

## СИСТЕМА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В СМЕШАННЫХ СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**П.В. Тихонов, А.О. Сычев, К.С. Моренко**

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия*

В статье рассмотрена работа системы светодиодного освещения с параллельным питанием от фотоэлектрических модулей и электросети. Представлена схема разработанной системы светодиодного освещения, на основе которой был собран рабочий образец системы светодиодного освещения с одним светильником мощностью 36 Вт. Проведены экспериментальные исследования представленной системы светодиодного освещения с применением разработанной системы мониторинга. Часть полученных экспериментальных данных представлена в данной работе. Рабочий образец на практике продемонстрировал эффективность и надежность работы предложенной схемы. Показан рабочий альтернативный вариант эффективного подключения фотоэлектрических модулей к нагрузке с применением недорогих распространенных преобразователей.

*Ключевые слова:* фотоэлектрический модуль, система светодиодного освещения, смешанные сети постоянного и переменного тока, электросеть общего назначения, повышающий преобразователь, система мониторинга.

### Введение

Одним из перспективных альтернативных энергетических ресурсов по праву считается энергия солнечного излучения. Именно этому виду возобновляемых источников энергии (ВИЭ) уделяется большое внимание во всем мире [1–3], темпы роста в этой отрасли составляют десятки ГВт в год [1, 2]. В основном это касается фотоэлектрического преобразования. Электроэнергия, вырабатываемая от фотоэлектрических модулей (ФЭМ), уже сегодня конкурентоспособна с электроэнергией, генерируемой установками на ископаемых видах топлива [1]. Сфера использования фотоэлектрических преобразователей непрерывно растет. Однако остаются еще проблемы, препятствующие их массовому внедрению. Среди сдерживающих факторов отметим в первую очередь существенные капитальные вложения, необходимость применения аккумуляторных устройств для обеспечения гарантированного электроснабжения в периоды дефицита энергии, необходимость дополнительных преобразований электрической энергии и, соответственно, применения преобразователей, техническую сложность ряда применяемых устройств, в том числе предназначенных для систем на основе сетей smart grid и др. [4–6].

Капитальные затраты во многом связаны с определенной дороговизной технологии, необходимостью применения сложного и дорогостоящего сопутствующего оборудования (устройства отбора мощности, инверторы, аккумуляторные батареи). Поэтому необходим поиск технических решений, призванных упростить и удешевить существующие технологии. Непостоянство солнечного излучения накладывает свои особенности, которые зачастую требуют применения различного рода аккумуляторных систем [7, 8]. В системах не-

большой мощности главным образом применяются электрохимические аккумуляторные батареи. Однако на сегодняшний день себестоимость аккумуляирования энергии в таких батареях настолько велика [9, 10], что с экономической точки зрения целесообразность их применения видится только в автономных системах или системах, требующих гарантированного резервного питания.

Преобладание сетей переменного тока в распределительных сетях также является одной из основных проблем, препятствующих развитию фотоэлектрических систем (ФЭС), поскольку модули вырабатывают постоянный ток, который требует дальнейших преобразований в переменный. Но стоит отметить, что значительная часть современных бытовых устройств, офисной техники и прочего электрооборудования, будучи рассчитанной на питание от сети переменного тока, содержит в себе преобразователи напряжения с выпрямителями на входе; таким образом, по сути, эти устройства работают от постоянного тока [11–13]. Кроме того, существуют устройства, которые без существенных изменений могут быть переведены на работу от постоянного тока, например, устройства с коллекторными двигателями и резистивными нагревательными элементами. Технически все эти устройства способны работать напрямую от сети постоянного тока, но производители такой возможности не закладывают или не заявляют о ней, и для изменения этой ситуации нужно проделать существенную работу. Таким образом, с развитием возобновляемой энергетики становится особенно перспективным развитие сетей постоянного тока, через которые потребители могли без лишних преобразований и потерь использовать электроэнергию от фотоэлектрических модулей [14, 15]. Важно, что с технической точки зрения

## Альтернативные источники энергии

это не потребует существенного усложнения устройств и, соответственно, их удорожания. С учетом описанных выше обстоятельств очевидным становится то, что для широкого внедрения ФЭС необходимо развитие сетей постоянного тока [16–20] и смешанных сетей [21–23], которое должно происходить одновременно с распространением потребительской техники с заложенной возможностью работы от сетей постоянного тока, что в конечном итоге приведет к упрощению систем и минимизации аккумулирующих емкостей. На основе изложенной концепции была разработана система освещения на светодиодных светильниках с параллельным электроснабжением от фотоэлектрических преобразователей и электросети общего назначения [15]. В работе проанализированы различные схемы работы предложенной системы с присущими им особенностями. На дальнейших этапах исследований предполагается реализовать некоторые из предложенных схем в реальной установке и провести ряд натурно-исследовательских работ с целью определения особенностей их функционирования.

### Методы и материалы

Одна из наиболее универсальных схем среди предложенных в работе [15] представлена на рис. 1. На ее основе была разработана и изготовлена фотоэлектрическая система светодиодного освещения.

Питание светодиодного источника света осуществляется от ФЭМ через повышающий преобразователь (DC-DC) в те периоды, когда это позволяет приходящий поток солнечной энергии. В ситуациях, когда приход солнечного излучения (СИ) снижается и выработка ФЭМ падает, недостаток фотоэлектрической энергии будет компенсироваться с помощью сетевого преобразователя (AC/DC), подключенного к электрической сети общего назначения.

Использование в данной схеме повышающих и понижающих преобразователей со стабилизаторами напряжения и тока позволяет согласовывать

устройства с различным уровнем напряжения и тока на выходе, что существенно расширяет возможности по использованию различных генерирующих устройств и нагрузок. Стабилизатор напряжения (DC-DC) на выходе из ФЭМ работает в широком диапазоне входного напряжения и должен повысить отбор мощности от фотопреобразователей в сравнении с прямым подключением ФЭМ (при согласованном напряжении) к светодиодной нагрузке, а стабилизатор тока (Стаб. I на рис. 1) на входе светильника обеспечивает защиту светодиодов по току. Диоды в схеме служат для защиты от перетоков мощности между генерирующими устройствами в различных режимах работы.

На основе общей схемы системы светодиодного освещения (см. рис. 1) была разработана принципиальная электрическая схема с преобразователями напряжения UV1, с электросетевым преобразователем AG1, со стабилизатором тока UI1, с необходимым дополнительным оборудованием и датчиками (рис. 2). В схеме использовались параллельное подключение светодиодных линеек. Это связано с тем, что рабочее напряжение отдельных линеек (35 В) лишь немного ниже максимального напряжения большинства распространенных повышающих преобразователей (36...40 В). В случае развития и широкого распространения такого рода систем желательно будет использовать по возможности более высокое напряжение с целью снижения потерь. Напряжение предполагается сделать соответствующим рабочему напряжению четырех последовательно включенных линеек (140 В), но вполне вероятно применение и другого напряжения, соответствующего напряжению микросетей, в которых данная система будет функционировать [24–26].

В целях реализации разрабатываемой системы по предложенной схеме был проведен поиск необходимого оборудования. В табл. 1 представлен перечень подобранного оборудования и краткая информация о нем.

Исследование работы разработанной системы светодиодного освещения требует применения

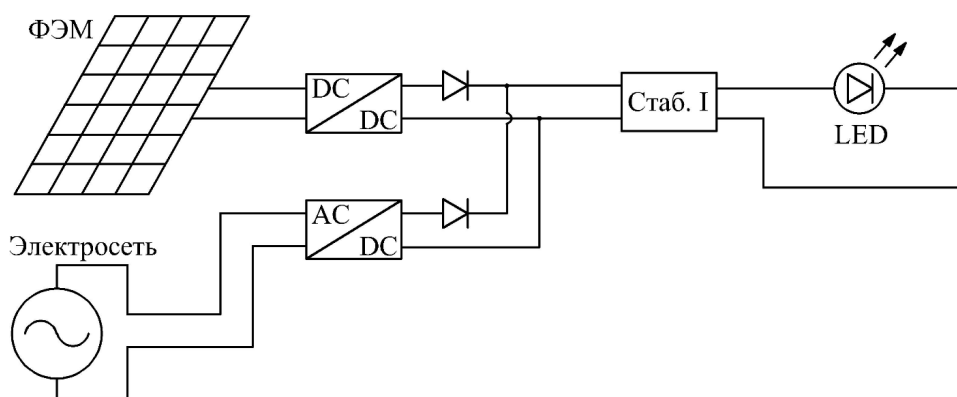


Рис. 1. Схема электрическая общая системы освещения с электропитанием от смешанных сетей и применением повышающего-понижающего преобразователя

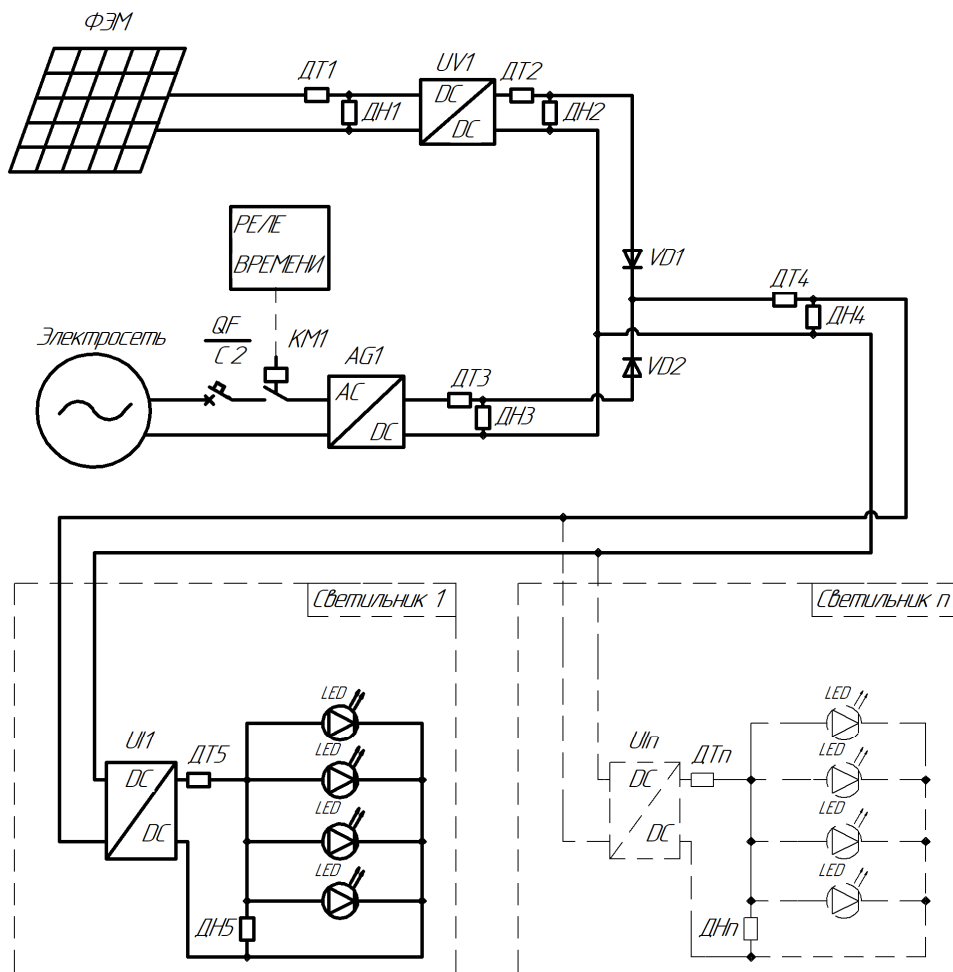


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная системы освещения с параллельным питанием от фотоэлектрических модулей и электросети

Таблица 1

Основные характеристики оборудования системы освещения с параллельным питанием от фотоэлектрических модулей и электросети

№	Наименование оборудования	Характеристики оборудования
1	Автоматический выключатель	Номинальный ток: 2 А Характеристика: С
2	Диоды Шоттки 90SQ045	Напряжение: 45В Ток: 9А
3	Светодиодная линейка LEDPREMIUM 35В 300мА	Напряжение: 28–35 В Ток: 300 мА
4	Стабилизатор тока (понижающий преобразователь) QSKJ QS-2405CCBD	Напряжение на входе: 7–40 В Напряжение на выходе: 1,2–35 В Ток: 0–8А
5	Повышающий преобразователь QSKJ QS-1224CCBD-150W	Напряжение на входе: 10–35 В Напряжение на выходе: 12–35 В Ток: 0–10А
6	Сетевой преобразователь XD-DC 2425	Напряжение на входе: 230 В Напряжение на выходе: 35 В Ток: 0–7А

специализированного устройства для мониторинга постоянно меняющихся параметров. Поэтому на базе платы Arduino Mega было разработано автономное устройство сбора параметров гелиоустано-

вок (рис. 3). Разработанное устройство мониторинга позволяет получать основную информацию о работе системы светодиодного освещения в динамике по параметрам тока, напряжения и прихода

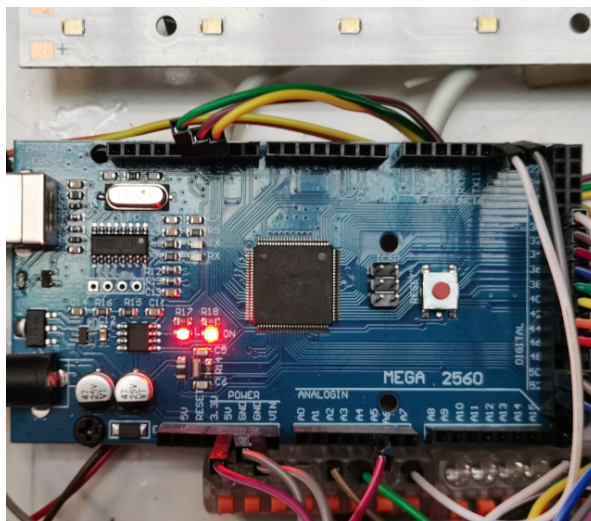


Рис. 3. Основная плата автономной системы сбора параметров разработанной системы освещения

Таблица 2

Основные технические характеристики применяемых приборов

Основные параметры	Диапазон	Точность
Постоянное напряжение мультиметра UT61E	0...220 мВ	$\pm(0,1 \% + 5)$
	0...220 В	$\pm(0,1 \% + 2)$
Постоянный ток мультиметра UT61E	220...2200 мА	$\pm(0,5 \% + 10)$
Датчик напряжения на микросхеме INA226	0...36 В	$\pm 0,1 \%$

солнечной радиации. Полученная основная информация обрабатывается и сохраняется на специальном внешнем носителе.

Автономная система сбора параметров гелиоустановок включает в себя:

- основная плата с микроконтроллером;
- цифровой семисегментный индикатор – служит для визуального контроля за рядом текущих параметров работы системы;
- мембранная клавиатура – служит для переключения режимов сбора данных и смены отображаемой на индикаторе информации о режимах работы;
- часы реального времени – предоставляют точное время для регистрации в журнале данных;
- модуль записи/чтения карты памяти – осуществляет запись журнала на карту памяти;
- датчики тока и напряжения INA226 – осуществляют измерение и оцифровку значений электрических параметров работы системы;
- источник резервного питания на основе литий-ионного аккумулятора – обеспечивает бесперебойность работы системы сбора параметров.

Основной интервал регистрации данных в журнале – 1 с.

Для измерения параметров сети в схеме (см. рис. 2) предусмотрены датчики тока (ДТ) и датчики напряжения (ДН). Датчики ДТ1, ДН1 обеспечивают измерение рабочих параметров ФЭМ, датчики ДТ2, ДН2 обеспечивают измерения после

DC-DC преобразователя ФЭМ, ДТ3, ДН3 – после сетевого преобразователя AC-DC, а датчики ДТ4, ДТ5, ДН4, ДН5 – до и после стабилизатора тока на светодиодной нагрузке. В качестве датчиков тока и напряжения используются сборки на основе микросхемы INA226 (табл. 2). Поскольку датчик тока (микросхема INA226) использует внешний шунтирующий элемент, то после его установки была произведена их токовая калибровка с помощью мультиметра UNI-T модель UT61E, технические характеристики прибора приведены в табл. 2.

### Результаты

Разработанная система светодиодного освещения, работающая в смешанных сетях постоянного и переменного тока от ФЭМ и электросети, прошла ряд натурных исследований на территории ФГБНУ НАЦ ВИМ (рис. 4). Поскольку система построена по модульному принципу, для экспериментов была реализована минимальная по мощности система, состоящая из одного стандартного светильника мощностью 36 Вт, номинальная мощность ФЭМ составляла 65 Вт.

Система показала свою работоспособность, работая в дневное время и в рабочие дни в течение одного месяца. Некоторые данные по работе системы в период проведенных экспериментальных исследований представлены на рис. 5–7. Модуль был ориентирован на юг и установлен под углом  $45^\circ$  к горизонту.

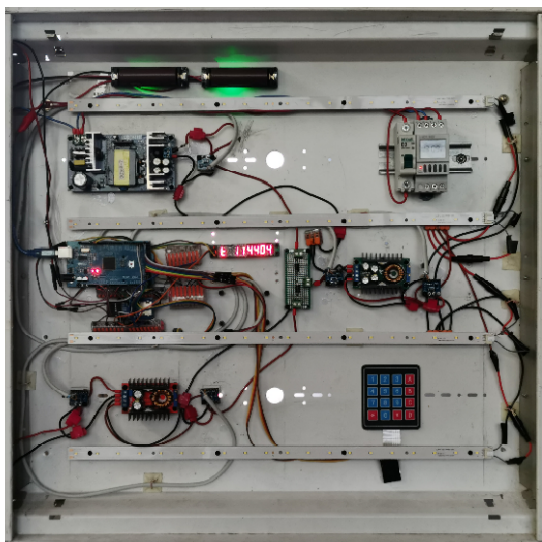


Рис. 4. Фотографии элементов опытного образца системы светодиодного освещения

Для наглядности демонстрации работы системы при различных интенсивностях приходящего СИ в статье приводятся показатели работы системы в один из дней с переменной облачностью. По этим данным можно оценить работу системы как в ясную погоду, так и в условиях облачности (см. рис. 5–7).

Как отмечалось выше, поток мощности от ФЭМ и от сетевого блока питания регулируется за счет уровня напряжения на этих источниках. Рабочие показатели напряжения на элементах системы в один из дней натурных исследований представлены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, как меняются напряжения при колебаниях в выработке электроэнергии фотоэлектрическим модулем. Несмотря на снижение напряжения на выходе преобразователя ФЭМ ниже напряжения на выходе сетевого преобразователя в условиях снижения интенсивности СИ, мощность от ФЭМ продолжает поступать на светоди-

одные линейки, что можно видеть из графика на рис. 6. Это объясняется тем, что в зависимости от протекающего тока изменяется падение напряжения на диодах Шоттки VD1 и VD2 (см. рис. 2). Таким образом, при одном напряжении в точке после диодов устанавливаются несколько различных напряжений перед диодами, и величина отклонения зависит от текущего соотношения мощностей, поступающих на светильник от сети и от ФЭМ.

Рассмотрим подробнее показатели мощности системы (см. рис. 6). Как видно, в любом интервале времени, в том числе при низком уровне прихода СИ, вся вырабатываемая ФЭМ энергия расходуется на светильнике (не считая потерь на преобразования), а ее недостаток компенсируется сетевой энергией через блок питания. При этом от электросети потребляется именно такое количество энергии, какое необходимо для компенсации недостающей мощности для работы системы

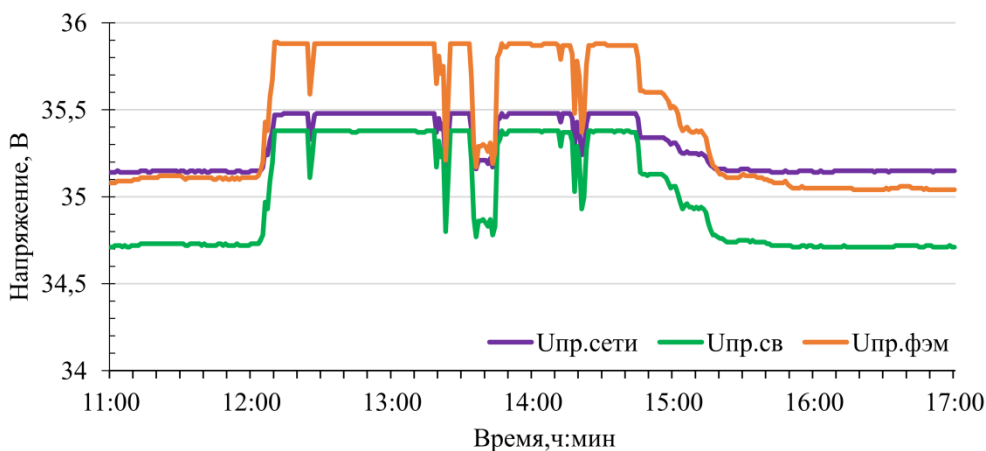
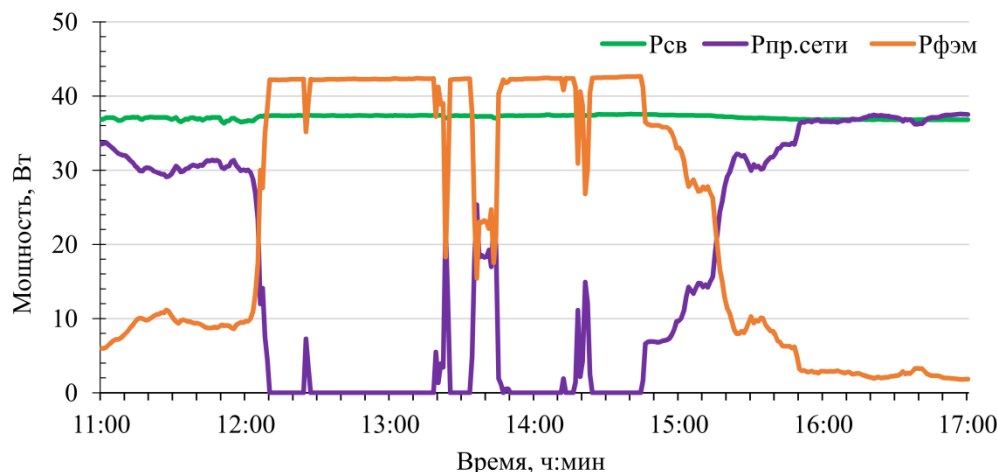
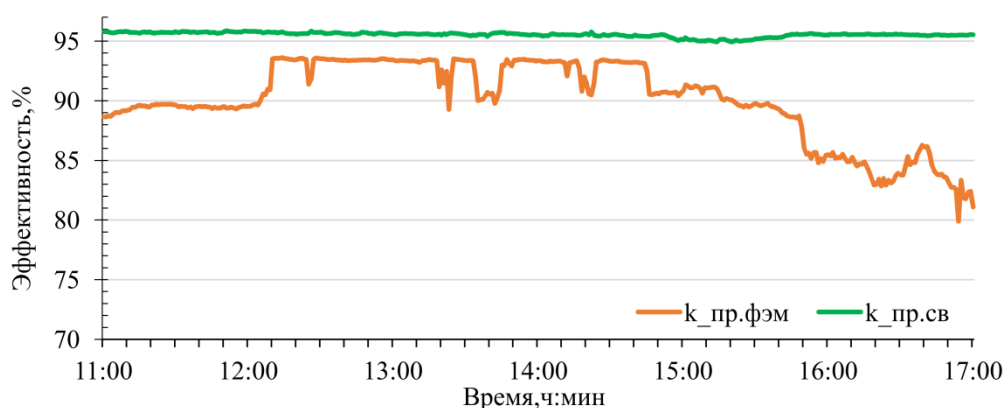


Рис. 5. Показатели напряжения на элементах системы светодиодного освещения: Упр.сети – напряжение на выходе сетевого преобразователя; Упр.св – напряжение на входе преобразователя (стабилизатора тока) светодиодных линеек; Упр.фэм – напряжение на выходе преобразователя ФЭМ





**Рис. 6.** Показатели мощности элементов системы освещения:  $P_{св}$  – мощность светильника;  $P_{фэм}$  – мощность на входе преобразователя ФЭМ;  $P_{пр.сети}$  – мощность на выходе сетевого преобразователя



**Рис. 7.** Показатели эффективности преобразователей:  $k_{пр.св}$  – эффективность преобразователя-стабилизатора тока светильника;  $k_{пр.фэм}$  – эффективность повышающего преобразователя ФЭМ

освещения в номинальном режиме. Мощность, получаемая светодиодной линейкой, составляет 36–37 Вт и поддерживается относительно неизменной, что и требуется.

Также из рис. 6 видно, что при максимальной выработке ФЭМ в периоды высокой интенсивности солнечного излучения мощность, отводимая от модуля, постоянна и составляет примерно 42 Вт, что существенно меньше номинальной мощности ФЭМ, равной 65 Вт. То есть ФЭМ при высоких значениях интенсивности солнечного излучения работает не в оптимальных режимах вследствие неверно выбранной номинальной мощности ФЭМ. Соответственно, в разработанной системе мощность ФЭМ необходимо подбирать с учетом мощности нагрузки и потерь энергии на преобразование и передачу от источника до нагрузки. Тогда при высокой интенсивности СИ потенциал фотоэлектрической панели будет использоваться максимально эффективно.

В условиях облачности, с одной стороны, снижается приход СИ, с другой стороны, падает

эффективность работы повышающего преобразователя, отбирающего мощность от ФЭМ (рис. 7).

На основании полученных данных можно также сделать вывод, что стандартный повышающий преобразователь работает совместно с ФЭМ с достаточно высокой эффективностью. В целом, при достаточном приходе солнечного излучения эффективность преобразования достигает примерно 93 %. И только при существенном снижении интенсивности СИ эффективность преобразования оказывается ниже 85 %, при этом мощность, вырабатываемая ФЭМ, составляет меньше 5 % от общей (см. рис. 7).

Ввиду отмеченных выше особенностей остается открытым вопрос, требуется ли усовершенствование преобразователя на выходе ФЭМ для увеличения эффективности его работы при низкой интенсивности солнечного излучения. Подобная доработка, возможно, не будет оправдана, поскольку преобразуемая электрическая мощность в такие периоды существенно ниже в сравнении с номинальным режимом работы (см. рис. 6 и 7).

### Выводы

При поиске возможностей снижения стоимости ФЭС была разработана простая и надежная система освещения, реализующая концепцию прямого подключения потребителей постоянного тока к сетям электроснабжения постоянного тока от ФЭМ с использованием электросети переменного тока общего назначения, образуя смешанные сети. Электросеть переменного тока в данной системе позволила отойти от привычных схем с инвертором и емкостными накопителями и существенно упростить саму систему, что, в свою очередь, положительным образом сказалось на надежности и себестоимости. Предложенная несложная схема позволила создать систему освещения с параллельным электропитанием и с саморегуляцией потоков энергии. При этом нет необходимости контролировать процесс, производить какие-либо переключения в цепи, запасать энергию в аккумуляторные батареи или суперконденсаторы, как это происходит в более традиционных схемах.

Ряд проведенных экспериментальных исследований позволил на практике оценить работу

системы и выявить влияние некоторых факторов на работу системы в целом. На практике система светодиодного освещения показала свою работоспособность и, что особенно важно, эффективность работы фотоэлектрических модулей в смешанных сетях постоянного и переменного тока с нагрузкой постоянного тока.

Несмотря на существенное снижение цен на ФЭП за последние десятилетия, фотоэлектрическим технологиям необходимы разработки по повышению эффективности и снижению стоимости систем на их основе. В этой связи разработанная технология прямого использования солнечной энергии для питания потребителей постоянного тока с параллельной работой в смешанных электросетях позволяет сделать определенный шаг к снижению себестоимости вырабатываемой энергии и повышению надежности электроснабжения, что делает нас на шаг ближе к повсеместному использованию солнечной энергии с применением фотоэлектрических преобразователей.

### Литература/References

1. Schmela M., Hemetsberger W., Chianetta G. *Global Market Outlook for Solar Power 2021–2025*. Belgium, Brussels, SolarPower Europe, 2021. 136 p.
2. Mastny L., Brumer L. *Renewables 2021 Global Status Report*. France, Paris, REN21, 2021. 371 p.
3. Burger B., Lorenz Friedrich L., Kost Ch. et al. *Photovoltaics Report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, 2021. 51 p.
4. Chakraborty A. Advancements in Power Electronics and Drives in Interface with Growing Renewable Energy Resources. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2011, vol. 15 (4), pp. 1816–1827. DOI: 10.1016/j.rser.2010.12.005
5. Fang X, Misra S., Xue G.L., Yang D.J. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2012, vol. 14 (4), pp. 944–980. DOI: 10.1109/SURV.2011.101911.00087
6. Hirsch A., Parag Y., Guerrero J. Microgrids: A Review of Technologies, Key Drivers, and Outstanding Issues. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 90, pp. 402–411. DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.040
7. Gur T.M. Review of Electrical Energy Storage Technologies, Materials and Systems: Challenges and Prospects for Large-Scale Grid Storage. *Energy & Environmental Science*, 2018, vol. 11, pp. 2696–2767. DOI: 10.1039/c8ee01419a
8. Dunn B., Kamath H., Tarascon J.M. Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science*, 2011, vol. 334, pp. 928–935. DOI: 10.1126/science.1212741
9. Yin W.W., Fu Z.W. The Potential of Na-air Batteries. *ChemCatChem*, 2017, vol. 9, pp. 1545–1553. DOI: 10.1002/cctc.201600646
10. Faisal M., Hannan M.A., Ker P.J., Hussain A., Bin Mansor M., Blaabjerg F. Review of Energy Storage System Technologies in Microgrid Applications: Issues and Challenges. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 35143–35164. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2841407
11. Opiyo N.N. A Comparison of DC-versus AC-based Minigrids for Cost-effective Electrification of Rural Developing Communities. *Energy Reports*, 2019, vol. 5, 2019, pp. 398–408. DOI: 10.1016/j.egy.2019.04.001
12. Justo J.J., Mwasilu F., Lee J., Jung J-W. AC-microgrids versus DC-microgrids with Distributed Energy Resources: A Review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 24, pp. 387–405. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.067
13. Planas E., Andreu J., Garate J.I., de Alegria I.M., Ibarra E. AC and DC Technology in Microgrids: A Review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 43, pp. 726–749. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.067
14. Tikhonov P.V., Mayorov V.A., Morenko K.S. Energy-Saving Systems Using Photovoltaic Modules. *Handbook of Research on Smart Computing for Renewable Energy and Agro-Engineering*, USA, PA Hershey, IGI Global, 2020, pp. 464–485. DOI: 10.4018/978-1-7998-1216-6.ch018
15. Tikhonov P.V. The Energy-Saving System of LED Lighting with Parallel Power Supply by Photovoltaic Modules and Power Supply Network. *Light & Engineering*, 2020, vol. 28, no. 6, pp. 36–40.

16. Noroozian R., Abedi M., Gharehpetian G.B., Hosseini S.H. Combined Operation of DC Isolated Distribution and PV Systems for Supplying Unbalanced AC Loads. *Renewable Energy*, 2009, vol. 34 (3), pp. 899–908. DOI: 10.1016/j.renene.2008.05.043
17. Kwasinski A. Quantitative Evaluation of DC Microgrids Availability: Effects of System Architecture and Converter Topology Design Choices. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2011, vol. 26 (3), pp. 835–51. DOI: 10.1109/TPEL.2010.2102774
18. Wang B., Sechilariu M., Locment F. Intelligent DC Microgrid with Smart Grid Communications: Control Strategy Consideration and Design. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, vol. 3 (4), pp. 2148–2156. DOI: 10.1109/TSG.2012.2217764
19. Dragičević T., Lu X., Vasquez J.C., Guerrero J.M. DC Microgrids-Part I: A Review of Control Strategies and Stabilization Techniques. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2016, vol. 31 (7), pp. 4876–4891. DOI: 10.1109/TPEL.2015.2478859
20. Dragičević T., Lu X., Vasquez J.C., Guerrero J.M. DC Microgrids – Part II: A Review of Power Architectures, Applications and Standardization Issues. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2016, vol. 31(5), pp. 3528–3549. DOI: 10.1109/TPEL.2015.2464277
21. Nejabatkhah F., Li Y.W. Overview of Power Management Strategies of Hybrid AC/DC Microgrid. *IEEE Transactions On Power Electronics*, 2015, vol. 12, pp. 7072–7089. DOI: 10.1109/TPEL.2014.2384999
22. Murari K., Padhy N.P. Framework for Assessing the Economic Impacts of AC-DC Distribution Network on the Consumers. *IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*, 2018. DOI: 10.1109/RTUCON.2018.8659879
23. Ahrabi R.R., Li Y.W., Nejabatkhah F. Hybrid AC/DC Network with Parallel LCC-VSC Interlinking Converters. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2021, vol. 1, pp. 722–731. DOI: 10.1109/TPWRS.2020.3020235
24. Sannino A., Postiglione G., Bollen. M.H.J. Feasibility of a DC Network for Commercial Facilities. *IEEE Trans on Industry Applications*, 2003, vol. 39 (5), pp. 1499–1507. DOI: 10.1109/TIA.2003.816517
25. Zheng Y.M., Wang X.H. Research on DC Micro-grid System of Photovoltaic Power Generation. *3rd International Conference on Environmental Science and Material Application*, 2018, vol. 108, iss. 5. DOI: 10.1088/1755-1315/108/5/052041
26. Gago-Calderón A., Orejón-Sánchez R.D., Hermoso-Orzáez M.J. DC Network Indoor and Outdoor LED Lighting. *Light Emitting Diode*, 2018, pp. 2–22. DOI: 10.5772/intechopen.74974

**Тихонов Павел Валентинович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория систем нетрадиционной энергетики, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва; ptikhonov@inbox.ru.

**Сычев Арсений Олегович**, младший научный сотрудник, лаборатория систем нетрадиционной энергетики, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва; arsenikus@yandex.ru.

**Моренко Константин Сергеевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория систем нетрадиционной энергетики, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва; vim@konstantin-morenko.ru.

*Поступила в редакцию 12 октября 2021 г.*

---

DOI: 10.14529/power210409

## LED LIGHTING SYSTEM IN MIXED DC AND AC NETWORKS

**P.V. Tikhonov**, ptikhonov@inbox.ru,

**A.O. Sychov**, arsenikus@yandex.ru,

**K.S. Morenko**, vim@konstantin-morenko.ru

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation*

The article discusses the operation of the LED lighting system with parallel power supply from photovoltaic modules and the power grid. The paper describes the scheme of the developed LED lighting system, on the basis of which a working sample with a single 36 W lamp was assembled. Experimental studies of the LED lighting system using the developed monitoring system have been carried out. The paper presents the part of



the experimental data. The working sample in practice demonstrated the effectiveness and reliability of the proposed scheme. The article presents a working alternative for the efficient connection of photovoltaic modules to the load using inexpensive converters.

*Keywords: photovoltaic module, LED lighting system, mixed DC and AC networks, general purpose power grid, step-up converter, monitoring system.*

*Received 12 October 2021*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Тихонов, П.В. Система светодиодного освещения в смешанных сетях постоянного и переменного тока / П.В. Тихонов, А.О. Сычев, К.С. Моренко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 73–81. DOI: 10.14529/power210409

**FOR CITATION**

Tikhonov P.V., Sychov A.O., Morenko K.S. LED Lighting System in Mixed DC and AC Networks. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 73–81. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210409

---