Энергосберегающая система освещения светодиодами с параллельным электропитанием от фотоэлектрических модулей и от электросети

П.В. ТИХОНОВ

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФНАЦ ВИМ), Москва
E-mail: ptikhonov@inbox.ru

Аннотация

Проанализировано современное состояние систем освещения светодиодами с параллельным электропитанием от фотоэлектрических модулей и от централизованной электросети. Представлен подход к реализации параллельной работы светильника со светодиодами от двух источников питания, который отличается простотой, низкой стоимостью и высокой надёжностью сравнительно с имеющимися решениями. На основе этого подхода разработаны четыре схемы, применимые сообразно задачам освещения и характеристикам фотоэлектрических модулей и потребителей электроэнергии. Первая и вторая схемы содержат минимальное количество преобразователей, но при их использовании необходимо учитывать ряд эксплуатационных ограничений. Третья схема содержит стандартные преобразователи и предполагает минимум разных ограничений, что делает её оптимальным решением для разрабатываемой системы освещения малой мощности. Четвёртая схема имеет высокую стоимость, из-за использования оборудования с автоматическим поиском точки максимальной мощности солнечных панелей в реальном времени (технология «*MMPT*»), обеспечивает максимально большую энергоэффективность систем освещения, но преимущества технологии «*MMPT*» касаются только систем высокой мощности.

В качестве потребителей таких систем предпочтительней всего объекты, где освещение в основном требуется днём (торговые центры, подземные переходы, складские комплексы, птицефабрики и т.п.). Положительной стороной является повышение надёжности электроснабжения потребителей, поскольку питание светильников со светодиодами будет также происходить от дополнительного источника.

Предложенный подход ведёт к снижению расхода электросетевой энергии на освещение светодиодами, сбережению ископаемых источников энергии и, соответственно, экологизации окружающей среды.

Ключевые слова: солнечное излучение, фотоэлектрический модуль, микросеть постоянного тока, стабилизатор напряжения, стабилизатор тока, параллельная работа, освещение светодиодами.

Введение

Сфера использования фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) непрерывно растёт. Широкому внедрению фотоэлектрических систем в основном способствует снижение стоимости ФЭП [1–3] и рост тарифов на электроэнергию, вырабатываемую с использованием традиционных источников энергии. На развитие фотоэнергетики влияют и экологические проблемы [3, 4], и развитие энергоэффективной электроники и осветительных устройств на постоянном токе.

Использование фотоэлектрических модулей (ФЭМ) как источников электроэнергии позволяет подключать потребителей постоянного тока напрямую без помощи инвертора, создавая микросеть на постоянном токе. Данная концепция в мире актуальна, постоянно исследуется [5–7], и соответствующие технологии будут набирать популярность и повсеместно внедряться по мере снижения стоимости фотоэлектрической энергии.

В наших домах и офисах множество устройств работает на постоянном токе. Значительная часть бытовых устройств, офисной техники и прочего электрооборудования, питаясь от сети переменного тока, работает на постоянном токе благодаря встроенным преобразователям энергии. Технически эти устройства способны напрямую работать на постоянном токе, но такую возможность производители не закладывают. В настоящее время редко встречаются устройства способные работать одновременно от сети переменного тока, и от сети постоянного тока, но при наблюдаемой тенденции таких устройств будет становиться всё больше. Важно, что с технической точки зрения это не приведёт к существенному усложнению устройств и их удорожанию. При этом они будут работать в смешанных сетях постоянного и переменного тока [8].

С учётом описанных выше обстоятельств и тенденций, фотоэлектрические системы, питающие нагрузку на постоянном токе, помогут снизить расходы потребителя на получаемую от электросетевых компаний электроэнергию. Одним из ярких примеров такого рода служит система освещения светильниками со светодиодами (СД) с параллельным электроснабжением от ФЭП и от электросети общего назначения (рис. 1).

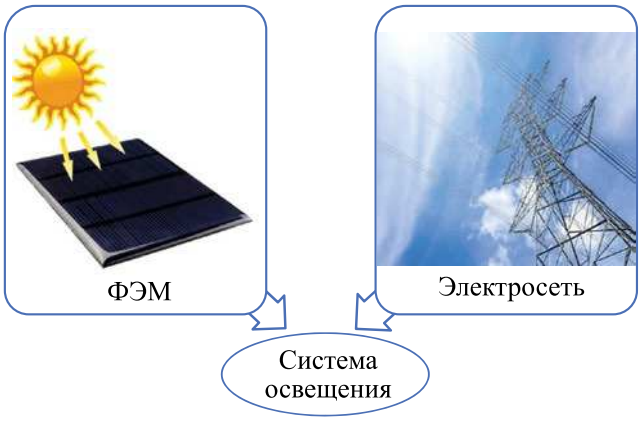

Рис. 1. Система освещения с параллельным электропитанием от двух источников

Методы

Возможны разные методы согласования параллельной работы системы освещения, запитанной ФЭМ и элек-

тросетью. К примеру, одна из разработок включает в себя суперконденсаторы и реле для переключения между источниками энергии [9]. При таком подходе большая нагрузка накладывается на реле – из-за частых переключений их рабочий цикл будет коротким и потребует частых замен элемента. Кроме того, переходные процессы, возникающие при резком и частом переключении, будут ухудшать качество электроэнергии. Другая разработка заключается в применении специального устройства управления («драйвера»), согласующего параллельную работу СД источников от сети и от ФЭМ посредством высокочастотного трансформатора [10]. Это устройство работает и как инвертор, выдавая излишнюю энергию в сеть. Однако качество выдаваемой им в сеть энергии не соответствует нормативам. У двух отмеченных выше систем есть один общий минус – их сложность и дороговизна.

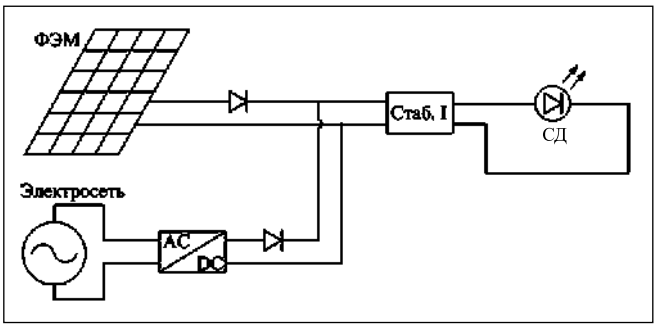

Рис. 2. Схема принципиальная системы освещения с комбинированным электропитанием

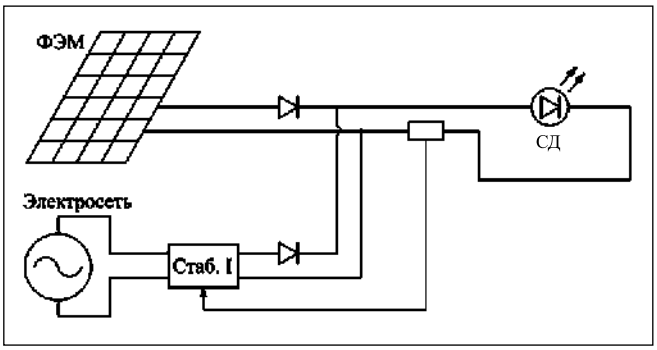

Рис. 3. Схема принципиальная системы освещения с комбинированным электропитанием и модернизированным сетевым стабилизатором тока

В настоящей работе предлагается иной подход к организации параллельной работы СД источников, который существенно отличается от аналогичных решений простотой и меньшей стоимостью. Он заключается в согласовании двух параллельных источников питания по уровню напряжения (рис. 2).

При таком подключении важно, чтобы номинальное напряжение ФЭМ было выше выходного номинального напряжения сетевого блока питания *AC-DC*. Тогда вся энергия будет расходоваться на светильнике при достаточной выработке мощности ФЭМ. В моменты, когда выработки ФЭМ будет недостаточно для питания светильника, недостаток фотоэлектрической энергии будет компенсироваться сетевым блоком питания. Недостаток фотоэлектрической энергии приведёт к уменьшению напряжения на входе стабилизатора тока Стаб. I (рис. 2) светильника, и в этот момент сетевой блок питания стабилизирует напряжение на входе этого стабилизатора, компенсируя недостаток мощности. Стабилизатор тока в данной схеме необходим для стабилизации работы СД источника света. В случае если последний имеет встроенный стабилизатор тока, то в схеме его уже не будет.

Предложенная выше схема является основополагающей, на её основе разработано ещё несколько вариантов, в основном отличающихся преимущественно дополнительными элементами или модернизацией некоторых элементов. Один из вариантов представлен на рис. 3. Суть его – в разделении сетевого стабилизатора тока и его измерительного блока. При этом измерительный блок сетевого стабилизатора тока располагается на входе светильника после точки соединения двух источников энергии. Сетевой преобразователь, контролируя ток светильника, компенсирует недостающую мощность от ФЭМ (по мере необходимости).

Вариант максимально похож на стандартный для освещения светильниками с СД, работающими от электросети; отличия лишь в добавлении ещё одного источника энергии и изменении конструкции стабилизатора тока. Поэтому это один из самых бюджетных вариантов подключения ФЭМ к традиционной схеме питания светильников с СД.

В поиске компромиссов для светильников с СД небольшой мощности разработан вариант с широкими возможностями применения. Он заключается в использовании повышающих и понижающих преобразователей со стабилизаторами напряжения и тока (рис. 4). При этом в схеме для отбора энергии, вырабатываемой ФЭМ, применён обычный преобразователь-стабилизатор напряжения *DC-DC*.

Для систем освещения большой мощности необходимо использование технологии «слежения за точкой максимальной мощности» (*Maximum Power Point Tracking*, *MPPT*), схема питания подобной системы отражена на рис. 5. Технология «*MMPT*» позволяет добиваться большего отвода мощности от ФЭМ. При этом существуют разного рода разработки «следящих» устройств (*MPPT*-контроллеров) для осветительных систем с СД [11, 12].

Результаты

Представленные выше схемные варианты имеют свои преимущества и недостатки. Рассмотрим их подробнее.

Вариант с непосредственным параллельным подключением ФЭМ с сетевым блоком питания (рис. 2) имеет ряд недостатков, связанных с невозможностью обеспечения максимального отвода мощности от ФЭМ и необходимостью подборки выдаваемого им напряжения. Схема эффективна только при правильно подобранных характеристиках элементов.

Во втором варианте, с модернизированным стабилизатором тока (рис. 3), требуется минимальное количество элементов для функционирования системы. Но при этом, чтобы СД не перегорали, пиковая мощность ФЭМ не должна превышать рабочую мощность СД. Возможно применение также специального ограничителя по мощности выработки ФЭМ. Как и в предыдущем варианте схемы, важен подбор ФЭМ по напряжению – номинальное напряжение долж-

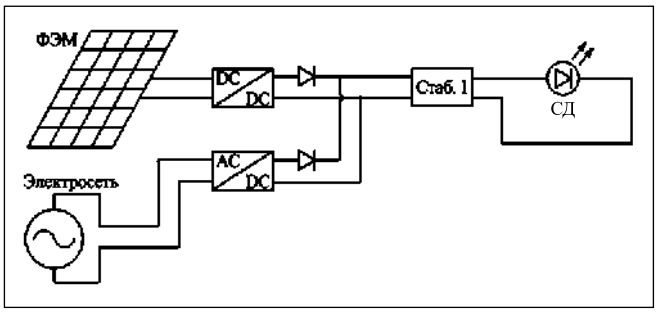

Рис. 4. Схема принципиальная системы освещения с комбинированным электропитанием и применением повышающего-понижающего преобразователя

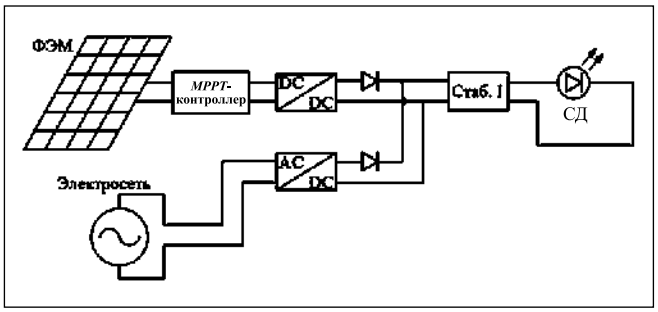

Рис. 5. Схема принципиальная системы освещения с комбинированным электропитанием и применением *MMPT*-контроллера

но быть примерно равно рабочему напряжению на светильнике.

Сравнив два приведённых выше варианта, отметим, что первый из них предпочтительней при мощности ФЭМ, сопоставимой с мощностью светильника, а второй – при мощности ФЭМ, меньшей мощности светильника.

Третий вариант предпочтителен для осветительных систем небольшой мощности. Его преимущества в том, что благодаря применению стабилизаторов нет строгой необходимости в подборе напряжений ФЭМ и на нагрузке как в первых двух вариантах. Стабилизатор напряжения на выходе из ФЭМ работает в широком диапазоне входного напряжения и повышает отбор мощности от фотопреобразователей в сравнении с первыми двумя вариантами, а стабилизатор тока на входе светильника защищает СД в нём от перегорания. Дополнительное преимущество такой схемы – возможность создания микросети постоянного тока, в которую могут внедряться новые источники и потребители электроэнергии.

Последний схемный вариант, с применением технологии «*MMPT*» (рис. 5), являясь самым энергоэффективным, из-за дороговизны требует добавочной оценки экономичности конкретного применения. Преимущества этой технологии в основном проявляются на системах освещения большой мощности. Для маломощных систем выгоднее повышать мощность фотоэлектрической части за счёт дополнительных фотопреобразователей, чем повышать её с помощью *MMPT*-контроллера.

Для дальнейшего развития перспективен является вариант специально разработанного контроллера под параллельную работу с ФЭМ и электросетью, в котором будут интегрированы преобразователь напряжения *DC-DC* с технологией «*MPPT*» и сетевой блок питания *AC-DC*.

Задачи по оптимальному подбору оборудования и сравнению разных вариантов схем целесообразнее решать с использованием специальных средств математического моделирования, типа «*MATLAB-Simulink*» и др. Поэтому в последующих исследованиях по данной тематике работа схем будет рассмотрена детально с использованием этих средств.

Особое внимание следует обратить на отсутствие аккумуляторной батареи в схемах питания, что позволяет разрабатывать конкурентоспособные по стоимости осветительные системы с СД, поскольку аккумуляторные батареи существенно повышали бы стоимость вырабатываемой энергии. И даже использование оптимальных на сегодня по стоимости цикла заряда-разряда литий-железо-фосфатных аккумуляторов существенного снижения себестоимости не даст. Однако же, например, в сетях аварийного освещения со светильниками с СД применение аккумуляторных батарей необходимо и оправдано. Возможны также случаи, в которых для достижения высоких характеристик целесообразно применение аккумуляторных батарей небольшой ёмкости, но для этого необходимо решение оптимизационных задач с учётом определённых критериев. Однако, в любых случаях мощности аккумуляторных батарей в освещении сведутся к минимуму, что связано с их неспособностью конкурировать по себестоимости электроэнергии с непосредственно ФЭМ и электросетью.

Заключение

Развитие ФЭП и осветительных установок со светильниками с СД приводит к большому количеству разработок на их основе, но большинство таких установок имеют автономный характер с аккумулированием энергии в течение дня [13]. Для их удешевления необходимо сводить к минимуму ёмкости аккумуляторных батарей, а в качестве гарантированного источника питания использовать электросети общего назначения. Такой подход и внедряется в разрабатываемых светильниках с СД с параллельным электропитанием от ФЭМ и от электросети, что снижает потребление электроэнергии от сети общего назначения и потери на преобразование.

Кроме того, в сложных схемах питания зачастую заложен широкий функционал, но их дороговизна влечёт немало финансовых затрат. В этой связи важную роль играет создание простых решений, в чём-то ограниченных по функционалу, но решающих основные возложенные на них задачи с выигрышем для потребителя в цене и надёжности. Поэтому разработаны разные варианты рабочих схем питания, которые применимы в зависимости от стоящих задач и особенностей ФЭМ и потребителей электроэнергии.

При этом необходимо грамотно подходить к выбору нагрузки, наиболее оптимальными представляются здания с помещениями, где искусственное освещение требуется весь рабочий день. Как пример, отметим торговые центры, подземные переходы, складские комплексы и птицефабрики. Для таких ответственных потребителей немаловажную роль играет и надёжность электроснабжения, которую питание светильников с СД от двух или трёх источников энергии (в зависимости от категории электроснабжения потребителя) повышает.

Как отмечено выше, снижение цены на ФЭП за последние годы существенно повысило их конкурентоспособность относительно других видов источников энергии [1–3]. В этой связи в стране появляется большое количество солнечных электростанций, работающих непосредственно на электросеть [14]. На сегодня в некоторых регионах для предприятий себестоимость электроэнергии, вырабатываемой солнечными батареями, способна конкурировать с ценой энергии от электросети. Соответственно, в ряде случаев уже сегодня подобные системы электропитания позволяют снижать потребление энергии от электросети, помогая потребителю экономить на счетах за электроэнергию и внося свой вклад в повышение экологичности окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Market Outlook For Solar Power 2019–2023 / Aurélie Beauvais, Naomi Chevillard, Mariano Guillén Paredes, Máté Heisz, Raffaele Rossi, Michael Schmela. – Belgium, Brussels: SolarPower Europe, 2019. – 91 p. URL: https://www.solarpowereurope.org (дата обращения: 09.09.19).

2. Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien / Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Jülch, Huyen-Tran Nguyen, Thomas Schlegl. – Deutschland, Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2018. – 41 p. URL: https://www.ise.fraunhofer.de (дата обращения: 09.09.19).

3. Renewables 2018 global status report / Hannah E. Murdock, Rana Adib [et al.] – France, Paris: REN21, 2018. – 324 p. – ISBN978–3–9818911–3–3 –URL: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/GSR_2018_Highlights_final.pdf (дата обращения: 09.09.19).

4. Advancing the Global Renewable Energy Transition / Hannah E. Murdock, Rana Adib [et al.] – France, Paris: REN21, 2018. – 51 p. – ISBN978–3–9818911–2–6 – URL: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/GSR_2018_Highlights_final.pdf (дата обращения: 09.09.19).

5. *Wang B., Sechilariu M., Locment F.* Intelligent DC microgrid with smart grid communications: control strategy consideration and design // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2012. – 3(4) – P. 2148–2156. DOI: 10.1109/TSG.2012.2217764.

6. *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. – 31(7). – P. 4876–4891. DOI: 10.1109/TPEL.2015.2478859.

7. *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. – 31(5) – P. 3528–3549. DOI: 10.1109/TPEL.2015.2464277.

8. *Justo J.J., Mwasilu F., Lee J., Jung J.W.* AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 24. – P. 387–405. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.067.

9. *De Zoysa H.B.H., Guruge P.A., Kalingamudali S.R.D., Kularatna N., Kanishka G.* Designing and Constructing a DC Microgrid with Uninterrupted Power Supply Capability and Optimizing its Energy Usage by Smart Controlling System / IEEE Industrial-Electronics-Society (IES) International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems (IESES). – New Zeland, Hamilton: IEEE. – 2018. – P. 351–356.

10. *Ali A., Lange J., Elrayyah A., Sozer Y., De Abreu-Garcia J.A., Mpanda A.A.* Hybrid Flyback LED Driver with Utility Grid and Renewable Energy Interface / 33nd Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. – USA, TX, San Antonio: IEEE. – 2018. – P. 3377–3384.

11. *Vieira J.A.B., Mota A.M.* Implementation of a Stand-Alone Photovoltaic Lighting System with MPPT Battery Charging and LED Current Control / IEEE International Conference on Control Applications Part of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control. – Japan, Yokohama: IEEE. –2010. – P. 185–190.

12. *Shen C.L., Ko Y.X.* Hybrid-input power supply with PFC (power factor corrector) and MPPT (maximum power point tracking) features for battery charging and HB-LED driving // Energy – Elsevier Ltd. – 2014. – Vol. 72 – P. 501–509. DOI: 10.1016/j.energy.2014.05.072.

13. *Pandey A.K., Tyagi V.V., Selvaraj J.A.L., Rahim N.A., Tyagi S.K.* Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications // Renewable & Sustainable Energy Reviews – Elsevier Ltd. – 2016. – Vol. 53 – P. 859–884. DOI: 10.1016/j.rser.2015.09.043.

14. Солнечные электростанции на территории России: реалии и перспективы // Альтернативная энергия: [сайт]. – 2019. URL: https: //altenergiya.ru/sun/solnechnye-elektrostancii-v-rossii.html (дата обращения: 09.09.19).

Тихонов Павел Валентинович, *кандидат техн. наук. Окончил в 2008 г. Марийский государственный университет (МарГУ) по специальности «Электроснабжение». Старший научный сотрудник ФНАЦ ВИМ. Область научных интересов: системы энергоснабжения на основе фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и когенерационных фотоэлектрических тепловых модулей, микросети на базе ФЭМ*

Более трети электричества в мире поступает из возобновляемых источников

Более трети электричества в мире поступает из возобновляемых источников – это новый рекордный показатель. Об этом говорится в отчёте аналитиков из организации *International Renewable Energy Agency*.

В период с 2018 по 2019 годы строительство новых мощностей возобновляемой энергии несколько замедлилось. Но так как разные страны построили меньше новой инфраструктуры для добычи ископаемого топлива, доля возобновляемых источников энергии в расширении энергетического потенциала возросла.

По данным аналитиков, 72 % всех введённых в эксплуатацию в 2019 г. источников энергии

были возобновляемыми. Бóльшая часть этого роста пришлась на Азию – 54 % прироста мощности возобновляемых источников энергии. При этом в США и Европе за этот период закрылось больше электростанций, работающих на ископаемом топливе, чем открылось.

Исследователи отмечают, что хотя США и страны Европы закрывают угольные и нефтегазовые предприятия, это не лучший вариант для регионов, которым требуется больше энергии, чтобы гарантировать, что все люди смогут удовлетворять свои основные потребности. Например, Африка, самый бедный континент в мире, увеличила свои возобновляемые мощности в прошлом году всего на 4 %.

nanonewsnet.ru/new
09.04.2020