

УДК 621.313.2; 621.383

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Исса Х. А.¹, Абдали Л. М.², Якимович Б. А.³, Кувшинов В. В.⁴, Бекиров Э. А.⁵

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, hassamal817@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, laith_2210@yahoo.com

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, yakimovich52@gmail.com

⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, РФ, 299015, kuvshinov.vladimir@gmail.com

⁵ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ, bekirov.e.a@cfuv.ru

Аннотация: В генерирующих фотоэлектрических системах (PV) вырабатываемая энергия ограничена низкой эффективностью солнечных панелей, изменчивостью погодных условий и характеристиками подключенной нагрузки, поэтому крайне важно использовать методы отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), чтобы максимизировать генерируемую мощность. Для реализации метода MPPT требуется силовой преобразователь в качестве интерфейса между фотоэлектрической батареей и нагрузкой, поэтому работа преобразователя также является важным фактором, который необходимо учитывать при оценке общей производительности фотоэлектрической системы. Это исследование направлено на сравнительный анализ трех основных неизолрированных преобразователей постоянного тока, которые могут быть эффективно сопряжены для отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) в фотоэлектрических (PV) системах с помощью алгоритма отслеживания для управления коэффициентом заполнения этих преобразователей. Здесь было проведено исследование трех известных топологий преобразователя постоянного тока, т. е. boost, понижающего и повышающе-понижающего преобразователей, для тщательного изучения поведения преобразователя, связанного с изменением атмосферных характеристик, последовательного отклонения коэффициента заполнения (из-за MPPT) и эффективности отслеживания. Для эффективной работы системы в точке максимальной мощности алгоритм ТММ должен заставить систему работать в оптимальном режиме при меняющейся солнечной инсоляции и температуре. Результаты, полученные для фотоэлектрической системы, работающей в различных условиях излучения и температуры, сравниваются и это показывает, что комбинация Buck показала наилучшие переходные характеристики и наивысшую эффективность в установившемся режиме.

Предмет исследования. Техническое оборудование для производства энергии и управления энергетической системой. Использование эффективного метода управления автономной фотоэлектрической системы.

Материалы и методы. Используются методы отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), чтобы максимизировать генерируемую мощность и сравнительный анализ трех основных неизолрированных преобразователей постоянного тока, которые могут быть эффективно сопряжены для отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) в фотоэлектрических (PV) системах с помощью алгоритма отслеживания для управления коэффициентом заполнения этих преобразователей.

Результаты. Результаты показывают, что комбинация Buck показала наилучшие переходные характеристики и наивысшую эффективность в установившемся режиме.

Выводы. По результатам можно сделать вывод если рассмотрим колебания напряжения при переменной освещенности, как это происходит в большинстве практических случаев, становится очевидным видеть, что фазное напряжение, создаваемое повышающим преобразователем, содержит гораздо больше колебаний, чем фазное напряжение, создаваемое понижающим преобразователем boost-конвертером.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, солнечное излучение, фотогальваническая система, точка максимальной мощности, фотоэлектрическая панель.

ВВЕДЕНИЕ

Использование систем силовой электроники всегда требовалось при работе возобновляемых источников энергии, особенно солнечной фотоэлектрической системы [1]. За последние шесть десятилетий насчитывается более 500 моделей DC/DC преобразователей мощности, используемых в различных областях для работы силовой электроники, в том числе при использовании возобновляемых источников энергии [2-4]. Солнечные фотоэлектрические системы являются нелинейными системами и слишком чувствительны к изменениям погодных условий, характеристики величин, передаваемых этой системой (ток, напряжение), имеют единственную точку, где мощность может быть максимальной. Иногда бывает трудно, чтобы рабочая точка между нагрузкой и ГИН была оптимальной точкой системы, в этом случае возникает необходимость введения метода слежения за точкой максимальной мощности (ТММ) [5]. Этот метод используется в качестве контроллера преобразователя мощности постоянного тока через его переключатель, который действует как адаптер импеданса [6-8]. Фотоэлектрическая система генерации (PV) как экологически чистый и неисчерпаемый возобновляемый источник энергии становится все более популярной в современной энергетике. Солнечная энергия может заменить ископаемое топливо при использовании в сочетании с другими экологически чистыми источниками энергии, такими как ветер, гидроэлектроэнергия и т. д. [9].

Низкая эффективность преобразования является основной проблемой фотоэлектрических модулей, которая находится в пределах 12-18%, хотя экспериментальных элементов было изготовлено более 30% [10]. Характеристики, которые имеют нелинейный характер [11] – это явление, которое заметно в частично затененной среде при более чем одной системе отслеживания точек максимальной мощности (MPPT). При фиксированном солнечном излучении, температуре и нагрузке важно, чтобы фотогальваническая энергосистема функционировала в состоянии, которое извлекает максимальную мощность из фотоэлектрической панели для наиболее выгодного использования. Таким образом, среди методов получения максимальной отдачи от фотоэлектрической системы отслеживание точки максимальной мощности (MPPT) для интеграции DG и правильная сеть реконфигурация имеет первостепенное значение [12-14]. В период периодических колебаний солнечной инсоляции, температуры и подключенной нагрузки алгоритм управления ТММ управляет коэффициентом заполнения интерфейса силовой электроники, т. е. преобразователя постоянного тока, подключенного между фотоэлектрической панелью и концом нагрузки, так что рабочая точка преобразователя и MPPT фотоэлектрической панели совпадают для

максимальной мощности, отбираемой от панели в нагрузку. Внимание большинства исследователей сосредоточено на расширении и реализации алгоритмов отслеживания, относящихся к функциональности ТММ [15]. Тем не менее, индивидуальные характеристики преобразователей постоянного тока, взаимодействующих с силовой электроникой, в отношении изменения коэффициента заполнения при реализации MPPT еще предстоит тщательно изучить. Изменение коэффициента заполнения оказывает последующее различное влияние на рабочие параметры преобразователя постоянного тока, что может привести к нарушению конструктивных ограничений топологии преобразователя [16-18], таких, как приращение содержания пульсаций в токе индуктора и в выходном напряжении. Чтобы создать надежную фотоэлектрическую систему с соответствующей топологией преобразователя, которая может отслеживать функциональность MPPT, необходимо исследовать преобразователи постоянного тока, подключенные для этой операции. В представленной исследовательской работе проводится анализ производительности фотоэлектрической системы, в которой используется алгоритм ТММ, настроенный для работы в схемах с прерывистой солнечной инсоляцией и температурой, с использованием трех популярных топологий преобразователей постоянного тока. Каждая топология преобразователя была проанализирована на предмет ее эффективности отслеживания для определенного набора резистивных нагрузок, и была представлена относительная оценка поведения представленных преобразователей. Лю и др. исследовали и показали [19], что метод НС может широко использоваться в установках PV из-за меньшего количества контролируемых параметров, необходимых в алгоритме отслеживания, и его упрощенной архитектуры. Чтобы сделать операцию нечеткой, а выполнение ясным, алгоритм отслеживания для представленного исследования выбран в качестве алгоритма управления прямым коэффициентом заполнения НС [20].

Анализ проекта

1. Фотоэлектрический модуль

Моделирование фотоэлемента может быть выполнено как для источника тока, так и для напряжения. В этой статье рассматривается фотоэлектрический элемент с одним диодом, как показано на рис. 1. Каждый солнечный элемент был смоделирован с использованием источника тока, подключенного параллельно диоду, а также последовательного сопротивления « R_s » и шунтирующего сопротивления « R_{sh} » [21].

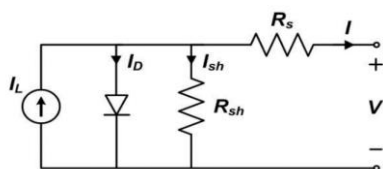


Рис.1. Модель фотоэлемента
Fig.1. Photocell model

Моделирование солнечных элементов включает в себя реализацию набора нелинейных уравнений перед созданием солнечных элементов, которые упомянуты ниже. Фотогальванический ток,

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - T_r)] \times \frac{I_r}{I_{r0}} \quad (1)$$

Тепловое напряжение,

$$Vt = \frac{k \times T}{q} \quad (2)$$

Обратный ток насыщения,

$$I_s = I_{sc} / \exp\left(\frac{V_{oc}}{n \times Vt}\right) - 1 \quad (3)$$

Ток насыщения,

$$I_o = I_s \times \left(\frac{T_r}{T}\right)^3 * e^{\frac{Eg \times q}{n \times K} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r}\right)} \quad (4)$$

Шунтирующий ток,

$$I_{sh} = \frac{V * \frac{Np}{Ns} + I * Rs}{Rsh} \quad (5)$$

Ток диода,

$$I_d = I_o * Np * \exp\left(\frac{V + I * Rs}{\frac{Ns}{Np} * Vt}\right) \quad (6)$$

Ток нагрузки

$$I = (I_{ph} * Np) - I_d - I_{sh} \quad (7)$$

Солнечная батарея, выбранная для имитации фотоэлектрической батареи, содержит 36 солнечных элементов, соединенных последовательно в каждом модуле [22-24].

2. Алгоритм ТММ

Солнечный модуль всегда работает при определенной температуре и освещенности, и эта конкретная точка, в которой работает солнечный модуль или солнечная батарея, известна как рабочая точка. В случае изменения освещенности меняются графики как ВАХ, так и V-P. Итак, нам нужно изменить эту рабочую точку, чтобы отслеживать ТММ (точку максимальной мощности). ТММ (отслеживание точки максимальной мощности) — это набор кодов, которые в основном используются в солнечных (фотоэлектрических) массивах для

максимизации производимой выходной мощности фотоэлектрической системы путем отслеживания ТММ [25-27].

3. Метод отслеживания точки максимальной мощности при восхождении на вершину

Большинство предыдущих методов проектирования ТММ для решения проблем нахождения локальной максимальной выходной мощности путем регулирования выходного напряжения массива фотоэлектрических модулей заключались в измерении производной dP/dV и использовании обратной связи для обнуления этой величины. P — выходная мощность массива фотоэлектрических модулей и напряжение массива V фотоэлектрических модулей. В большинстве приложений преобразователи постоянного тока в постоянный и инверторы постоянного тока в переменный с PWM используются в качестве интерфейса питания между фотоэлектрическими батареями и нагрузками. Рабочий цикл переключения или коэффициент заполнения является управляющей переменной таких систем. Таким образом, одним из вариантов этих методов является прямое использование рабочего цикла преобразователя режима переключения или инвертора в качестве параметра управления ТММ и принудительное нулевое значение dP/dD, где P — выходная мощность массива фотоэлектрических модулей, а D — рабочий цикл переключения. Это так называемый метод отслеживания точки максимальной мощности с восхождением на вершину [28-30].

На рис.2 показана упрощенная блок-схема алгоритма. Каждый коэффициент заполнения определяется путем сравнения текущего значения мощности и заданного значения. Если dP>0, то сделайте dD>0. А если dP<0, то сделать dD<0. «а», показанный на рис. 2, представляет собой шаг приращения рабочего цикл [31].

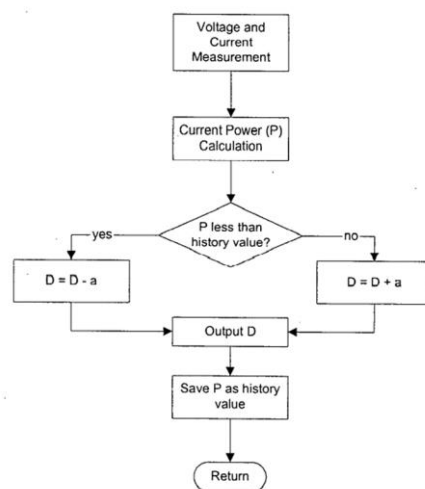


Рис. 2. Блок-схема алгоритма управления MPPT при восхождении на вершину
Fig. 2. Block diagram of the MPPT control algorithm when climbing a hill

Модуляция и результат

Схема разработана в MATLAB/Simulink. Когда преобразователи постоянного тока добавляются на уровень фотоэлектрических модулей, во всей фотоэлектрической системе уменьшается выработка энергии. Для достижения максимальной эффективности каждого преобразователя используются различные комбинации сопротивления, конденсатора и катушки индуктивности. На рис. 3 показана топология форсирования, на рис. 4 топология buck, а на рис. 5 топология buck-boost.

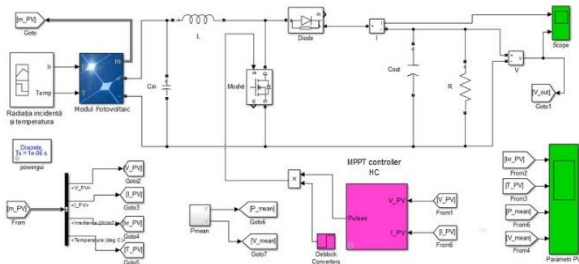


Рис. 3. Simulink повышающего преобразователя постоянного тока в MATLAB

Fig. 3. Simulink DC Boost Converter in MATLAB

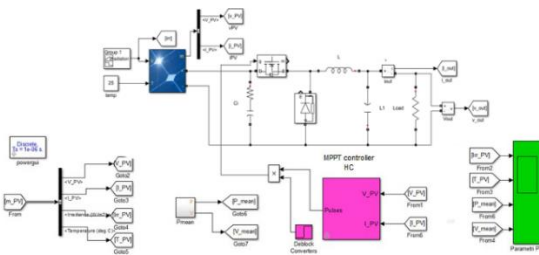


Рис. 4. Понижающий преобразователь постоянного тока Simulink в MATLAB

Fig. 4. Simulink DC Buck Converter in MATLAB

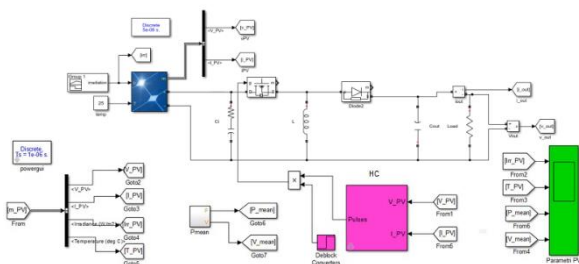


Рис. 5. Преобразователь Simulink DC Buck-boost в MATLAB

Fig. 5. Simulink DC Buck-boost Converter in MATLAB

Схемы моделируются в течение 0,9 секунды в MATLAB/Simulink. Значения каждой переменной рассчитываются по графикам каждой переменной. Среднеквадратичное значение (СЗ) вычисляется из каждого графика. График эффективности также получается с использованием этой формулы эффективности в MATLAB/Simulink, т.е. $(P_{out}/P_{in}) * 100$.

Во-первых, блок области видимости используется в Simulink для получения графика,

затем мы использовали инструмент статистики сигналов, чтобы получить среднеквадратичное значение данного графика. График каждой переменной получается путем моделирования схем в MATLAB/Simulink. Используя значения переменных, рассчитывается эффективность. После моделирования значения входного тока и входного напряжения берутся и передаются множителю для расчета входной мощности, и аналогичным образом выходная мощность рассчитывается по полученным данным, с использованием осциллографа получаются графики мощностей, из которых мы вычислили среднеквадратичное значение как входной, так и выходной мощности. Взяв соотношение выходной и входной мощности, рассчитывается КПД.

$$\text{КПД} = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) * 100\% \quad (8)$$

На рис. 6 показана кривая зависимости эффективности повышающего преобразователя от времени. По оси x отложен КПД (соотношение выходной и входной мощности), а по оси Y - время в секундах. Из графика видно, что сначала он начинается с нуля и поднимается до 0,5 за короткий промежуток времени, затем остается почти постоянным до 0,67 секунды, а затем поднимается до 0,9 за 0,9 секунды. Когда среднеквадратичное значение графика рассчитывается с использованием Simulink, оно оказывается равным 0,56. Эффективность повышающего преобразователя рассчитывается по уравнению 7, она составляет почти 87%.

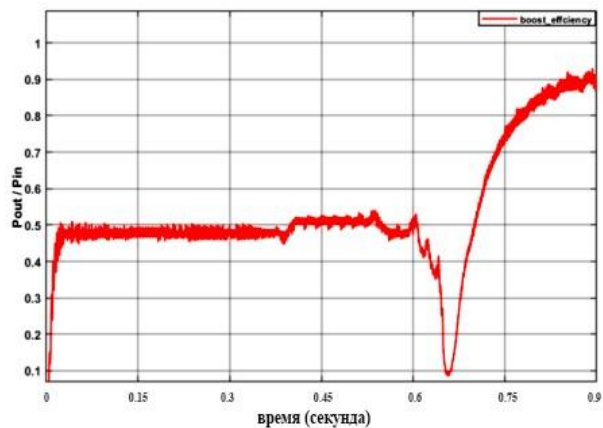


Рис. 6. КПД повышающего преобразователя

Fig. 6. the efficiency of the Boost converter

На рис. 7 показана кривая зависимости эффективности от времени топологии форсирования. На рисунке показано соотношение выходной и входной мощности и время в секундах. Из графика видно, что кривая начинается с нуля и поднимается до 0,5 за короткий промежуток времени, затем остается почти неизменной до 0,6 секунды, затем падает до 0,1 за очень короткий промежуток времени, а затем поднимается до 0,8 за

0,9 секунды. Когда среднееквадратичное значение графика рассчитывается с помощью Simulink, оно оказывается равным 0,0033 и КПД повышающе-понижающего преобразователя составляет почти 78%.

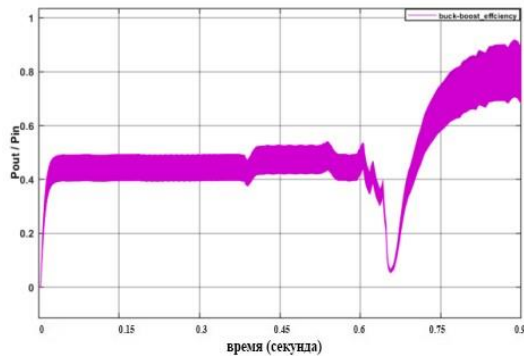


Рис. 7. КПД повышающе-понижающего преобразователя

Fig. 7. The efficiency of the Buck-boost converter

На рис. 8 показана кривая зависимости эффективности от времени для понижающей топологии. Колебание на этом графике происходит с большой скоростью. Он начинается с нуля, затем достигает 0,7 за 0,28 секунды, затем снижается до 0 за 0,45 секунды, затем достигает 0,9 за 0,53 секунды, затем снова падает до нуля за очень короткий период, а затем колеблется между 0 и 0,9, и, наконец, достигает насыщения около 0,9 за 0,9 секунды. Когда среднееквадратичное значение графика рассчитывается с помощью Simulink, оно оказывается равным 3,4. КПД повышающе-понижающего преобразователя составляет почти 93%

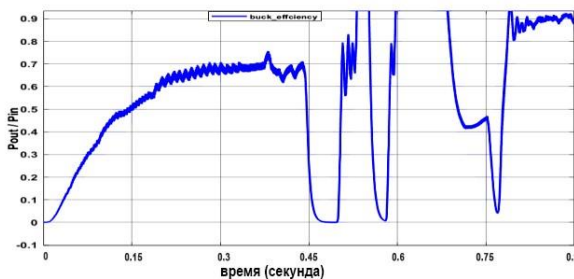


Рис. 8. КПД понижающего преобразователя

Fig. 8. The efficiency of the Buck converter

После моделирования каждой схемы в MATLAB/Simulink наблюдается среднееквадратичное значение изменения кривой, показанной на графике (эффективность в зависимости от времени). Значение RMS может быть получено с помощью инструмента статистики сигнала, присутствующего в Simulink. Полученные среднееквадратичные значения составляют 3,2 для понижающего преобразователя, 0,61 для повышающего преобразователя и 0,0034 для повышающе-понижающего преобразователя. Из этих результатов мы также можем сказать, что преобразователь Buck имеет самое высокое

среднееквадратичное значение, поэтому он является наиболее эффективным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе в MATLAB/Simulink смоделированы повышающий преобразователь и buck-boost-преобразователь постоянного тока с замкнутым контуром для автономной солнечной фотоэлектрической энергосистемы, а результаты оцениваются и сравниваются при изменении солнечной освещенности в различных случаях. Результаты моделирования напряжения, тока и мощности для входной и выходной стороны повышающего и buck-boost-преобразователя представлены на рисунках. Результаты подтверждают, что, если мы отбросим эффективность и рассмотрим колебания напряжения при переменной освещенности, как это происходит в большинстве практических случаев, мы можем ясно видеть, что фазное напряжение, создаваемое повышающим преобразователем, содержит гораздо больше колебаний, чем фазное напряжение, создаваемое понижающим преобразователем boost-конвертером. В результате предложенных в представленной работе решений эту задачу можно решить.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
2. Абдали Л.М. АНАЛИЗ И моделирование автономной фотоэлектрической системы с использованием среды matlab/simulink / Л.М. Абдали, Х.А. Исса, К.А. Али, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров // Строительство и техногенная безопасность. — 2021. — № 21(73). — с.97-105. — DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873-2021-21-97-105>.
3. Абдали Л.М., Аль-Руфай 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-Руфай, 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](https://doi.org/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. Kuvshinov, V.V., Abd Ali, L.M., Morozova, N.V. et al. Experimental Studies on Receiving Surfaces of Flat Solar Collectors. *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* vol. 57, no. 6, pp.715–720 (2021).<https://doi.org/10.3103/S1068375521060089>
8. 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>.
9. 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>.
10. 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>.
11. 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>.
12. Ahmed Mohammed 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.
13. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed 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.
14. 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>.
15. Использование гибридных ветро-солнечных систем для энергоснабжения города Аль-Наджаф в Республике Ирак / Л. М. Абдали, М. Н. Аль-Малики, К. А. Али, Б. А. Якимович, Н. В. Коровкин, В. В. Кувшинов, С. И. Соломенникова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 3. С. 82–91. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91
16. Abd Ali, L. M., Al-Rufae, 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>.
17. Кувшинов, В., Абдали, Л., Морозова, Н., Крит, Б., Аль-Руфай, Ф., & Исса, Х. (2021). Экспериментальные исследования приемных поверхностей плоских солнечных коллекторов. *Электронная обработка материалов*, 57(1), 75–81. DOI: 10.5281/zenodo.4456690
18. Оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов на юге Ирака / Ф. М. Аль-Руфай, 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
19. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed 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
20. Абдали Л. М., Аль-Руфай 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.
21. 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-Руфай // Строительство и техногенная безопасность. — 2020. — № 18(70). — с.133-142. — DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
22. 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
23. 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.
24. Оптимизация аккумулирования энергии в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, 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.
25. Дизайн и моделирование гибридной фотоэлектрической ветровой системы для уличного освещения, подключенной к сети / Л. М. Абдали, Х. А. Исса, М. Н. Аль-Малики, Ф. М. Аль-Руфай // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26–28 апреля 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 379–388
26. Исса Х. А., Абдали Л. М., Аль-Руфай 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.
27. Analysis study and comparison of different maximum power point techniques for solar photovoltaic systems ABDALI L.M., ISSA H.A., AL-MALI KI

M.N.// Интеллектуальные системы в производстве. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 104-113. – DOI: 10.22213/2410-9304-2022-3-104-113

28. Абдали, Л. М., Али, К. А., Кувшинов, В. В., Бекиров, Э. А., & Коровкин, Н. В. (2021). техника искусственного интеллекта для производства энергии и автоматизация управления гибридной солнечно-ветро-дизельной энергетической системой. *Строительство и техногенная безопасность*, (22 (74)), 91-100.

29. Моделирование режимов работы фотоэлектрической системы / Л. М. Абдали, Х. Д. Мохаммед, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов, Н. В. Коровкин, Д. Ф. Бордан // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2021. Т. 24, № 3. С. 78–87. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-78-87

30. Моделирование и управление системой ветроэнергетики, связанной с сетью с использованием синхронного генератора с постоянными магнитами (СГПМ) / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, Х. А. Исса, Б. А. Якимович // *Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей конференции*, Нижний Новгород, 17 декабря 2021 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева, 2021. – С. 299-308. – DOI: 10.46960/44170389_2021_299

31. Layth M. Abd Ali, L M., Ali, Q. A., Klačková, I., Issa, H. A., Yakimovich, B. A. and Kuvshinov, V. (2021) Developing a thermal design for steam power plants by using concentrating solar power technologies for a clean environment. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (4), 773-783 DOI: <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i4.14>

REFERENCES

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

2. Abdali L.M. ANALYSIS AND SIMULATION OFF-GRID PV PANELS BY USING MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT / L.M. Abdali, H.A. Issa, Q.A. Ali, V.V. Kuvshinov, E.A. Bekirov // *Construction and industrial safety*. — 2021. — № 21(73). — p.97-105. — DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873-2021-21-97-105>.

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-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Smart Control System for the Wind Energy Networks // *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalashnikova*. - 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.).

6. 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. Kuvshinov, V.V., Abd Ali, L.M., Morozova, N.V. et al. Experimental Studies on Receiving Surfaces of Flat Solar Collectors. *Surf. Engin. Appl.Electrochem.* vol. 57, no. 6, pp.715–720 (2021).<https://doi.org/10.3103/S1068375521060089>

8. 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>.

9. 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>.

10. 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>.

11. 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>.

12. Ahmed Mohmmmed 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>.

13. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohmmmed 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>.

14. 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>.

15. Abdali L.M., Al-Maliki M.N., Ali Q.A., Yakimovich B.A., Korovkin N.V., Kuvshinov V.V., Solomennikova S.I. [Using Hybrid Wind-Solar Power Systems for the Al-Najaf City in Iraq]. *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 3, pp. 82-91 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91

16. Abd Ali, L. M., Al-Rufae, 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>.

17. Kuvshinov, V.V., Morozova, N. V., Abd Ali, L. M., Krit, B. L., Al-Rufae, 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>
18. Al-Rufae 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.
19. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed 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.
20. 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.).
21. 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-Rufae // *Construction and industrial safety*. — 2020. — № 18(70). — p.133-142. — DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
22. 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.
23. 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.
24. Abdali L.M., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Optimization of Energy Storage in Hybrid Wind and Photovoltaic Energy Systems // *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. - 2020. - Vol. 23. - N. 2 - P. 100-108. doi:10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.
25. Дизайн и моделирование гибридной фотоэлектрической ветровой системы для уличного освещения, подключенной к сети / Л. М. Абдали, Х. А. Исса, М. Н. Аль-Малики, Ф. М. Аль-Руфай // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов : Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Томск, 26–28 апреля 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 379-388
26. 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.).
27. Анализ различных методов отслеживания точки максимальной мощности при работе солнечных фотоэлектрических систем / Л. М. А. Абдали, Х. А. И. Исса, М. Н. К. Аль-Малики [и др.] // *Интеллектуальные системы в производстве*. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 104-113. – DOI: 10.22213/2410-9304-2022-3-104-113
28. Abdali L.M. The artificial intelligence technique for the energy generation and administration of the hybrid solar/wind/diesel power system/ L.M. Abdali, Q.A. Ali, V.V. Kuvshinov, E.A. Bekirov, N.V. Korovkin // *Construction and industrial safety*. — 2021. — № 22(74). — p.91-100. — DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-91-100.
29. Abdali L.M., Mohammed H.J., Yakimovich B.A., et al. Modeling the Operating Modes of a Photovoltaic System // *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. - 2021. - Vol. 24. - N. 3 - P. 78-87. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-78-87
30. Modeling and control of a wind power system connected to the grid using a synchronous generator with permanent magnets (PMS) / L. M. Abdali, F. M. Al-Rufai, H. A. Issa, B. A. Yakimovich // *Actual problems of the electric power industry: Collection of scientific and technical articles of the conference, Nizhny Novgorod, December 17, 2021*. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, 2021. -- S. 299-308. - DOI: 10.46960/44170389_2021_299
31. Layth M. Abd Ali, L M., Ali, Q. A., Klačková, I., Issa, H. A., Yakimovich, B. A. and Kuvshimov, V. (2021) Developing a thermal design for steam power plants by using concentrating solar power technologies for a clean environment. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 26 (4), 773-783 DOI: <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i4.14>

STUDY OF DIFFERENT DC/DC POWER CONVERTER FOR PV SYSTEM USING MAXIMUM POWER POINT TRACKING

Issa H.A.¹, Abdali L. M.², Yakimovich B.A.³, Kuvshinov V.V.⁴, Bekirov E.A.⁵

¹Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: laith_2210@yahoo.com

²Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: hassamal817@gmail.com

³Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: yakimovich52@gmail.com

⁴Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

⁵Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

Abstract: Maximum power point tracking (MPPT) techniques must be used in photovoltaic (PV) generation systems to maximize the power supplied because the energy produced is constrained by the low efficiency of the solar panels, the variability of weather conditions, and the characteristics of the connected load. The behavior of the power converter must also be taken into account when evaluating the overall performance of a PV system since it serves as the interface between the PV array and the load when an MPPT is being implemented. With the help of a tracking algorithm that regulates the duty ratio of these converters, the two most fundamental non-isolated DC-DC converters could be effectively interfaced for maximum power point tracking (MPPT) in photovoltaic (PV) systems. Here, two well-known DC-DC converter topologies, buck and buck-boost converters have been examined to determine how the converter responds to changing atmospheric characteristics, duty ratio variation (caused by MPPT), and tracking efficiency. The MPPT algorithm must set the system to function at the highest power point while maintaining the best possible performance under a range of insolation and temperature conditions. Results from the PV system under different radiation and temperature circumstances are compared and reviewed, and it is shown that the Buck-Boost combination demonstrated the highest steady-state efficiency and the best transient behavior.

Subject of research. Technical equipment for energy production and energy system management. Using an efficient control method for an off-grid photovoltaic system.

Materials and methods. use maximum power point tracking (MPPT) techniques to maximize generated power and benchmark three mainstream non-isolated DC converters that can be effectively coupled to maximum power point tracking (MPPT) in photovoltaic (PV) systems with a tracking algorithm for ratio control filling these transducers.

Results. The findings indicate that the Buck combination had the optimum steady-state efficiency and transient response.

Conclusions. According to the findings, it is evident that the phase voltage produced by a boost converter contains significantly more fluctuation than the phase voltage produced by a buck converter if efficiency is disregarded and voltage fluctuations under variable lighting are taken into account, as is the case in the majority of practical cases. turbo converter.

Key words: photovoltaic modules, photovoltaic cell, photovoltaic module, MPPT, Improved incremental conductivity.