

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

307-1

**20-22 октября 2022 года**

---

**УДК 621.314**

С.В. КРАСНОВ, Ш.А. ГАЙНУЛЛИН, аспиранты  
каф. ЭЛЭТ (СГТУ им. Гагарина Ю.А.)

Научный руководитель И.И. АРТЮХОВ, д.т.н., профессор  
(СГТУ им. Гагарина Ю.А.)

г. Саратов

**ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ  
ПРИ РАБОТЕ ОТ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

На сегодняшний день возобновляемые источники энергии (ВИЭ) широко применяются для создания систем электроснабжения различной назначения [1]. В ряде случаев целесообразной представляется гибридная структура, в которой действуются источники энергии различной физической природы [2]. Важнейшей задачей проектирования гибридных систем является согласование режимов производства и потребления энергии [3,4].

Основная проблема достоверного определения энергетического баланса фотоэлектрических станций (ФЭС) заключается в том, что непосредственное влияние на него оказывают разнообразные факторы, многие из которых имеют стохастическую природу. На энергетические характеристики фотоэлектрических преобразователей существенное влияние оказывает интенсивность солнечного излучения и температура окружающего воздуха. Величина солнечной радиации определяет величину фототока фотоэлектрических модулей, а температура окружающей среды оказывает определяющее влияние на температуру поверхности солнечной батареи, от которой практически линейно зависит величина напряжения холостого хода модулей.

Нелинейность характеристик основных элементов ФЭС, а также их зависимость от внешних факторов существенно усложняют решение обозначенной задачи, что вызывает необходимость применения методов математического моделирования [5]. В данной статье произведен анализ регулировочной характеристики повышающего преобразователя напряжения при работе от источников энергии различных типов.

На рис. 1 представлена имитационная модель для исследования регулировочной характеристики повышающего преобразователя при подключении его к источнику постоянного напряжения. ЭДС источника принята 250 В, величина внутреннего сопротивления в ходе виртуальных экспериментов

# V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

307-2

20-22 октября 2022 года

варьируется от 0 до 0,1 Ом. Тактовая частота преобразователя составляет 10 кГц, нагрузкой является резистор 1,5 Ом.

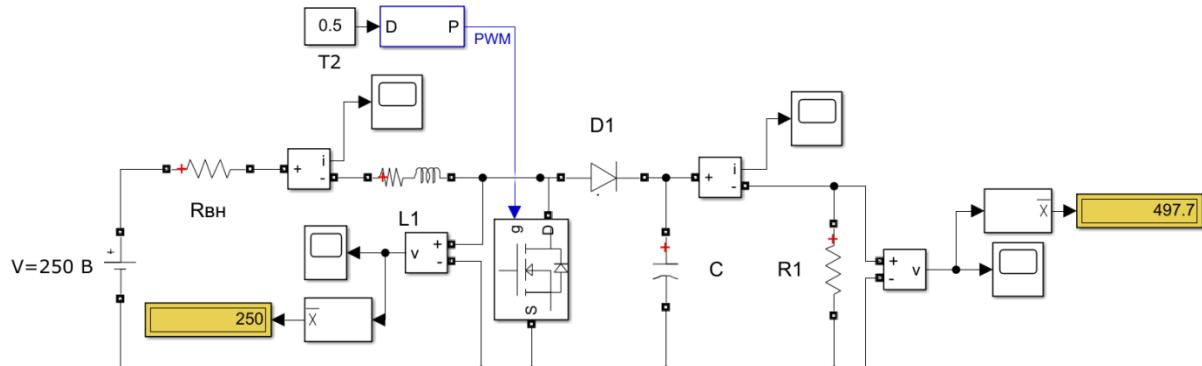


Рис. 1. Имитационная модель повышающего преобразователя при работе от источника постоянного напряжения

За счет изменения коэффициента заполнения широтно-импульсной модуляции (ШИМ) от 0 до 0,9 для разных значений внутреннего сопротивления получены значения напряжений  $U_{\text{вх}}$  на входе и  $U_{\text{вых}}$  на выходе преобразователя, по которым была построена регулировочная характеристика (рис. 2).

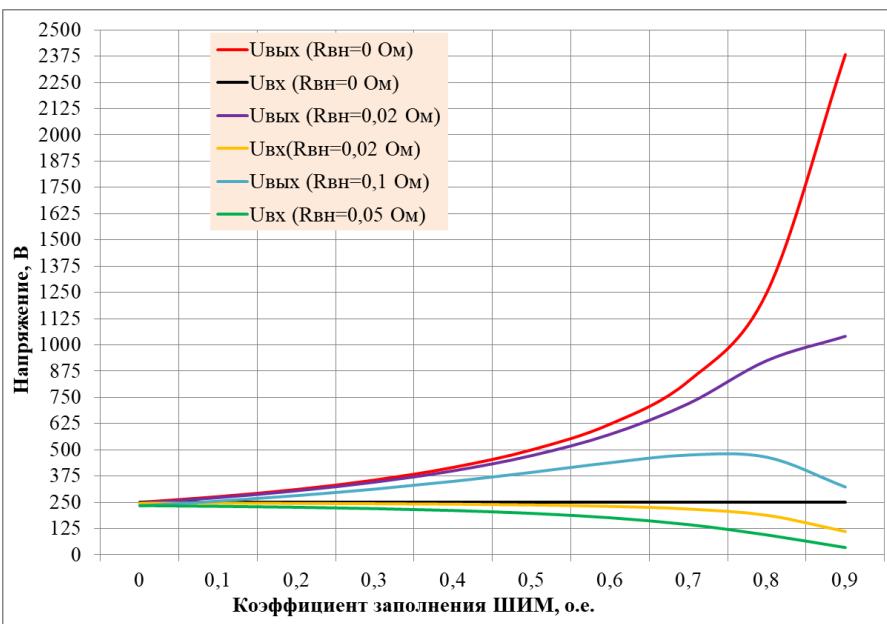


Рис. 2. Регулировочная характеристика повышающего преобразователя при работе от источника постоянного напряжения

Графики на рис.2 показывают, что ход регулировочной характеристики зависит от величины внутреннего сопротивления источника питания. До определенной величины этого сопротивления выходное напряжение преобразователя возрастает с увеличением коэффициента заполнения ШИМ. Когда внутреннее сопротивление составляет 0,1 Ом, то в графике

# V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

307-3

20-22 октября 2022 года

регулировочной характеристики наблюдается экстремум. Таким образом, коэффициент передачи преобразователя меняет свою полярность, что может привести к неустойчивости системы стабилизации напряжения.

Эта проблема проявляется в большей степени, когда источником питания повышающего преобразователя являются солнечные панели. Для исследования такого режима работы преобразователя применена имитационная модель, схема которой показана на рис. 3.

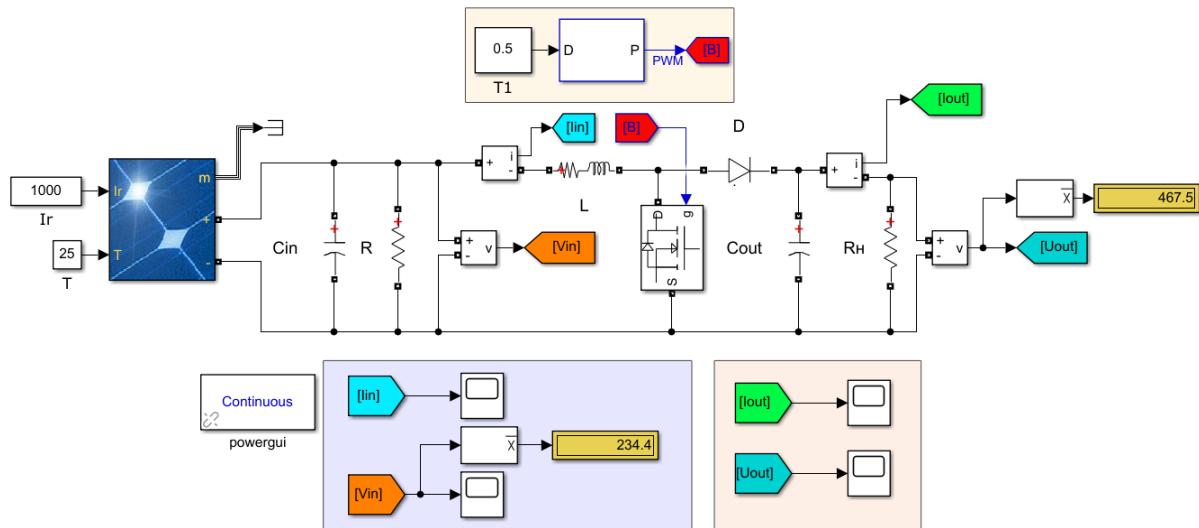


Рис. 3. Имитационная модель повышающего преобразователя при работе от массива солнечных панелей

В качестве источника выступает массив солнечных панелей типа SunPower SPR-E19-245, состоящий из 5 последовательно и 80 параллельно соединенных элементов. Вольт-амперная характеристика массива солнечных панелей показана на рисунке 4.

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

307-4

**20-22 октября 2022 года**

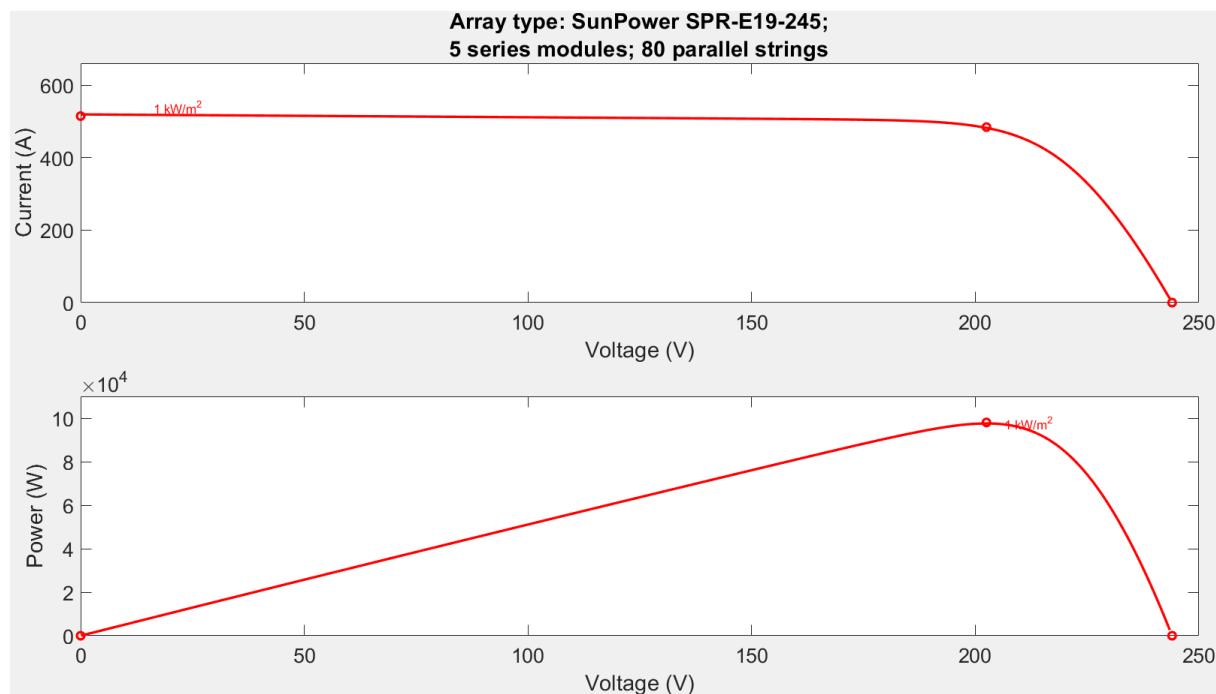


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика массива солнечных панелей

На основе построенной модели был произведен виртуальный эксперимент, в котором, изменяя коэффициент заполнения ШИМ (от 0 до 0,9), для разных значений нагрузки ( $R=1,5; 3; 5 \text{ Ом}$ ) были построены зависимости выходного напряжения, напряжение массива солнечных панелей и мощности преобразователя от коэффициента заполнения ШИМ. Результаты представлены на рис. 5 – 7.

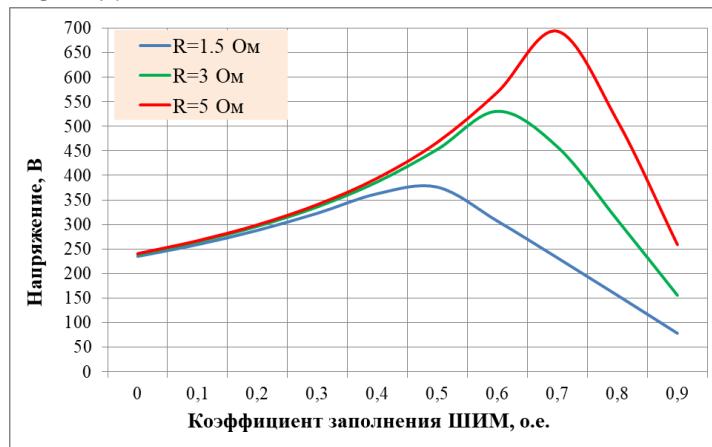


Рис. 5. Зависимость выходного напряжения преобразователя от коэффициента ШИМ для различных сопротивлений нагрузки

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

307-5

**20-22 октября 2022 года**

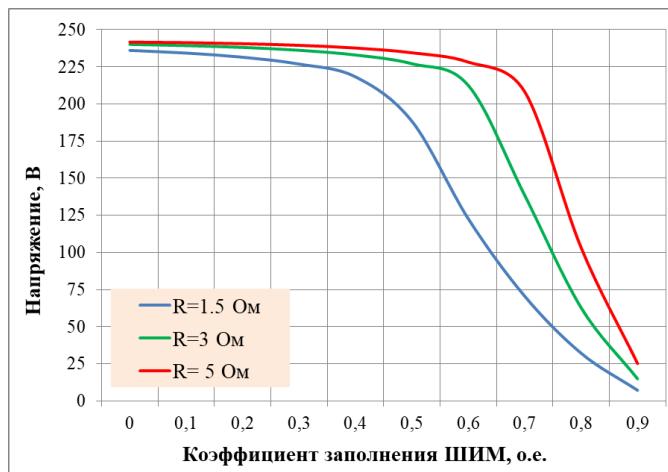


Рис. 6. Зависимость напряжения массива солнечных панелей от коэффициента ШИМ для различных сопротивлений нагрузки

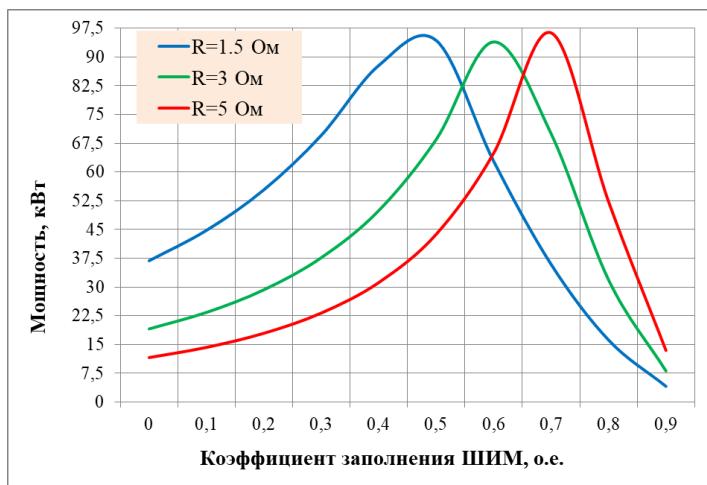


Рис. 7. Зависимость мощности повышающего преобразователя от коэффициента ШИМ для различных сопротивлений нагрузки

На основании результатов моделирования можно сделать вывод о нелинейности характеристик повышающего преобразователя напряжения при питании от каскада солнечных панелей. При этом диапазон изменения коэффициента заполнения ШИМ, в котором коэффициент передачи преобразователя имеет положительное значение, существенно зависит от нагрузки преобразователя. Чем больше нагрузка преобразователя, тем меньше указанный диапазон.

Значение коэффициента заполнения ШИМ, при котором регулировочная характеристика изменяет знак производной, должно учитываться при разработке системы стабилизации напряжения.

Список литературы:

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

307-6

**20-22 октября 2022 года**

---

1. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. – 184 с.
2. Autonomous Power Supply System Based on a Diesel Generator and Renewable Energy Sources for Remote Rural Areas / I.I. Artyukhov, S.F. Stepanov, S.V. Molot et al. // Proceedings of the 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (Brno, Czech Republic). 2018. DOI: 10.1109/EPE.2018.8395978.
3. Особенности построения автономно ветро-дизельной системы электроснабжения объектов с электроприемниками разного типа / Е.Т. Ербаев, И.И. Артюхов, С.Ф. Степанов, С.В. Молот. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С.121-128.
4. Артюхов И.И. Особенности построения гибридных солнечно-дизельных комплексов для автономного электроснабжения удаленных сельских районов / И.И. Артюхов, Г.Н. Тулепова, С.В. Молот // Вопросы электротехнологии. – 2019. – № 2(23). – С. 81-90.
5. Лукутин Б.В. Имитационная модель фотодизельной системы электроснабжения с интеллектуальным управлением в MATLAB/SIMULINK / Б.В. Лукутин, Д.И. Муравьев. – Омский научный вестник. – 2021. – № 4(178). – С. 52-62.

**Информация об авторах:**

Краснов Сергей Владимирович, аспирант каф. ЭЛЭТ, СГТУ имени Гагарина Ю.А., 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, sergeykrasnov99@mail.ru

Гайнуллин Шамиль Альбертович, аспирант каф. ЭЛЭТ, СГТУ имени Гагарина Ю.А., 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, shamil\_gaiynulin@mail.ru

Артюхов Иван Иванович, профессор, д.т.н., профессор, СГТУ имени Гагарина Ю.А., 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, ivart54@mail.ru