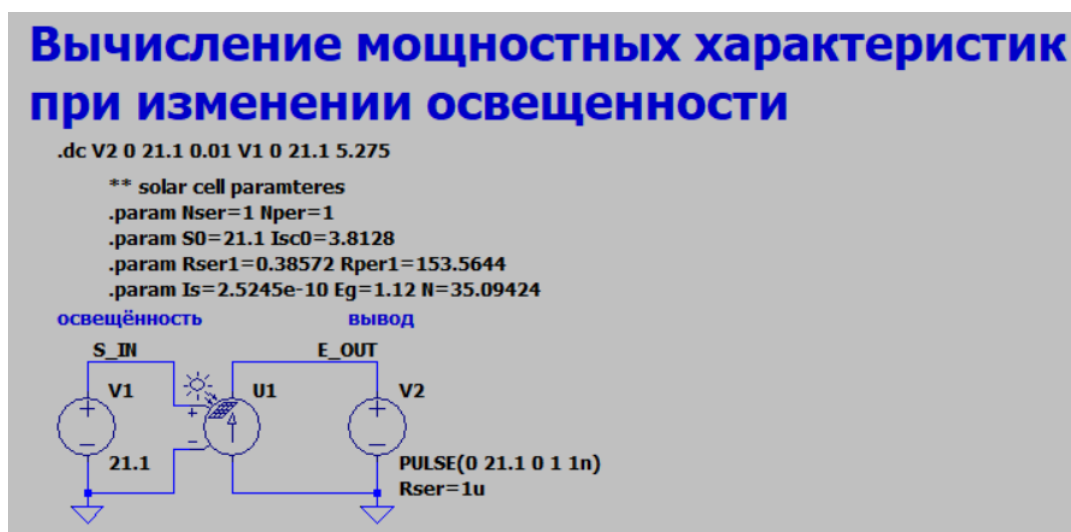


Рис. 7. Расчётная модель для определения мощности ФЭП в зависимости от освещённости

Проводился расчёт типа DC Sweep – варьирование параметров источников для определения токовых и мощностных характеристик цепей постоянного тока. Был задан диапазон

(0 ... 21.1 В) и шаг (5.275 В) варьирования напряжения источника V1. Диапазон напряжения для снятия мощностных характеристик – 0 ... 21.1 В.

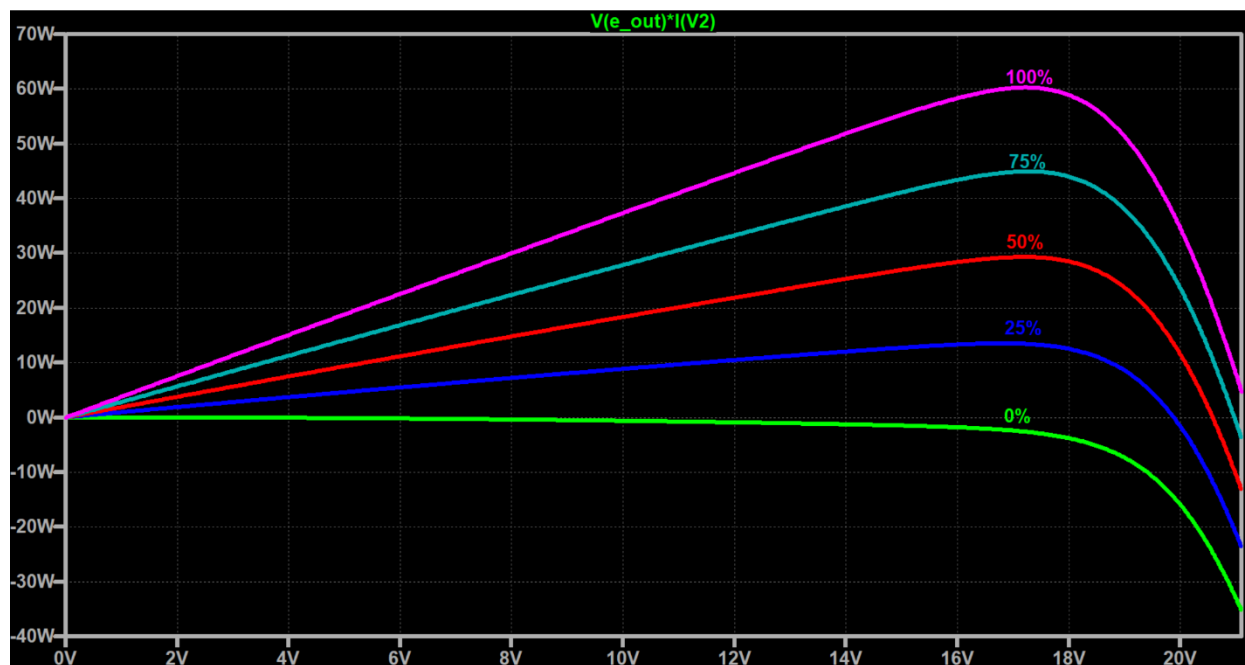


Рис. 8. Характеристики мощности ФЭП для разных уровней освещённости

Определение влияния освещённости на мощность в прикладной задаче зарядки АКБ

Расчётная модель состоит из нескольких групп компонентов: ФЭП с задающим параметром, buck преобразователь и СУ. Характе-

ристики ФЭП были взяты из документации производителя (табл. 1). Параметры ёмкости и индуктивности были рассчитаны по формулам, описанным выше, и оптимизированы для обеспечения малых колебаний напряжения и тока. Параметры СУ были выбраны стандарт-

Как можно заметить, значение напряжения не выходит за допустимые границы. Можно сделать вывод о стабильности системы регулирования.

Далее была проведена оценка стабильности работы регулятора. Расчет проведен методом Transient Analysis. Для этого в момент време-

ни 150 мс от начала анализа значение светимости было уменьшено со 100% до 50% за промежуток времени в 1 мс. Через 150 мс значение светимости вновь возвращено в точку 100%. На отметке времени в 450 мс значение светимости было вновь опущено до 50%.

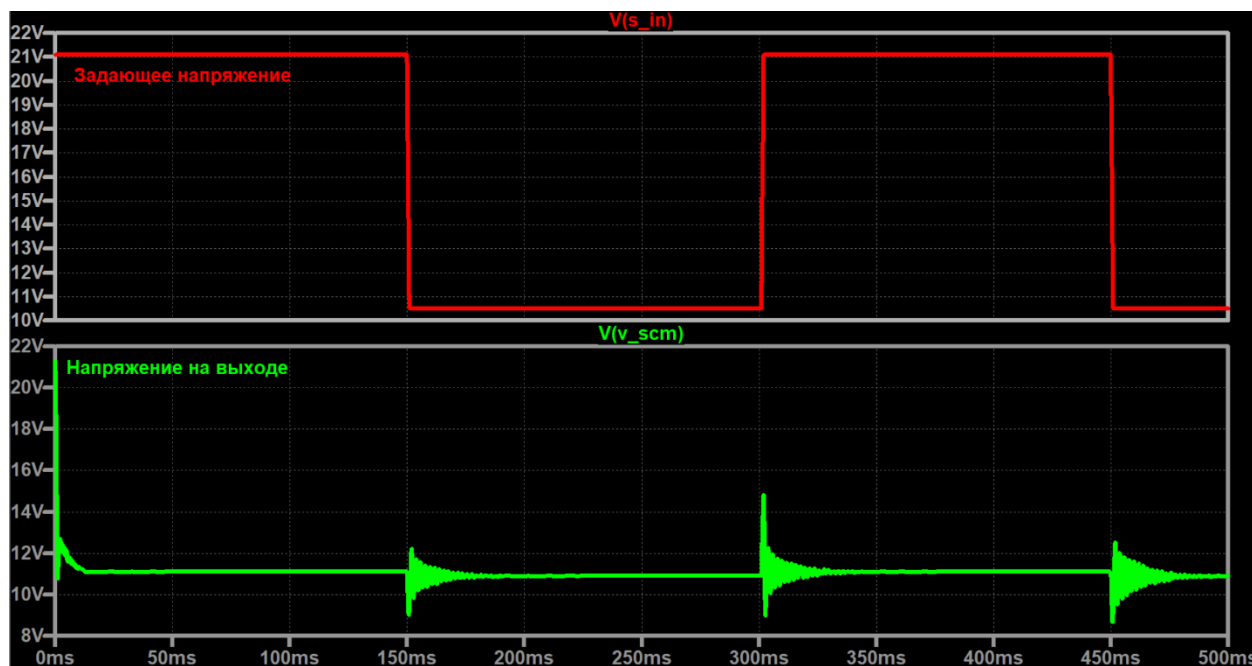


Рис. 11. Влияние скачков освещенности на выходное напряжение

На графике видно, что время регулирования составляет порядка 50 мс, а скачки напряжения остаются в границах 9 ... 12 В. С учётом допустимых кратковременных скачков напряжения на АКБ, полученное время регулирования принято считать допустимым.

Также оценим выходную мощность в зависимости от освещенности ФЭП. Вновь обратимся к методу DC Sweep, варьируя установочное напряжение в диапазоне от 0% до 100%.



Рис. 12. График зависимости выходной мощности от освещенности

Получена ожидаемая линейная зависимость – мощность падает при уменьшении освещенности.

Дополнительно было проведено сравнение результатов анализа выходной мощности с buck преобразователем в чистом виде и с MPPT регулятором.

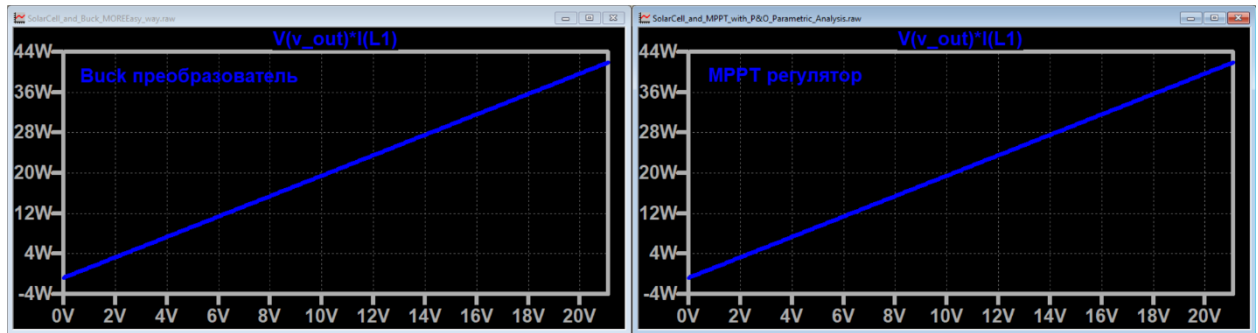


Рис. 13. Сравнение результатов расчётов

Как видно из графиков, мощностные характеристики идентичны. Однако есть провести анализ с увеличенным количеством ФЭП,

можно заметить, что появляется выигрыш в системе с MPPT регулятором.

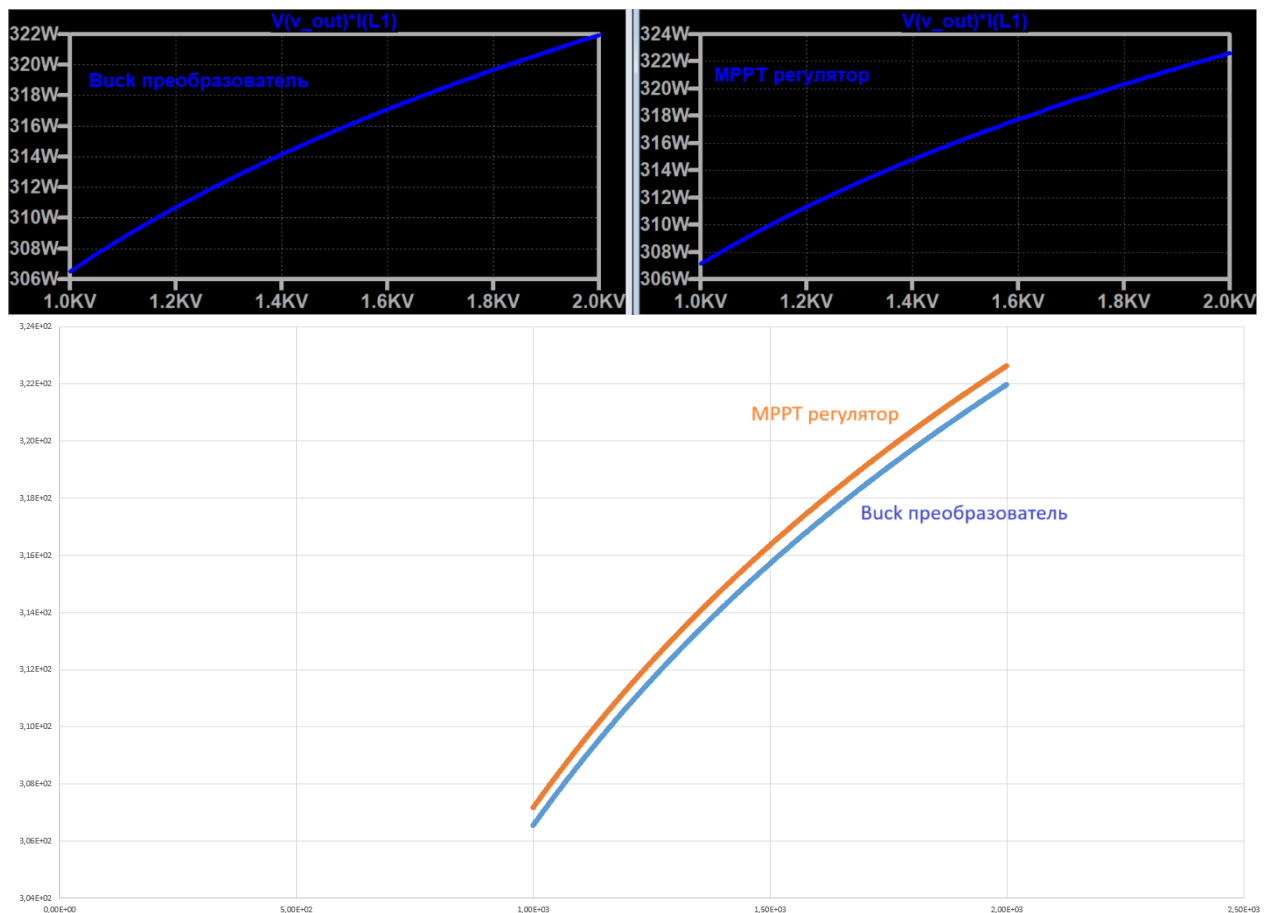


Рис. 14. Сравнение мощностей с увеличенной площадью ФЭП

Таким образом, можно сделать вывод, что использование MPPT регуляторов может быть неэффективно с экономической точки зрения – MPPT регуляторы стоят гораздо дороже

стандартных buck преобразователей, но не дают выигрыша по мощности.

Заключение

В рамках данной работы было проанализировано влияние освещенности солнечной ба-

тарей в приложении к задаче зарядки бортового АКБ. Исследованы подходы к расчётам параметров данной задачи. Построены модели СБ, преобразователя напряжения и его регулятора. Определено влияние освещенности на выходную мощность.

В будущих работах целесообразно решить данную задачу с реалистичными моделями компонентов, что позволит точнее ответить на вопрос целесообразности использования MPPT регуляторов в МКА.

Библиографический список

1. Saad Motahhir, Abdelilah Chalh, El Ghzizal Abdelaziz, Souad Sebti – Modeling of Photovoltaic Panel by using Proteus // Journal of Engineering Science and Technology Review.
2. Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage – Texas Instruments – Application Report, August 2015.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники (перевод). – 7-е изд. – М.: БИНОМ, 2016. – 700 с.
4. Solarex – MSX-64 and MSX-60 Photovoltaic Modules // Solarex. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solarelectricsupply.com/media/custom/upload/Solarex-MSX64.pdf> (дата обращения: 05.06.2024).
5. Абдуллин А.А. Общая электроника. Методические указания к лабораторному практикуму в программе LTSpice / А.А. Абдуллин, К.С. Горшков, С.Ю. Ловлин, Н.А. Поляков, М.В. Никитина – 1-е изд. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 42 с.

STUDY ON THE EFFECT OF ILLUMINATION ON SOLAR PANEL ON THE OUTPUT POWER OF BATTERY CHARGING SCHEME

V.Yu. Chernyshev, Student
Bauman Moscow State Technical University
(Russia, Moscow)

***Abstract.** In the article the approaches to calculating the parameters of this type of tasks are investigated. Different software was compared. Mathematical models of a solar battery, a voltage converter and a regulator are constructed. The influence of the illumination of the solar battery in the application to the task of charging the on-board battery is analyzed.*

***Keywords:** solar panel, voltage converter, MPPT regulator, small satellite.*