УДК: 620.92 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-21-97-105

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ MATLAB/SIMULINK

Абдали Л.М.[1], Исса Х.А.[2], Али К.А.[3], Кувшинов В.В.[4], Бекиров Э.А.[5]

[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ , laith_2210@yahoo.com
[2]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ , haeder.issa84@gmail.com
[3]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Институт энергетики, г. Санкт-Петербург, РФ, qaysadnanali153@gmail.com
[4]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, 299015, kuvshinov.vladimir@gmail.com
[5]ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ, bekirov.e.a@cfuv.ru

Аннотация: Использование возобновляемых источников энергии и, в частности, солнечной энергии привлекло значительное внимание в последние десятилетия. Проекты по производству фотоэлектрической (PV) энергии реализуются в очень большом количестве во многих странах. Многие исследовательские работы проводятся для анализа и проверки производительности фотоэлектрических модулей. Реализация экспериментальной установки для фотоэлектрической энергосистемы с преобразователем постоянного тока для проверки производительности системы не всегда возможна из-за практических ограничений. Программная имитационная модель помогает анализировать производительность фотоэлектрических модулей, и более полезной будет общая схемная модель, которую можно использовать для проверки любого коммерческого фотоэлектрического модуля .В данной работе представлено моделирование математической модели фотоэлектрического модуля, повышающего преобразователя постоянного тока в переменный, а также было проведено моделирование режимов работы солнечной генерирующей системы при различных нагрузочных характеристиках. Модель, представленная в этой статье, может использоваться как обобщенный фотоэлектрический модуль для анализа производительности любых коммерчески доступных фотоэлектрических модулей. В представленной работе исследовались параметры, которые влияют на производительность генерирующей системы. Результаты получены для работы фотоэлектрических преобразователей постоянного тока в переменный. Представленные характеристики сильно зависят от таких параметров, как солнечная инсоляция, температура рабочей поверхности фотоэлектрического модуля, время заряда-разряда аккумуляторных батарей и др. При изменении одного из значений этих параметров меняются режимы работы солнечной электрогенерирующей батареи. Изменение режимов работы может приводит к сбоям всей работы системы, поэтому необходим контроль всех энергетических характеристик установки. Достичь повышения эффективности генерации системы способны предложенные в этой работе действия, направленные на изучение работы фотоэлектрической системы и системы накопления энергии, а также использование необходимых вспомогательных устройств для контроля и управления параметрами установки. Исследования, проведенные в ходе представленной работы, позволяют повысить уровень знаний по контролю и управлению параметрами фотоэлектрических генерирующих установок и расширить возможности их бесперебойной работы и увеличения энерговыработки.
Предмет исследования. Предмет исследования. Анализа и проверки производительности фотоэлектрические модули.
Материалы и методы. В работе были проведены Реализация экспериментальной установки для фотоэлектрической энергосистемы с преобразователем постоянного тока для проверки производительности системы и исследования действующей компьютерного моделирования параметров интегрированной системой солнечной генерации фотоэлектрическими с использованием программной среды Matlab, а также методы теоретического анализа, математические и статистические методы, необходимые для обработки материалов исследования.
Результаты. оптимизировать работу фотоэлектрических систем и повысить их эффективность.
Выводы. По результатам можно сделать заключение об увеличении эффективности работы солнечных установок с подобным библиотекам блоков Simulink, что делает её легко моделируемой и анализируемой в сочетании с силовой электроникой для работы системы с максимальной мощностью. Принимая во внимание влияние солнечного излучения и температуры ячейки на выходной ток и мощностные характеристики модулями при помощи предложенной модели возможно значительно увеличить эффективность работы всей установки.
Ключевые слова: Автономная фотоэлектрическая система, программа Matlab/Simulink, фотоэлектрические панели, аккумлирующая батарея, контроллер, нагрузка, температура, энергопроизводительность системы, солнечная генерирующая установка.

ВВЕДЕНИЕ

Фотоэлектрические энергетические системы играют все более важную роль в современной структуре электроэнергетики из-за продолжающегося сокращения традиционных источников энергии в мире [1]. Основные преимущества фотоэлектрических систем: они не имеют движущихся частей, не производят шума, не требуют или почти не требуют обслуживания, не загрязняют окружающую среду, являются возобновляемыми, имеют модульную структуру и высокую надежность [2-4].

Автономная фотоэлектрическая система питания представляет собой полный набор взаимосвязанных компонентов для преобразования солнечного излучения непосредственно в электричество и обычно состоит из фотоэлектрического генератора, батареи, контроллера заряда, инвертора и нагрузки системы [5]. Автономные системы – это фотоэлектрические электростанции, которые не подключены к коммунальной сети [6].

Однако, чтобы понять работу фотоэлектрической системы и оценить ее производительность в зависимости от климатических условий, необходимо представить ее математической моделью на основе фотоэлектрического элемента, на рис. 1 показана функциональная схема фотоэлектрической системы [7].

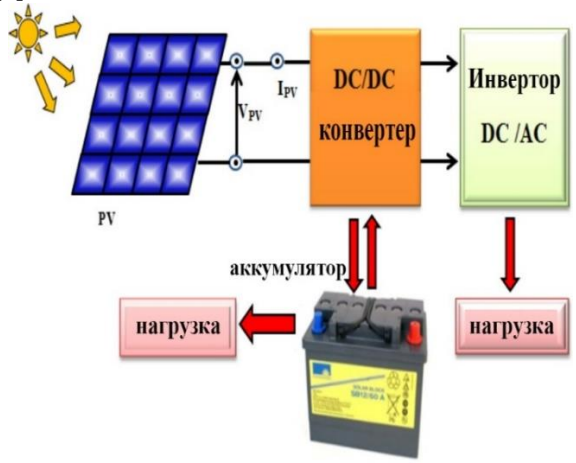

Рис.1 Структурная схема автономной фотоэлектрической системы

Fig. 1 The block diagram of an autonomous photovoltaic system

При помощи модели может теоретически прогнозировать поведение фотоэлектрической системы в отношении определенных параметров, таких как солнечное излучение, температура и сопротивление. Исследователи разработали различные модели фотоэлектрических систем. Среди них самая простая модель с одним диодом. Это хороший компромисс между простотой и точностью. Между прочим, он наиболее широко используется: [8-10] как с последовательными, так и с параллельными резисторами, чтобы показать влияние освещенности и температуры на фотоэлектрический модуль [11], обеспечить взаимодействие с преобразователем мощности [12], найти наилучшие уравнения тока (I) и напряжения (V) для модели с одним фотоэлектрическим элементом и влияния последовательного и параллельного сопротивления [13]. Прямой расчет управляется математической моделью с использованием такого программного обеспечения, как Matlab Simulink [14]. Его оценивают при помощи простого аналитического метода извлечения параметров, входящих в уравнение поведения фотоэлектрического модуля. А представляют математическую модель фотоэлектрического элемента (PV) с использованием среды Matlab-simulink, для нахождения параметров нелинейного уравнения, связывающего ток (I) с уравнением напряжения (V) [15]. Используя простой и успешный метод для оценки последовательного сопротивления, коэффициента идеальности, тока насыщения и шунтирующей проводимости в освещенных солнечных элементах. Такой подход включает в себя вспомогательную функцию и компьютерную настройку [16]. Расчет максимальной мощности очень важен в фотоэлектрических системах. Фактически это соответствует условию оптимального использования системы. Многие авторы предложили фотоэлектрические системы с контролем точки максимальной мощности (ТММ) и сравнивают производительность различных методов ТММ, которые в настоящее время используются в солнечной фотоэлектрической системе, и представляют новый метод ТММ. Этот метод обеспечивает лучшую производительность, выполнение систематического анализа при моделировании и оценке ключевых подсистем, для получения максимальной мощности солнечного элемента. При их моделировании используется однодиодная эквивалентная схема [17]. В этой работе также рассматривается конструкция понижающего преобразователя DC-DC и интеграция понижающего преобразователя DC-DC с фотоэлектрическим модулем [18]. Понижающий преобразователь постоянного тока в переменный разработан и смоделирован с использованием Matlab. Входные и выходные данные преобразователя получены в результате моделирования в условиях разомкнутого контура с постоянным входным напряжением постоянного тока. Кроме того, выходы берутся из преобразователя, подавая выход фотоэлектрического модуля в качестве входа в него.

Моделирование солнечных фотоэлементов и массивов

Чтобы создать поведение солнечной фотоэлектрической (PV) ячейки, имитационная модель построена на основе математической модели. Математическое выражение тока нагрузки можно получить из эквивалентной схемы солнечного фотоэлемента. Эквивалентная схема

солнечного фотоэлемента может быть выражена следующим образом [19] и приведена на рис. 2.

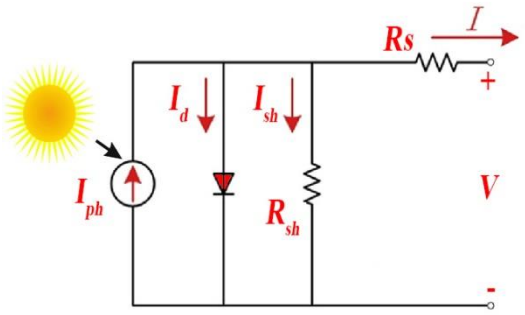

Рис.2 Эквивалентная электрическая схема фотоэлектрической модели
Fig. 2 Equivalent electrical circuit of the photovoltaic model

Для этой эквивалентной схемы уравнение тока нагрузки приведено ниже [20], формула (1).

$$I = I_{Ph} - I_s\left[exp^{\frac{q(V+IR_S)}{NKT}} - 1\right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}, (1)$$

где I – ток нагрузки, I_{ph} - фототок; I_S - ток насыщения диода; q = 1.6×10-19C - заряд электрона; k = 1,38×10-23 Дж/К – постоянная Больцмана; V – напряжение на клеммах элемента, T – температура элемента в Кельвинах; N – идеальный фактом диода; R_{SH} является шунтирующим сопротивлением, и R_S является последовательным сопротивлением [21].

Для разработки имитационной модели солнечного фотоэлектрического модуля был рассмотрен стандартный модуль BP MSX60 [22]. В следующей таблице показаны необходимые ключевые характеристики фотоэлектрического модуля при стандартных условиях тестирования:

Таблица 1. BP MSX60 pv модуль электрические характеристики
Table 1. BP MSX60 pv module electrical characteristics

Параметр	Значение
Ток короткого замыкания (Isc)	3,8A
Напряжение холостого хода (VOC)	21.1V
Максимальный ток питания (Imp)	3.5A
Максимальное напряжение питания (Vmp)	17.1V
Число последовательно соединенных ячеек Ns	36
Температурный коэффициент для Isc, KI	(0.065±0.015)%/^{0}C
Температурный коэффициент для Voc, KV	-(80±10)mV/ ^{0}C

Фототок, I_{PH} зависит от солнечного излучения и температуры элемента. Мощность фотоэлектрического модуля изменяется в зависимости от солнечной освещенности, которая может быть получена из уравнения фототока [23]:

$$I_{Ph} = \left[I_{sc} + K_i(T - T_{ref})\right]\frac{B}{1000}. \quad (2)$$

Здесь K_i – это температурный коэффициент тока короткого замыкания, T – температура элемента, I_{sc} – ток короткого замыкания, T_{ref} – эталонная температура, а B - солнечное излучение в Вт/м^2.

Ток насыщения диода меняется как кубическая функция от температуры ячейки и имеет существовать получен из последующего уравнения [24]:

$$I_s(T) = I_{RS}\left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^{\frac{3}{N}} exp^{\frac{qV_t}{NK\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_{ref}}\right)}}, \quad (3)$$

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{SH}} = \frac{V + IR_S}{R_{SH}}. \quad (4)$$

Здесь I_{Sh} очень низкий, потому что шунтирующий резистор R_{Sh} обычно очень большой и не зависит от напряжения. В этом уравнении I_{RS} — это обратный ток насыщения диода, а V_t - тепловое напряжение. Ток обратного насыщения диода может быть получен из уравнения, приведенного ниже [25]:

$$I_{RS} = \frac{Isc}{\left[exp^{\frac{qV_{OC}}{NKT}}\right]}. \quad (5)$$

Эта модель показывает влияние различных последовательностей и сопротивления шунта, поскольку первое уравнение зависит от параметров R_S и R_{Sh}.

Система точки максимальной мощности

Выходная мощность солнечного фотоэлектрического модуля изменяется с в соответствии с движением Солнца, изменением уровня солнечной инсоляции и изменением температуры. Кроме того, в фотоэлектрических характеристиках фотоэлектрического модуля есть единственная максимальная точка мощности для конкретного рабочего состояния. Желательно, чтобы фотоэлектрический модуль работал близко к этой точке, то есть выход фотоэлектрического модуля приближался к точки максимальной мощности (ТММ). Процесс работы фотоэлектрического модуля в этом состоянии называется отслеживанием ТММ. Максимальное использование фотоэлектрической мощности улучшает использование солнечного фотоэлектрического модуля. Многие алгоритмы ТММ были предложены в прошлом. Сравнения между ними включены в работы, представленные в [26]. Алгоритм P&O обеспечивает оптимальную работу системы в различных условиях. На рис. 3 показан предлагаемый алгоритм ТММ управления мощностью PV. Целью алгоритма ТММ является автоматический поиск максимального рабочего напряжения и максимального рабочего тока, при которых фотоэлектрический модуль может работать при максимальной мощности при заданных условиях освещенности и температуры.

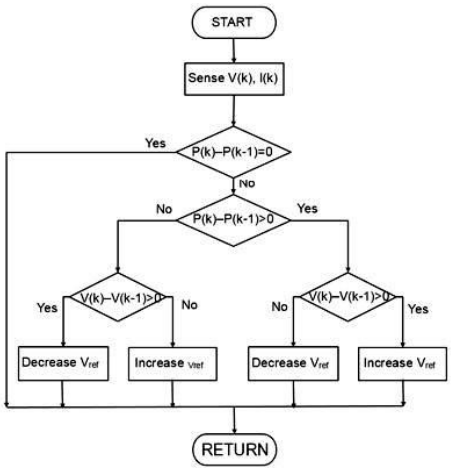

Рис 3. Блок-схема метода TMM (P&O)
Fig 3. Block diagram of the MPPT method (P&O)

Алгоритм Perturb и Observe (P&O) TMM начинается с расчета выходной мощности фотоэлектрических модулей и ее изменения путем измерения как тока, так и напряжения фотоэлектрического модуля. Метод TMM в этом случаи периодически отслеживает приращение или уменьшение напряжения солнечного фотоэлектрического модуля. Если такое возмущение генерируется в том же направлении и если оно приводит к снижению мощности фотоэлектрического модуля, то возмущение генерируется в противоположном направлении. Рабочий цикл изменяется до тех пор, пока не будет получено TMM, однако система колеблется вокруг точки TMM, уменьшая размер шага возмущения, уменьшает колебание, но замедляет его отслеживание [27].

Моделирование и результаты

Система на рис. 1 смоделирована с точки зрения управления, при изменении температуры или излучения создается новая точка максимальной мощности. Системе необходимо перейти к этой новой установке. TMM выполняет задачу отслеживания вместе с контроллером PI. Требуемое значение коэффициента заполнения затем подается на устройство, которое запускает затвор полевого МОП-транзистора в понижающем преобразователе. Реализация всей системы в Matlab/Simulink показана на рисунке 4.

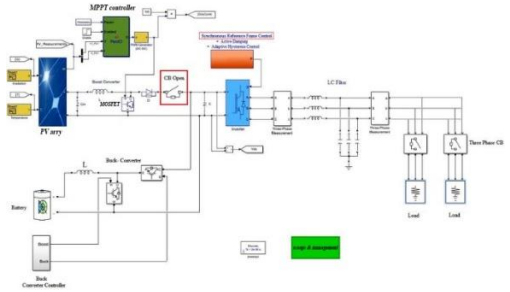

Рис.4. Модель Simulink предлагаемой фотоэлектрической системы.
Fig. 4. The Simulink's Model of the proposed photovoltaic system

Ток фотоэлектрического модуля подается на нагрузку через индуктор. Когда переключатель MOSFET находится в положении ON, ток фотоэлектрического модуля протекает через индуктивность. Это увеличивает напряжение на конденсаторе. Когда переключатель MOSFET находится в положении ВЫКЛ, ток принудительно протекает через катушку индуктивности и диод, и напряжение на конденсаторе уменьшается. Излучение и температура меняются и используются для проверки работы системы. В моделировании используются четыре различных погодных условия. Эти наборы: (550 Вт / м^2 и 25 °C), (600 Вт/м^2 и 35 °C), (1200 Вт / м^2 и 45 °C) и (1000 Вт / м^2 и 55 °C). Максимальная мощность фотоэлектрического модуля и выходная мощность показаны на рис. 5. Ясно, что система достигает максимальной мощности. Разница между выходной мощностью и мощностью фотоэлектрического модуля связана с потерями в преобразователе.

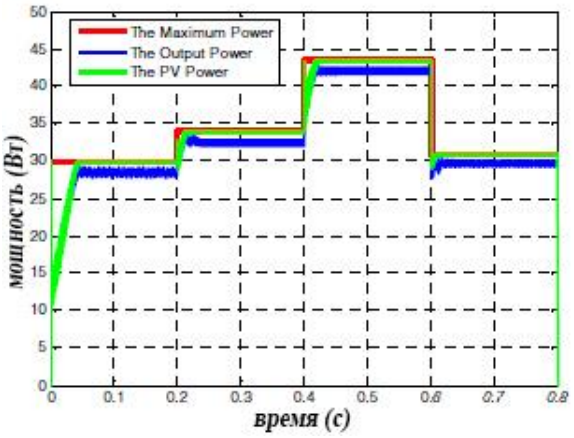

Рис.5. Мощность фотоэлектрического модуля, наибольшая мощность и мощность выхода
Fig. 5. The types of power in PV module

Было смоделировано множество сценариев для оценки производительности системы. Сценарий I: (220 Вт / м^2 и 25 °C), (600 Вт / м^2 и 35 C), (800 Вт / м^2 и 45 °C) и (600 Вт / м^2 и 55 °C). Из рисунка 6 видно, что система отслеживает максимальную мощность даже на этих низких уровнях. Сценарий II: (550 Вт / м^2 и 25 °C), (600Вт/м^2 и 35 °C), (1200 Вт / м^2 и 45 °C) и (1000 Вт / м^2 и 55 °C) для имитации погоды в пустыне Ирака. На рисунке 7 показана соответствующая выходная мощность. Проверяется влияние коэффициента усиления PI на производительность системы. Увеличение коэффициента усиления ПИ-регулятора увеличивает время нарастания системы и, следовательно, улучшает реакцию системы на изменение температуры и излучения, это показано на рисунке 8. На рисунке 9 показано влияние частоты TMM на отклик системы. При 200 Гц отклик медленный, на 1 кГц отклик становится быстрее. Увеличение частоты TMM выше 1 кГц не улучшает отклик системы, потому что динамика всей системы контролируется динамикой преобразователя.

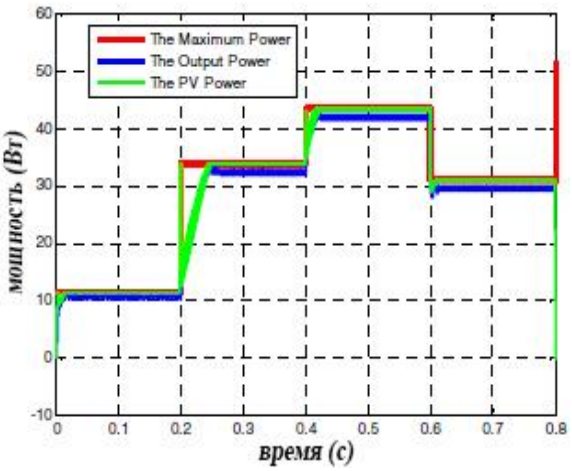

Рис.6. Мощность фотоэлектрического модуля, максимальная мощность и выходная мощность
Fig. 6. The PV module (output and maximum) power

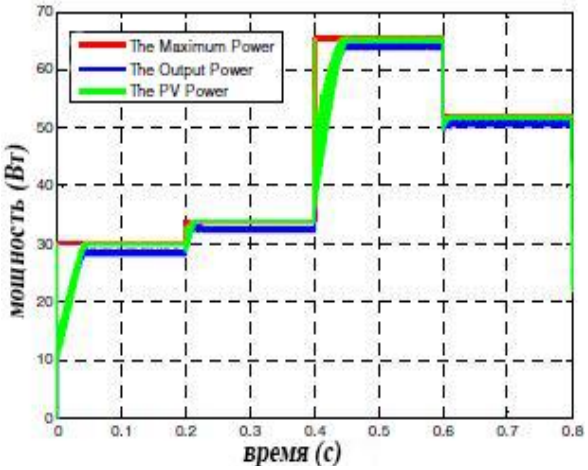

Рис.7. Мощность фотоэлектрического модуля, максимальная мощность и выходная мощность.
Fig. 7. The PV module (output and maximum) power

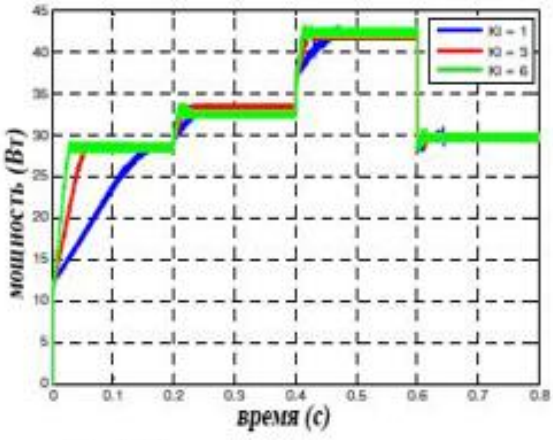

Рис.8. Выходная мощность с различным коэффициентом усиления PI
Fig. 8. The power with a various PI gaining

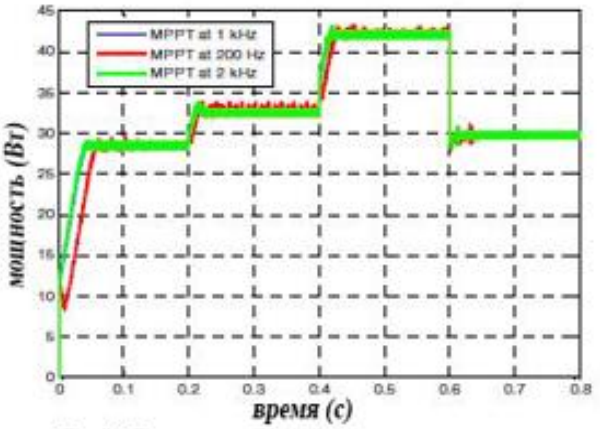

Рис.9. Выходная мощность при разных частотах ТММ
Fig. 9. The outcome power at various frequencies MPPT

ВЫВОДЫ

Основываясь на подходе Matlab/Simulink, мы получили, что общая производительность автономных фотоэлектрических систем зависит от уровня солнечного излучения и от состояния заряда батареи.

Результаты показывают, что нагрузка на потребителей покрывается независимо от уровня солнечного излучения для двух типов дней и весенне-осенних условий.

Системная модель фотоэлектрических модулей на основе схем помогает анализировать производительность коммерческих фотоэлектрических модулей. Общая модель фотоэлектрического модуля разработана с часто используемыми блоками в виде замаскированного блока подсистемы. Результаты, полученные в результате моделирования, показывают отличное совпадение с графиками характеристик, приведенными в технических данных выбранных моделей.

Таким образом, модель может быть использована для анализа производительности любого коммерческого фотоэлектрического модуля. Также моделируется повышающий преобразователь постоянного тока в переменный, и результаты получаются от преобразователя с постоянным входным источником постоянного тока и путем соединения с ним фотоэлектрического модуля. Результаты показывают близкое соответствие между выходом преобразователя с постоянным входом постоянного тока и преобразователем с фотоэлектрическим питанием.

Также представлены выходное напряжение и ток повышающего преобразователя DC-DC с фотоэлектрическим питанием, полученные для изменения уровней облучения при постоянной температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф.М. Аль-Руфаи, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
2. Abo-Elyousr, F.K.; Abdelshafy, A.M.; Abdelaziz, A.Y. TMMT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 379-400.
3. Абдали Л.М., Аль-Руфаи Ф.М., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д. Комбинированная энергетическая установки для преобразования солнечной и ветровой энергии. международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – Севастополь: СевГУ, 2020. с.21-28
4. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л.М. Абдали, Ф.М. Аль-Руфаи, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112. DOI*: 10.22213/2413-1172-2021-1-102-112*
5. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.
6. Kuvshinov V.V., Abdali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054.
7. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029.
8. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X.
9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030.
10. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042.
11. Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci*., 2019, no. 14, pp. 4414-4418. doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.
12. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohmmed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.
13. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046.
14. Kuznetsov, N.P., Abd Ali, M.L., Kuvshinov, V.V., Issa, A. H., Mohammed, J. H., & Al-bairmani, G.A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. Journal of Applied Engineering Science, 2020, Vol. 18, No. 3, pp. 313-320. Doi :10.5937/jaes18-24460.
15. Abd Ali, L. M., Al-Rufaee, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. Appl. Sol. Energy, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290. https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027.
16. Кувшинов, В., Абдали, Л., Морозова, Н., Крит, Б., Аль-Руфаи, Ф., & Исса, Х. (2021). Экспериментальные исследования приемных поверхностей плоских солнечных коллекторов. Электронная обработка материалов, 57(1), 75-81. DOI: 10.5281/zenodo.4456690
17. Оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов на юге Ирака / Ф. М. Аль-Руфаи, Л. М. Абдали, В. В. Кувшинов, Б. А. Якимович // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 105-113. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113
18. Abd Ali L.M., Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci*., 2019, no. 14, pp. 3698-3706. DOI: 10.36478/jeasci.2019.3698.3706
19. Абдали Л. М., Аль-Руфаи Ф. М., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Моделирование и контроль энергии ветра, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", - Томск: ТПУ, 22–24 апреля 2020 г., с. 14-19.
20. Абдали Л.М. Моделирование параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии / Л.М. Абдали, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров, Ф.М. Аль-Руфаи // Строительство и техногенная безопасность. – 2020. – № 18(70). – с.133-142. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
21. Issa H.A., Mohammed H.J., Abdali L.M., Al Bairmani A.G., Ghachim M. Mathematical Modeling and Controller for PV System by Using TMMT Algorithm.Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 96-101. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-96-101
22. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. Electr. Eng. 2017, 99, pp. 839–846.

23. Оптимизация аккумулирования энергии в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики / Л.М. Абдали, Ф.М. Аль-Руфаи, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 2. С. 100–108. doi: 10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.

24. Абдали Л.М., Аль-Руфаи Ф.М., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. Моделирование гибридной фото-ветроэнергетической системы с сетевым подключением. В сборнике: Возобновляемые источники энергии. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XII научной молодежной школы, 2020, С. 117-128.

25. Исса Х. А., Абдали Л. М., Аль-Руфаи Ф. М., Мансор М. Ф., Мохаммед Х.Д., Моделирование фотоэлектрического модуля с помощью программы matlab, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, с.116-122.

26. Мохаммед, Х. Д., Абдали, Л.М., Исса, Х.А., Аль-Руфаи, Ф.М., Разработка обобщенной фотоэлектрической Модель с MATLAB использованием, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, С.166-172.

27. Javed, K.; Ashfaq, H.; Singh, R. A new simple TMMT algorithm to track TMM under partial shading for solar photovoltaic systems. Int. J. Green Energy 2020, 17, 48-61.

REFERENCES

1. AbdAli Laith Mohammed A., Al-Rufaee F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Performance Analysis of Hybrid Photo-Wind Turbines]. *Energeticheskiyeustanovki i tekhnologii*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 61-68 (in Russ.).

2. Abo-Elyousr, F.K.; Abdelshafy, A.M.; Abdelaziz, A.Y. TMMT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 379-400.

3. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Issah.A., Mohammed h.D. [The generation power plant by using the combined of solar and wind power]. mezhdunarodnoynauchno-prakticheskoykonferentsii «Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskayabezopasnost' – 2020» – Sevastopol': SevGU. 2020. pp. 21-28(in Russ.).

4. Abdali L.M., Al-Rufaee F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Smart Control System for the Wind Energy Networks // Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalasnikova. – 2021. – Vol. 24. – N. 1 – P. 102-112. doi: 10.22213/2413-1172-2021-1-102-112

5. Abd Ali Laith Mokhammed, KhayderAbdulsakhibIssa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoyuchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117-120 (in Russ.).

Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054.

7. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259.https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029.

8. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X.

9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030.

10. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042.

11. Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci*., 2019, no. 14, pp. 4414-4418. doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.

12. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohmmed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.

13. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046.

14. Kuznetsov, N.P., Abd Ali, M.L., Kuvshinov, V.V., Issa, A.H., Mohammed, J. H., & Al-bairmani, G.A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. Journal of Applied Engineering Science, 2020, Vol. 18, No. 3, pp. 313 - 320. doi :10.5937/jaes18-24460.

15. Abd Ali, L. M., Al-Rufaee, F. M., Kuvshinov, V.V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. Appl. Sol. Energy, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284–290. https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027.

16. Kuvshinov, V.V., Morozova, N. V., Abd Ali, L. M., Krit, B. L., Al-Rufaee, F. M., & Issa, H.A. (2021). Experimental studies for the receiving surfaces of solar flat collectors. Электронная обработка материалов, 1(57), 75–81. http://doi.org/10.5281/zenodo.4456690

17. Al-Rufaee F.M., Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. Assessment of the Potential of Wind Energy Resources in Southern Iraq // Vestnik

IzGTU imeni M.T. Kalasnikova. - 2020. - Vol. 23. - N. 3 - P. 105-113. doi: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113.

18. Abd Ali L.M., Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci*., 2019, no. 14, pp. 3698-3706. doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.

19. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., IssaKh.A., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., [Modeling and control of wind energy], X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, p. 14-19(in Russ.).

20. Abdali L.M. Development of the simulation and control system for an integrated solar energy generation and storage / L.M. Abdali, V.V..Kuvshinov, E.A. Bekirov, F.M. Al-Rufaee // Construction and industrial safety. – 2020. – № 18(70). – p.133-142. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.

21. Fazal, M.R.; Kamran, M.; ul Haq, I.; Abbas, Z.; Ayyaz, M.N.; Mudassar, M. Modified Perturb and Observe TMMT algorithm for partial shading conditions. Int. J. Renew. Energy Res.2019, 9,721-731.

22. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. Electr. Eng. 2017, 99, 839–846.

23. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., KuvshinovV.V.[Optimization of Energy Storage in HybridWind and Photovoltaic Energy Systems]. VestnikIzhGTUimeni M.T. Kalashnikova, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 100-108 (in Russ.). DOI:10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.

24. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Mohammed H.D., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Modeling of a hybrid photo-wind power system with a mains connection V sbornike: Vozobnovlyayemyye istochniki energii. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem i XII nauchnoy molodezhnoy shkoly, 2020, S. 117-128. (in Russ.).

25. Issa H. A., Abdali L. M., Al-Rufai F. M., Mansor M. F., Mohammed H. D., [Modeling a photovoltaic module using the matlab program].X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, pp. 116-122 (in Russ.).

26. Mohammed, H. D., Abdali, L. M., Issa, H. A., Al-Rufai, F. M., Development of a Generalized Photoelectric Model with MATLAB.X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, pp. 166-172 (in Russ.).

27. Javed, K.; Ashfaq, H.; Singh, R. A new simple TMMT algorithm to track TMM under partial shading for solar photovoltaic systems. Int. J. Green Energy 2020, 17, 48–61.

ANALYSIS AND SIMULATION OFF-GRID PV PANELS BY USING MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT

Abdali L.M.[1], Issa H.A.[2], Ali Q. A.[3], Kuvshinov V.V.[4], Bekirov E.A.[5]

[1]Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry,
7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: laith_2210@yahoo.com
[2]Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry,
7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: haeder.issa84@gmail.com
[3]Postgraduate student, Institute of Energy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia, E-mail: qaysadnanali153@gmail.com
[4]Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry,
Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com
[5]Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky,
295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

Abstract. The use of renewable energy sources and in particular solar energy has received considerable attention in recent decades. Photovoltaic (PV) energy projects are being implemented in very large numbers in many countries. Many research projects are carried out to analyze and verify the performance of PV modules. Implementing a pilot plant for a photovoltaic power system with a DC / DC converter to test system performance is not always possible due to practical limitations. The software simulation model helps to analyze the performance of PV modules, and more useful would be a general circuit model that can be used to test any commercial PV module. This paper presents a simulation of a mathematical model of a photovoltaic module that boosts a DC / AC converter and also simulates the operating modes of a solar generating system at various load characteristics. The model presented in this article can be used as a generalized PV module to analyze the performance of any commercially available PV module. In the presented work, the parameters that affect the performance of the generating system were investigated. The results were obtained for the operation of DC/AC photoelectric converters. The presented characteristics strongly depend on such parameters as solar insolation, the temperature of the working surface of the photovoltaic module, the charge-discharge time of storage batteries, etc. When one of the values of these parameters changes, the operating modes of the solar power generating battery change. Changing the operating modes can lead to malfunctions of the entire operation of the system, therefore, it is necessary to control all the energy characteristics of the installation. The actions proposed in this work aimed at studying the operation of the photovoltaic system and the energy storage system, as well as the use of the necessary auxiliary devices for monitoring and controlling the parameters of the installation, are capable of achieving an increase in the efficiency of the generation of the system. The studies carried out in the course of the presented work make it possible to increase the level of knowledge on the control and management of the parameters of photovoltaic generating plants and expand the possibilities of their uninterrupted operation and increase energy production.

Subject of study. Analyze and verify the performance of photovoltaic modules

Materials and methods. Materials and methods. In the work, the implementation of an experimental installation for a photovoltaic power system with a DC converter was carried out to test the system performance and study the current computer simulation of the parameters of an integrated solar photovoltaic generation system using the Matlab software environment, as well as methods of theoretical analysis, mathematical and statistical methods necessary for processing the research materials.

Results. optimize the operation of photovoltaic systems and increase their efficiency,

Findings. Based on the results, it can be concluded that the efficiency of solar installations with similar Simulink block libraries can be increased, which makes it easy to simulate and analyze in combination with power electronics to operate the system at maximum power. Taking into account the influence of solar radiation and cell temperature on the output current and power characteristics of the modules, using the proposed model it is possible to significantly increase the efficiency of the entire installation.

Key words: Autonomous photovoltaic system, Matlab / Simulink software, photovoltaic panels, storage battery, controller, load, temperature, system power capacity, solar generating unit.