

УДК 621.47 621.314

DOI:10.25729/ESI.2026.42.2.011

## Исследование потерь мощности в полупроводниковых преобразователях фотоэлектрических установок

Довудов Сарфароз Умедович<sup>1</sup>, Дунаев Михаил Павлович<sup>2</sup>, Султонзода Шерхон Муртазо<sup>1</sup>, Хакимова Манижа Абдувосеевна<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, Таджикистан, Душанбе, *sarfarozdovudov@gmail.com*

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, Иркутск

<sup>3</sup>Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, Таджикистан, Душанбе

**Аннотация.** В статье выполнен анализ энергетической эффективности полупроводниковых преобразователей постоянного тока (DC/DC – converter), которые используются в фотоэлектрических установках. Исследование потерь мощности в ключах повышающего преобразователя (boost converter) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) проводилось с помощью имитационной компьютерной модели, разработанной в среде MATLAB с использованием блоков из Simscare. Представлены результаты имитационного компьютерного моделирования графиков зависимости выходных тока и напряжения при ступенчатом изменении солнечного излучения. Установлено, что при увеличении солнечного излучения ток и напряжение возрастают, что указывает на прямую зависимость генерируемого тока и напряжения от уровня освещённости. Разработанная модель позволяет определить статические и динамические потери мощности в силовых полупроводниковых ключах в зависимости от частоты коммутации. Анализ исследований показал, что полупроводниковый преобразователь постоянного тока в постоянный (DC/DC) с ШИМ-управлением имеет значительные потери при включении и выключении полупроводниковых ключей, что приводит к снижению КПД преобразователя. Для уменьшения динамических потерь и увеличения КПД полупроводникового преобразователя необходимо исследовать новый метод управления, который основывается на применении частотно-импульсной модуляции (ЧИМ).

**Ключевые слова:** полупроводниковый преобразователь, фотоэлектрическая установка, широтно-импульсная модуляция, энергетическая эффективность, потери мощности

**Цитирование:** Довудов С.У. Исследование потерь мощности в полупроводниковых преобразователях фотоэлектрических установок / С.У. Довудов, М.П. Дунаев, Ш.М. Султонзода, М.А. Хакимова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2026. – № 2(42). – С. 143-152. – DOI:10.25729/ESI.2026.42.2.011.

**Введение.** Структурная схема фотоэлектрической системы с преобразованием энергии и подключением к нагрузке и сети переменного тока показана на рисунке 1. Основным элементом системы является фотоэлектрическая панель (PV), которая преобразует солнечную энергию в постоянное напряжение [1, 2].

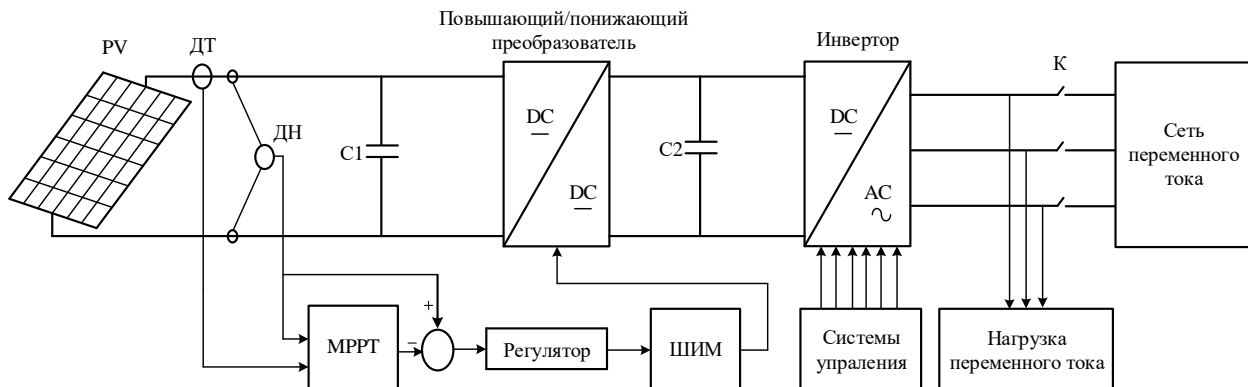


Рис. 1. Структурная схема фотоэлектрической системы

Выходное напряжение и ток с фотоэлектрической панели (PV) снимаются через датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН) и подаются на вход системы слежения за точкой максимальной

мощности (MPPT). Система MPPT реализует алгоритм отслеживания точки максимальной мощности, который формирует управляющий сигнал для обеспечения оптимального режима работы фотоэлектрической панели.

На регулятор поступает сигнал управления, формирующий управляющий сигнал для блока широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ управляет полупроводниковыми ключами DC/DC-преобразователя, стабилизируя напряжение на выходе и обеспечивая его соответствие требованиям инвертора.

Инвертор играет важную роль при преобразовании постоянного напряжения, полученного от DC/DC-преобразователя в переменное напряжение синусоидальной формы [2]. Переменный ток, полученный на выходе инвертора, подается как на нагрузку переменного тока, так и через коммутирующее устройство (К) в сеть переменного тока. Таким образом, обеспечивается как автономная работа системы, так и параллельная работа с внешней сетью.

В настоящее время в фотоэлектрических установках используются разные виды DC/DC-преобразователей. Важнейшим показателем их работы является энергетическая эффективность, которая определяется следующими показателями:

- диапазон регулирования выходного напряжения должен соответствовать выходному напряжению солнечной панели в точке максимальной мощности (ТТМ) при различных условиях освещенности;
- наличие алгоритма поиска точки максимальной мощности на всем диапазоне регулирования выходного напряжения, что позволяет обеспечить максимальную выходную мощность при любых уровнях освещенности солнечных панелей;
- непрерывность и малые пульсации входного тока, что способствует продлению срока службы солнечных панелей и повышению точности определения ТТМ;
- наличием гальванической изоляции, если предъявляются дополнительные требования по безопасности;
- коэффициент полезного действия (КПД), зависящий от статических и динамических потерь в ключах;
- дополнительные потери, связанными с сопротивлением проводников и питанием цепей управления.

Указанным выше показателям удовлетворяют несколько типов преобразователей без гальванической изоляции, такие, как: понижающий преобразователь (buck converter); повышающий преобразователь (boost converter), повышающе-понижающий преобразователь (buck-boost converter); преобразователь с первичной индуктивностью одностороннего включения (SEPIC – Single-Ended Primary Inductance Converter) и преобразователь Кука (Cuk converter).

Понижающий преобразователь является самым простым с точки зрения схемотехники и системы управления, который обеспечивает регулирование выходного напряжения в диапазоне от нуля до величины входного напряжения [3, 4]. Электрическая схема понижающего преобразователя постоянного тока с фотоэлектрической панелью (PV) показана на рисунке 2. Схема включает: фотоэлектрическую панель (PV), силовой полупроводниковой ключ на транзисторе VT1, диод VD1, катушку индуктивности L1 и конденсаторы фильтра C1 и C2. Резистор Rн представляет собой нагрузку постоянного тока. В качестве полупроводникового ключа наиболее часто используется биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT). Диод VD1 называется обратным диодом. Транзистор VT1 управляется ШИМ-сигналом, который включает и выключает с частотой  $f = 1/T$ .

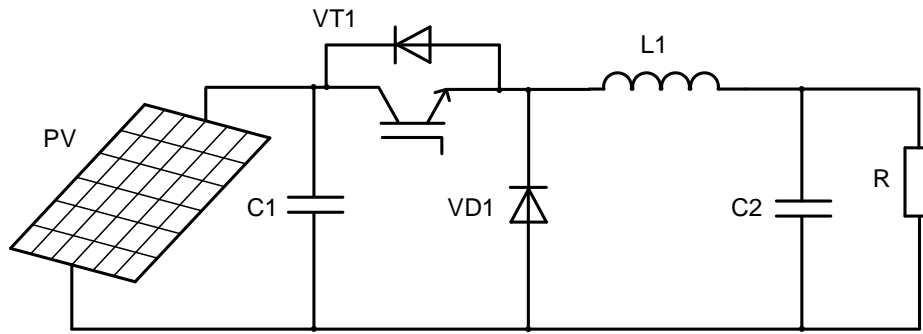


Рис. 2. Понижающий преобразователь (buck converter)

Повышающий преобразователь, схема которого показана на рисунке 3, используется в тех случаях, когда необходимо получить выходное напряжение, превышающее напряжение источника питания. Важной особенностью повышающего преобразователя является то, что он потребляет от источника питания непрерывный ток (в понижающем преобразователе для этого требуется дополнительный фильтрующий входной конденсатор).

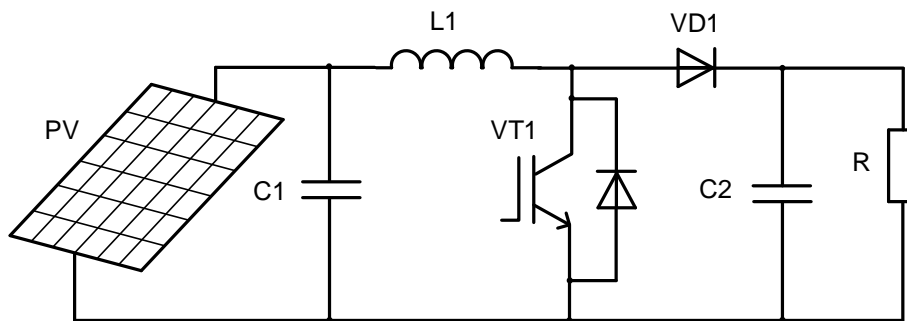


Рис. 3. Повышающий преобразователь (boost converter)

Преимуществами использования ШИМ в полупроводниковых преобразователях постоянного тока является малое количество компонентов, высокая эффективность, относительно простое управление и коммерческая доступность контроллеров и интегральных схем, а также возможность достижения высоких коэффициентов преобразования как для понижающих, так и для повышающих преобразователей.

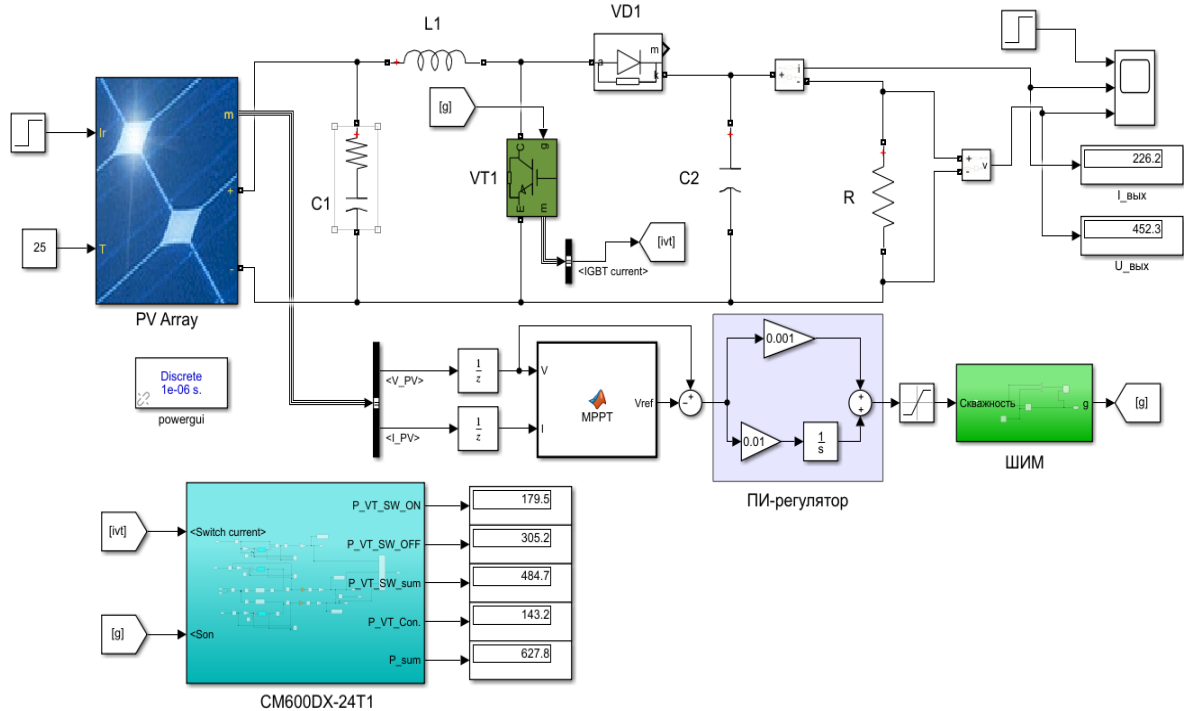
Недостатком преобразователей постоянного тока в постоянный (DC/DC) с ШИМ является значительные потери при включении и выключении в полупроводниковых устройствах, снижающие КПД преобразователя. Поэтому исследование влияния ШИМ на энергетическую эффективность работы преобразователя в составе солнечных электроустановок является актуальной задачей и требует научного подхода.

**Моделирование полупроводникового преобразователя фотоэлектрической установки.** Программная среда MATLAB является одной из наиболее известных программ для исследования силовых преобразователей, которая позволяет моделировать практически любую схему преобразователя, входящего в солнечную электростанцию, с любым алгоритмом модуляции. Для анализа потерь мощности в ключах полупроводниковых преобразователей фотоэлектрической установки в программе MATLAB с использованием блоков из библиотеки Simscare разработана имитационная компьютерная модель фотоэлектрической установки с ШИМ-регулированием.

Имитационная компьютерная модель, показанная на рисунке 4, содержит следующие блоки:

- фотоэлектрический модуль (PV array), преобразующий солнечное излучение в электрическую энергию. Электрические параметры PV модуля зависят от освещённости и температуры, которые задаются на его входах с помощью блоков Constant;

- блок МРРТ (Maximum Power Point Tracking), реализованный методом возмущения и наблюдения (Perturb and Observe), который измеряет ток и напряжение с выхода PV и вычисляет соответствующую точку максимальной мощности;
- блок ПИ-регулятора, обеспечивающий регулирование ключа IGBT-транзистора с нужной скважностью. Ошибка между текущим и опорным напряжением подается на ПИ-регулятор, выход которого управляет ШИМ;
- блок регулирования ШИМ, который формирует управляющий сигнал для IGBT-транзистора на основе выходного сигнала регулятора. Это позволяет эффективно регулировать передачу мощности от PV к нагрузке;
- блок расчета потерь мощности в преобразователе;
- комплект измерительных приборов, который измеряет напряжение и ток нагрузки.



**Рис. 4.** Имитационная компьютерная модель фотоэлектрической установки с ШИМ-регулированием

**Широтно-импульсная модуляция.** На рисунке 5 приведена модель блока формирования ШИМ и диаграммы ее работы. В нашем случае блок формирования ШИМ реализован с использованием генератора треугольного напряжения (ГТН) на интеграторе и компаратора, сравнивающего выходное напряжение ГТН  $U_{ГТН}$  с управляющим напряжением  $U_y$ , пропорциональным заданной величине управляющего сигнала [6].

При  $U_{ГТН} < U_y$  на выходе компаратора в течение времени  $t_v$  формируется напряжение высокого уровня (рис. 5б), поддерживающее ключевой элемент импульсного преобразователя в открытом состоянии. В оставшуюся часть периода  $T$  пилообразного напряжения  $t_{п} = T - t_v$  на выходе компаратора поддерживается напряжение низкого уровня, при котором ключевой элемент преобразователя находится в закрытом состоянии. Изменение управляющего напряжения осуществляет изменение скважности импульсного цикла  $\gamma = \frac{t_v}{T}$ , следовательно, происходит широтно-импульсное регулирование напряжения на нагрузке при постоянной частоте  $f = 1/T$ .

В этой модели для расчета потерь мощности в модулях IGBT-транзисторов выбран IGBT-транзистор типа CM600DX-24T1 фирмы MITSUBISHI с номинальным током 600 А, максимальным напряжением между коллектором и эмиттером  $U_{CE} = 1200$  В.

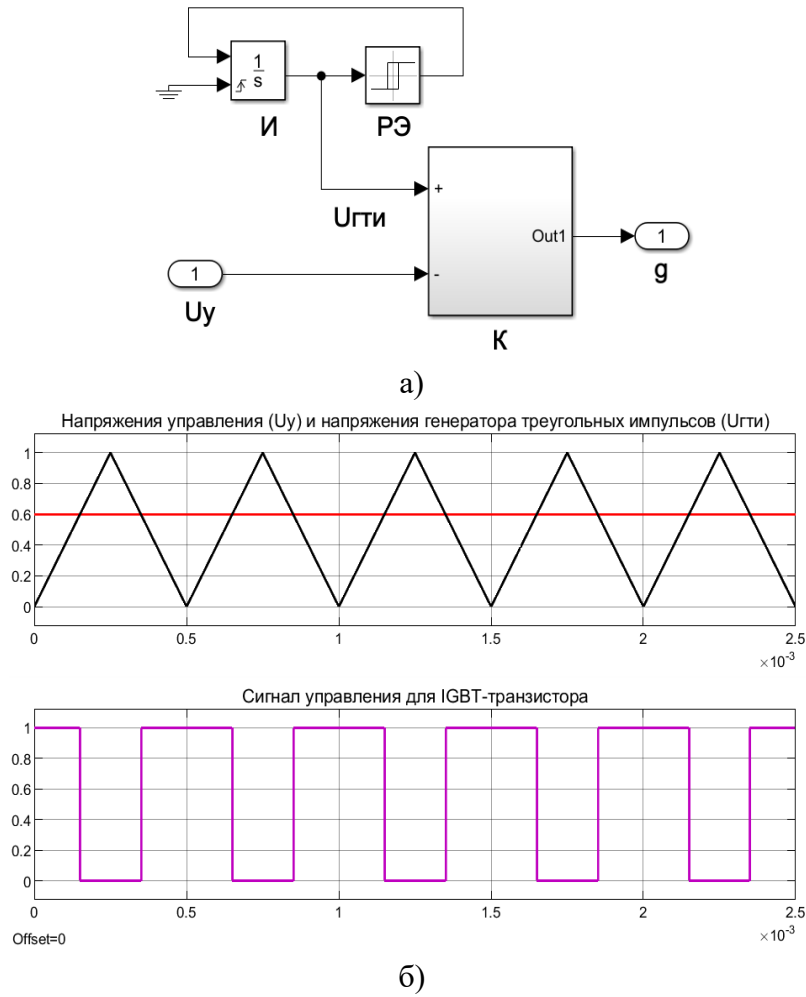


Рис. 5. Модель системы управления ШИМ (а) и диаграммы ее работы (б)

Определение статических и динамических потерь мощности в силовых ключах выполнено путем разработанной имитационной модели, которая подробно описана в работах [5-10]. Имитационные модели блоков расчета статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе типа CM600DX-24T1 приведены на рисунке 6.

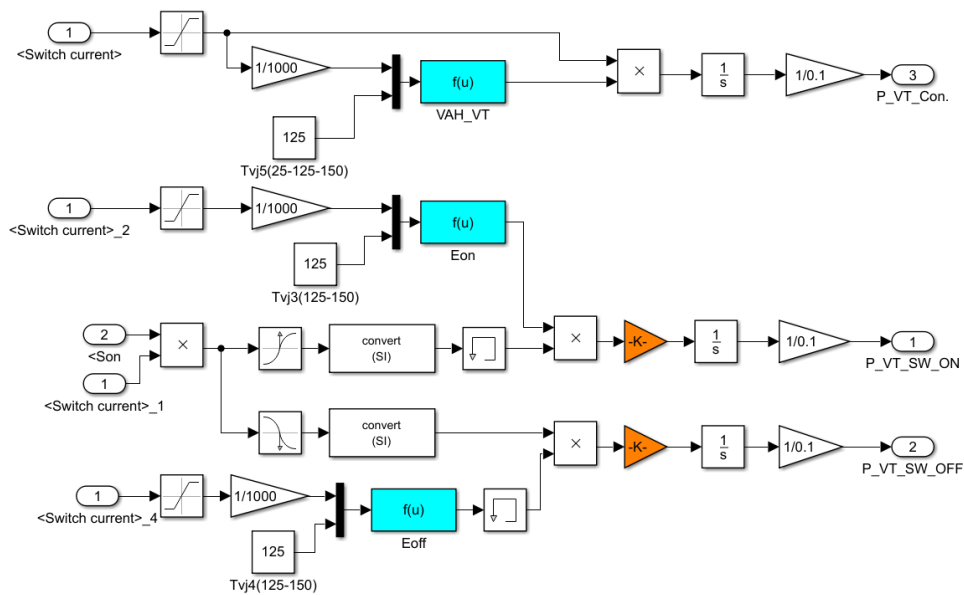
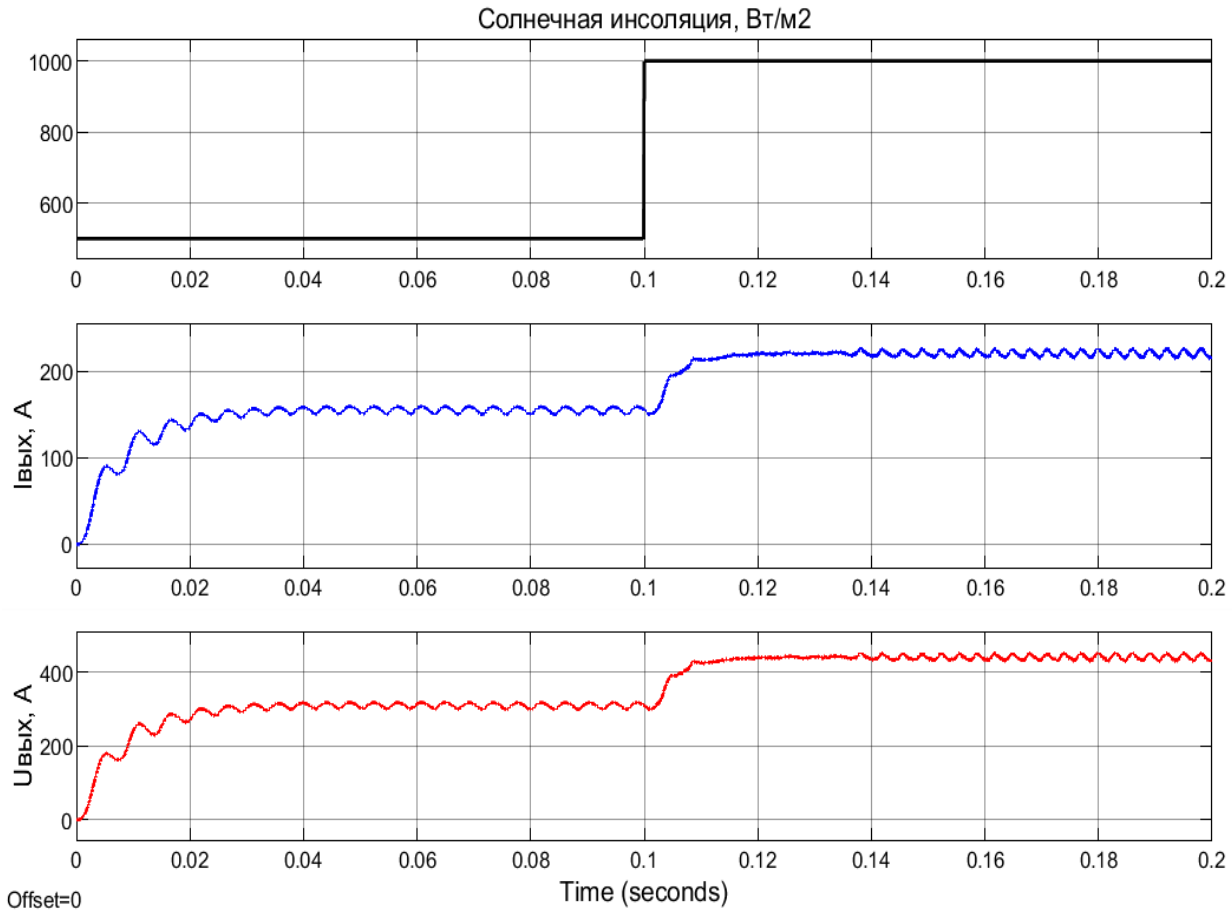


Рис. 6. Имитационные модели расчета статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе

Результаты моделирования зависимостей выходного тока и напряжения при ступенчатом изменении солнечной инсоляции при ШИМ-регулировании преобразователя приведены на рисунке 7 [8]. Первый график показывает изменение плотности солнечного излучения: на интервале до 0.1 секунды она остается на уровне 500 Вт/м<sup>2</sup>, после чего резко увеличивается до 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Второй график показывает изменение выходного тока при изменении уровня инсоляции. При увеличении солнечного излучения ток возрастает с уровня 150 А до уровня 220 А, что указывает на прямую зависимость генерируемого тока от уровня освещенности. На третьем графике представлена зависимость выходного напряжения. Аналогично току, напряжение также возрастает с ростом инсоляции с уровня 300 В до уровня, превышающего 400 В. Пульсация на графиках тока и напряжения свидетельствует о наличии высокочастотных колебаний, характерных для преобразовательных схем с ШИМ.



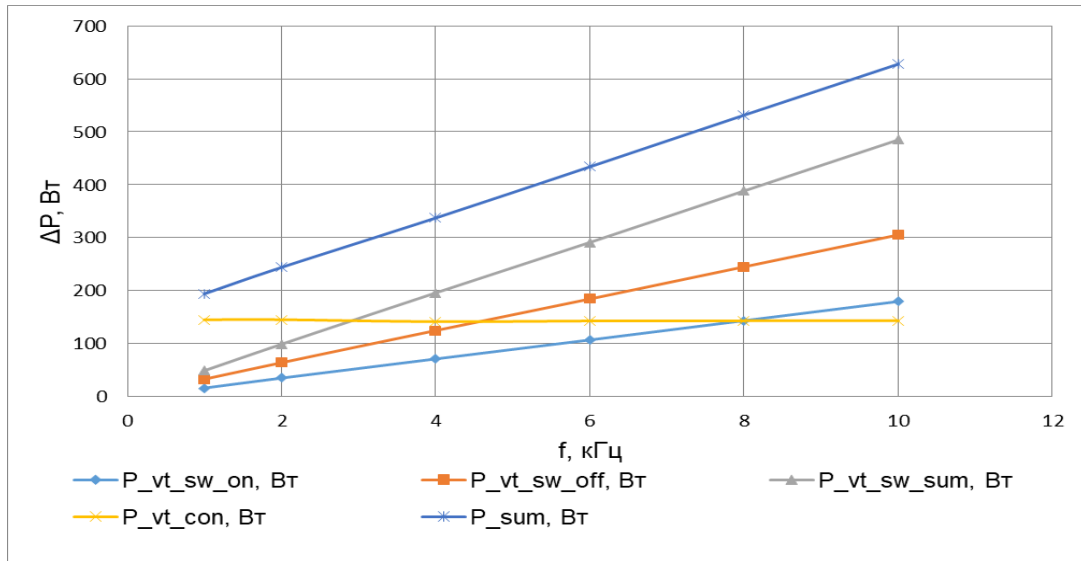
**Рис. 7.** Результаты моделирования зависимостей выходного тока и напряжения при ступенчатом изменении солнечной инсоляции

На рисунке 8 показаны графики статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе схемы преобразователя постоянного тока с широтно-импульсной модуляцией. Как видно, с увеличением частоты коммутации увеличиваются динамические потери мощности в ключе, а статические потери мощности не зависят от частоты коммутации. Увеличение динамических потерь приводит к уменьшению КПД преобразователя.

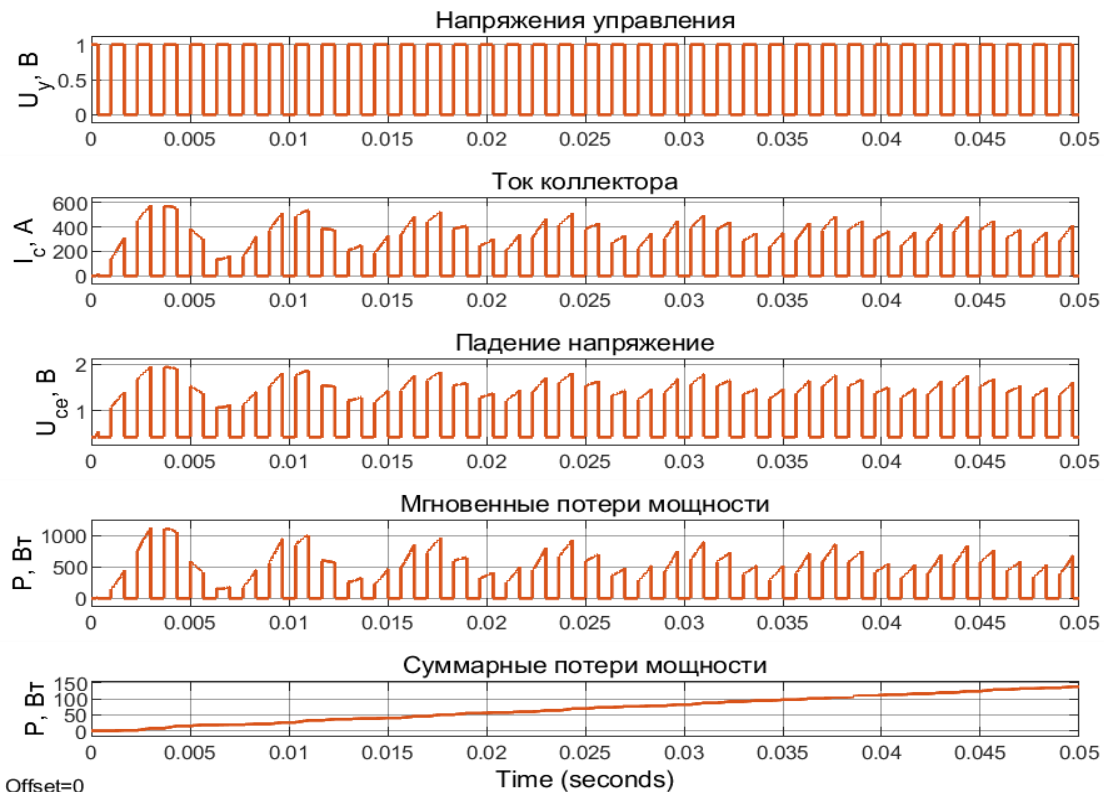
Результаты моделирования статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе приведены на рисунках 9 и 10. Входными сигналами для расчета потерь мощности в среде Matlab являются сигналы управления IGBT-транзистором и ток коллектора IGBT-транзистора. Результаты расчетов статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе преобразователя с ШИМ-регулированием приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Энергетические показатели полупроводникового преобразователя фотоэлектрических установок при различных частотах коммутации

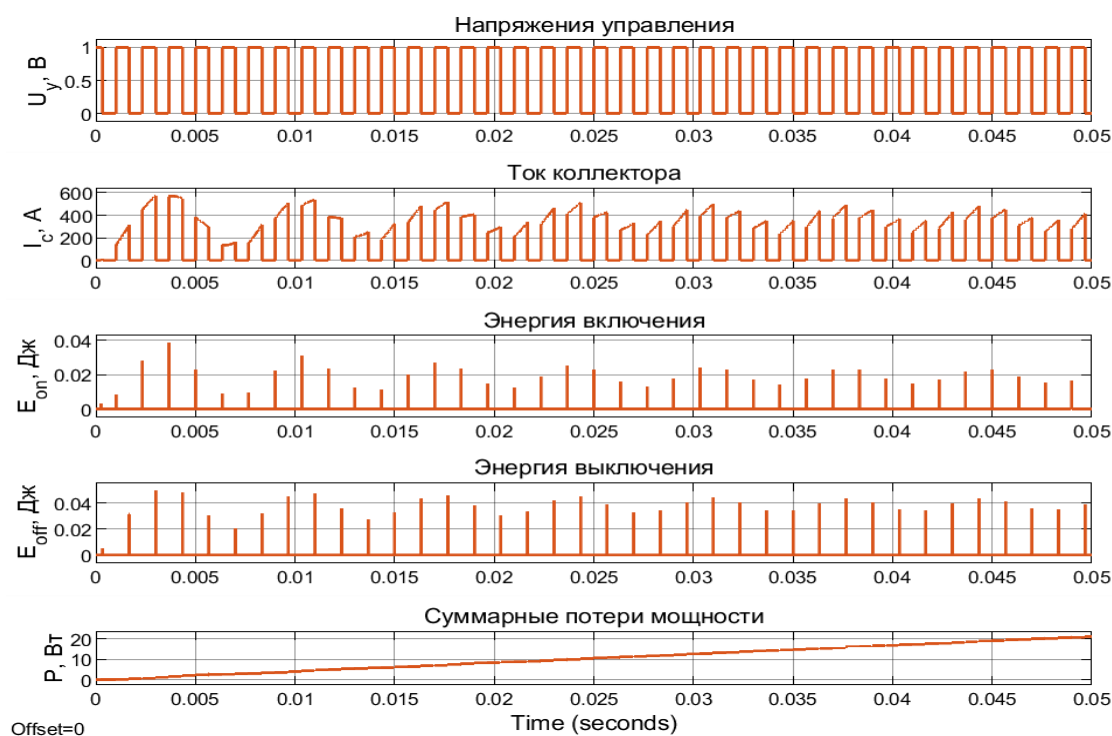
f, кГц	I <sub>ВЫХ</sub> , А	U <sub>ВЫХ</sub> , В	P <sub>vt_sw_on</sub> , Вт	P <sub>vt_sw_off</sub> , Вт	P <sub>vt_sw_sum</sub> , Вт	P <sub>vt_con</sub> , Вт	P <sub>sum</sub> , Вт
1	216,5	432,9	16,12	32,86	48,98	145,1	194,1
2	221,3	442,6	34,88	64,01	98,89	145,1	244
4	222,8	445,6	71,14	124,7	195,8	141,5	337,3
6	216,8	433,6	106,9	184,3	291,1	142,8	433,9
8	220,6	441,3	143,3	245	388,3	143,1	531,4
10	226,2	452,3	179,5	305,2	484,7	143,2	627,8



**Рис. 8.** Графики потерь мощности в силовых транзисторах в зависимости от частоты коммутации



**Рис. 9.** Результаты моделирования статических потерь мощности в IGBT-транзисторе



**Рис. 10.** Результаты моделирования динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе

**Заключение.** Исследование показало, что коэффициент полезного действия (КПД) полупроводниковых преобразователей фотоэлектрических установок зависит от статических и динамических потерь мощности, которые возникают в ключах. Динамические потери (таблица 1) в полупроводниковых ключах преобразователей прямо пропорциональны частоте коммутации: чем выше частота коммутации, тем больше динамические потери. Для уменьшения динамических потерь и увеличения КПД полупроводникового преобразователя фотоэлектрических установок необходимо исследовать новый метод управления, который основывается на применении частотно-импульсной модуляции (ЧИМ). Дальнейшее исследование будет направлено на разработку структурных, математических и имитационных моделей, а также реализацию ЧИМ в полупроводниковых преобразователях для фотоэлектрических установок.

#### Список источников

1. Fidje A., Martinsen T. Effects of climate change on the utilization of solar cells in the Nordic region. European Conference on Impacts of Climate on Renewable Energy Sources, 2006, pp. 1-4.
2. Kocalmis Bilhan A., Caliskan A., Unal S. Simulation of photovoltaic panels by using Matlab/simulink. ECAI International Conference, 2016, pp. 1-5, DOI:10.1109/ECAI.2016.7861124.
3. Bharathy Priya D., Sumathi A. Modeling and simulation of solar PV energy conversion systems. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2019, vol. 8, no. 6S3, pp. 1026-1031, DOI:10.35940/ijeat.F1216.0986S319.
4. Kumar N., Hussain I., Singh B., Panigrahi B.K. Normal harmonic search algorithm-based MPPT for solar PV system and integrated with grid using reduced sensor approach and PNKLMS algorithm. IEEE Transactions on Industry Applications, 2018, vol. 54, no. 6, pp. 6343-6352, DOI: 10.1109/TIA.2018.2853744.
5. Suryoatmojo H. et al. Design of MPPT based fuzzy logic for solar-powered unmanned aerial vehicle application. In: ICEAST 2018 - 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology: Exploring Innovative Solutions for Smart Society, 2018, DOI:10.1109/ICEAST.2018.8434430.
6. Дунаев М.П. Сравнение энергоэффективности схем автономных инверторов напряжения с синусоидальной широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляцией / М.П. Дунаев, С.У. Довудов // Электротехнические системы и комплексы, 2021. – № 4(53). – С. 50-55. – DOI:10.18503/2311-8318-2021-4(53)-50-55.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665863 Российская Федерация. Программа для расчета потерь в преобразователе частоты : № 2021665177: заявл. 01.10.2021:

опубл. 04.10.2021 / А. М. Дунаев, С. У. Довудов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский национальный исследовательский технический университет".

8. Dovudov S., Dunaev M., Zhiravetska A. et al. Improving energy indicators of pulse converters. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2025, vol. 37, no. 3, p. 1442, DOI: 10.11591/ijeecs.v37.i3.pp1442-1451.
9. Al-Rawashdeh A.Y., Dunayev M.P., Alzyoud Kh.Y. et al. Calculation of power losses in a frequency inverter. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2024, vol. 15, no. 3, p. 1331, DOI: 10.11591/ijpeds.v15.i3.pp1331-1338.
10. Довудов С.У. Анализ эффективности автономных инверторов напряжения в фотоэлектрических установках / С.У. Довудов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, 2025. – № 2(70). – С. 21-32.

*Довудов Сарфароз Умедович. Ассистент, Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими. AuthorID: 909554, SPIN: 3114-9592, ORCID:0000-0001-5600-4615, sarfarozdovudov@gmail.com, 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых 10, Таджикистан.*

*Дунаев Михаил Павлович. Доктор технических наук, профессор, профессор Иркутского национального исследовательского технического университета. AuthorID: 315898, SPIN: 1459-8239, ORCID:0000-0002-1523-5553, mdunaev10@mail.ru, 664074, Иркутская обл., Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия.*

*Султонзода Шерхон Муртазо. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрические станции, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. AuthorID: 909760, SPIN: 6856-3537, ORCID: 0000-0003-2322-5272, sultonzoa.sh@mail.ru, 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых 10, Таджикистан.*

*Хакимова Манижа Абдусеитовна. Ассистент, Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана. SPIN: 7445-7568, ORCID: 0009-0008-1909-5368, manizhahakimova@bk.ru, 734042, г. Душанбе, ул. Борбад 48/5, Таджикистан.*

UDC 621.47 621.314

DOI:10.25729/ESI.2026.42.2.011

## Analysis of power losses in semiconductor converters for photovoltaic installations

Sarfarozi U. Dovudov<sup>1</sup>, Mikhail P. Dunaev<sup>2</sup>, Sherkhon M. Sultonzada<sup>1</sup>, Manija A. Hakimova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi, Tajikistan, Dushanbe, sarfarozdovudov@gmail.com

<sup>2</sup>National Research Irkutsk State Technical University, Russia, Irkutsk

<sup>3</sup>International University of Tourism and Entrepreneurship, Tajikistan, Dushanbe

**Abstract.** This article presents an analysis of the energy efficiency of semiconductor direct current converters (DC/DC converters) used in photovoltaic installations. The study of power losses in the switches of a boost converter with pulse-width modulation (PWM) was carried out using a simulation computer model developed in the MATLAB environment with blocks from Simscape. The results of the simulation modeling of the graphs showing the dependence of output current and voltage on step changes in solar irradiance are presented. It has been established that with an increase in solar irradiance, the current and voltage increase, indicating a direct dependence of the generated current and voltage on the level of illumination. The developed model allows the determination of static and dynamic power losses in power semiconductor switches depending on the switching frequency. The analysis of the study showed that the DC-to-DC semiconductor converter with PWM control experiences significant losses during the switching on and off of semiconductor switches, which leads to a reduction in the efficiency of the converter. To reduce dynamic losses and increase the efficiency of the semiconductor converter, it is necessary to investigate a new control method based on the application of frequency-pulse modulation (FPM).

**Keywords:** semiconductor converter, photovoltaic system, pulse-width modulation, energy efficiency, power losses

## References

1. Fidje A., Martinsen T. Effects of climate change on the utilization of solar cells in the Nordic region. European Conference on Impacts of Climate on Renewable Energy Sources, 2006, pp. 1-4.
2. Kocalmis Bilhan A., Caliskan A., Unal S. Simulation of photovoltaic panels by using Matlab/simulink. ECAI International Conference, 2016, pp. 1-5, DOI:10.1109/ECAI.2016.7861124.
3. Bharathy Priya D., Sumathi A. Modeling and simulation of solar PV energy conversion systems. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2019, vol. 8, no. 6S3, pp. 1026-1031, DOI:10.35940/ijeat.F1216.0986S319.
4. Kumar N., Hussain I., Singh B., Panigrahi B.K. Normal harmonic search algorithm-based MPPT for solar PV system and integrated with grid using reduced sensor approach and PNKLMs algorithm. IEEE Transactions on Industry Applications, 2018, vol. 54, no. 6, pp. 6343-6352, DOI: 10.1109/TIA.2018.2853744.
5. Suryoatmojo H. et al. Design of MPPT based fuzzy logic for solar-powered unmanned aerial vehicle application. In: ICEAST 2018 - 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology: Exploring Innovative Solutions for Smart Society, 2018, DOI:10.1109/ICEAST.2018.8434430.
6. Dunaev M.P., Dovudov S.U. Sravneniye energoeffektivnosti skhem avtonomnykh inverterov napryazheniya s sinusoidal'noy shirotno-impul'snoy i chastotno-impul'snoy modulyatsiyey [Comparison of energy efficiency of standalone voltage inverter circuits with sinusoidal pulse-width modulation and frequency-pulse modulation]. Elektrotekhnicheskiye sistemy i komplekсы [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 4(53), pp. 50-55, 10.18503/2311-8318-2021-4(53)-50-55.
7. Dunaev A.M., Dovudov S.U. Programma dlya rascheta poter' v preobrazovatele chastoty [Program for calculating losses in a frequency converter]. State registration certificate of computer program No. 2021665863 Russian Federation: No. 2021665177: appl. 10.01.2021: publ. 10.04.2021; applicant Irkutsk National Research Technical University.
8. Dovudov S., Dunaev M., Zhiravetska A. et al. Improving energy indicators of pulse converters. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2025, vol. 37, no. 3, p. 1442, DOI: 10.11591/ijeecs.v37.i3.pp1442-1451.
9. Al-Rawashdeh A.Y., Dunayev M.P., Alzyoud Kh.Y. et al. Calculation of power losses in a frequency inverter. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2024, vol. 15, no. 3, p. 1331, DOI: 10.11591/ijpeds.v15.i3.pp1331-1338.
10. Dovudov S.U. Analiz effektivnosti avtonomnykh inverterov napryazheniya v fotoelektricheskikh ustanovkakh [Efficiency analysis of standalone voltage inverters in photovoltaic installations]. Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research], 2025, no. 2(70), pp. 21-32.

**Dovudov Sarfaroz Umedovich.** Assistant, Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi. AuthorID: 909554, SPIN: 3114-9592, ORCID: 0000-0001-5600-4615, sarfarozdovudov@gmail.com, 734042, Dushanbe, Academics Rajabov Street 10, Tajikistan.

**Dunaev Mikhail Pavlovich.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at Irkutsk National Research Technical University, AuthorID: 315898, SPIN: 1459-8239, ORCID: 0000-0002-1523-5553, mdunaev10@mail.ru, 664074, Irkutsk Region, Irkutsk, Lermontova Street 83, Russia.

**Sultonzoada Sherkhon Murtazo.** Candidate of Technical Sciences, Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi, AuthorID: 909760, SPIN: 6856-3537, ORCID: 0000-0003-2322-5272; 734042, Dushanbe, Academics Rajabov Street 10, Tajikistan.

**Hakimova Manija Abduvoseevna.** Assistant, International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, SPIN: 7445-7568, ORCID: 0009-0008-1909-5368, manizhahakimova@bk.ru, 734042, Dushanbe, Borbad Street 48/5, Tajikistan.

Статья поступила в редакцию 09.11.2025; одобрена после рецензирования 10.03.2026; принята к публикации 17.05.2026.

The article was submitted 11/09/2025; approved after reviewing 03/10/2026; accepted for publication 05/17/2026.