

УДК 621.3.087

DOI 10.22213/2410-9304-2023-4-11-17

Разработка методического и приборного обеспечения для системы диагностирования солнечных модулей в удаленном режиме в условиях неоднородного освещения

В. В. Зиновьев, Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

О. М. Мирсаитов, доктор технических наук, профессор, Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

С. Б. Колесова, кандидат экономических наук, доцент, Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

Рассмотрен принцип мониторинга состояния солнечных модулей в составе фотоэлектрических энергетических установок. В существующей технологии мониторинга теряется информация об электрических параметрах отдельных солнечных модулей внутри линейных цепочек, составленных из модулей. В случае несвоевременного обнаружения и устранения неисправности снижается выработка энергии и повышается риск образования локальных точек перегрева фотоэлектрических преобразователей, из которых состоят солнечные модули. Технической задачей является оснащение солнечного модуля блоком диагностики, способного в автоматическом режиме обнаруживать нарушение нормального режима работы, характеризующегося простотой конструкции. Разработана система диагностирования солнечных модулей в удаленном режиме, определяющая наличие тока в цепи байпасного диода как нарушение нормального режима функционирования модуля. Датчик тока (на основе эффекта Холла) обнаруживает наличие тока в цепи байпасного диода (т. е. тока, текущего в обход группы ФЭП, находящихся при сниженной освещенности). Такая его установка позволяет обнаружить электрический ток в цепи байпасного диода, там, где его не должно быть при нормальной эксплуатации, что является следствием того что цунтированная этим байпасным диодом группа ФЭП солнечного модуля перестала генерировать электрический ток в связи с тем, что освещенность одного или нескольких ФЭП в этой группе стала ниже, чем освещенность ФЭП в других группах солнечного модуля. Блок диагностики работает в составе беспроводной сенсорной сети. Каждый беспроводной блок диагностики имеет уникальный адрес, благодаря чему можно определить координаты модуля, работающего с перебоями. Техническим результатом является упрощение конструкции, повышение надежности солнечного модуля, сокращение времени локализации «проблемного» модуля.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоэлектрический преобразователь, неоднородное освещение, диагностика солнечных модулей, удаленный мониторинг.

Введение

Энергетические установки на базе возобновляемых источников энергии, в частности солнечной фотоэнергетики, как правило, работают с минимальным участием человека, что требует применения средств автоматизации, мониторинга и диагностики основного энергетического оборудования в удаленном режиме [1].

В отличие от традиционных источников энергии с достаточно высокой плотностью концентрации энергии в источнике, для солнечной энергетики эти показатели довольно низкие [2]. То есть количество солнечных модулей (с единичной мощностью порядка 200 Вт) для получения необходимой мощности насчитывает десятки, сотни и тысячи единиц и распределены они на значительной площади. Такая ситуация создает проблему по диагностике работоспособности распределенного в пространстве источника энергии на техническом объекте. Целью является разработка методики и устройства диагностирования солнечных модулей в удаленном режиме в условиях неоднородного освещения.

Используемые подходы

В мировой практике для определения состояния распределенного источника энергии на базе солнечных модулей измеряются электрические параметры, такие как напряжение, ток, мощность по-

стоянного тока на уровне цепочек (рис. 1), которые состоят из последовательно соединенных солнечных модулей, причем информация передается в центр обработки и анализа по информационным линиям связи, проложенным в земле.

В такой строковой технологии мониторинга состояния источника энергии теряется информация об электрических параметрах на уровне самих солнечных модулей. Как было отмечено выше, энергоустановка может насчитывать десятки, сотни и тысячи солнечных модулей. При возникновении неисправности необходимо своевременно локализовать «проблемный» модуль в массиве и провести мероприятия по восстановлению его работоспособности (очистки светоприемной поверхности, ремонта или замены). В случае несвоевременного обнаружения и устранения неисправности снижается выработка энергии [3] и повышается риск образования локальных точек перегрева (“hot spot”) [4].

Блок измерения и защиты (рис. 1) измеряет электрические параметры строки солнечных модулей и не имеет физической возможности получения данных о состоянии индивидуальных солнечных модулей в строке, поэтому не представляется возможным вычислить конкретный модуль, который является источником нарушения нормальной работы.

В связи с этим ведутся исследования как теоретические [5–8], так и практические по составлению солнечного модуля (Пат. №2803315 Российская федерация, МПК H02S 50/10. Способ составления солнечного модуля из фотоэлектрических преобразователей / В. В. Зиновьев, О. М. Мирсаетов, С. Б. Колесова, О. А. Бартенев; заявитель и патен-

тообладатель ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» (RU). № 2022128214/07. Заявл. 01.11.2022; опубл. 12.09.2023, бюл. № 26) и использованию беспроводных технологий мониторинга как поля солнечных модулей, так и на уровне стринговых выходов, инверторов [9–11].

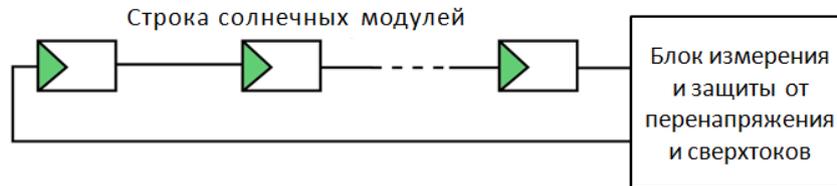


Рис. 1. Строковая технология

Fig. 1. String technology

Также в ряде зарубежных и отечественных патентов исследуются вопросы по повышению надежности солнечных модулей и методов их диагностики: US 2012229161 A1, CN 103888071 A, JP 2018153051 A, JP 2014011430 A, KR 101479020 B1, US 20140132301 A1, EP 2562822 B1, CN 102998517 A, JP 2013080745 A,

WO 2016166991 A1, US 20120316802 A1, JP 2014212212 A, R2U 2666123 C1.

Для получения детальной информации о модулях в строке предлагается следующая структурная схема мониторинга (рис. 2).

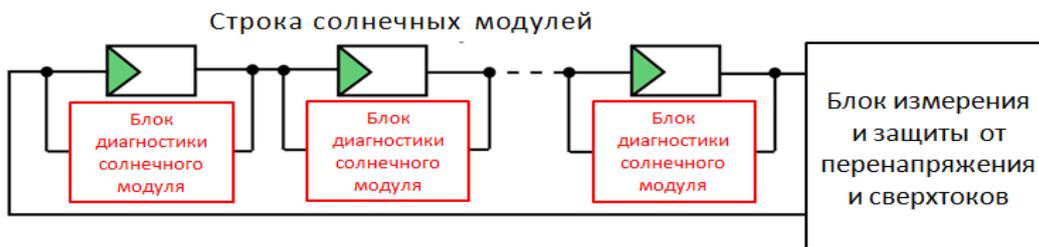


Рис. 2. Предлагаемое решение мониторинга солнечных модулей

Fig. 2. Proposed Solar Module Monitoring Solution

Разработка солнечного модуля с блоком диагностики

Промышленно изготавливаемые солнечные модули содержат группы последовательно соединенных ФЭП, шунтированных байпасными диодами. Байпасные диоды солнечного модуля конструктивно находятся внутри клеммной коробки солнечного модуля. При большом количестве ФЭП в солнечном модуле устанавливается несколько байпасных диодов параллельно каждой группе из равного количества ФЭП (рис. 3). Байпасный диод исключает разрыв цепи в строке, когда напряжение модуля будет ниже заданного порогового уровня либо когда модуль выйдет из строя. Также на рис. 3 показан принцип и конструктивное оформление системы мониторинга электрических параметров на солнечном модуле с использованием линии байпасного диода [12] и датчика Холла (ДХ) [13] для определения наличия тока в этой линии. Такую технологию можно использовать для анализа отдельных групп фотоэлектрических преобразователей внутри модуля путем включения датчиков Холла в цепи байпасных диодов внутри модуля.

Солнечный модуль представляет собой набор последовательно включенных ФЭП, шунтированных

байпасным диодом. Датчик тока (на основе эффекта Холла) обнаруживает ток в цепи байпасного диода (т. е. ток, текущий в обход группы ФЭП, находящихся при сниженной освещенности). Такая его установка позволяет обнаружить электрический ток в цепи байпасного диода там, где его не должно быть при нормальной эксплуатации, что является следствием того, что шунтированная этим байпасным диодом группа ФЭП солнечного модуля перестала генерировать электрический ток в связи с тем, что освещенность одного или нескольких ФЭП в этой группе стала ниже, чем освещенность ФЭП в других группах солнечного модуля.

Функционирование блока диагностики солнечного модуля заключается в следующем (рис. 4). Если при неоднородном освещении светоприемной поверхности модуля (например, вследствие загрязненности или облачности) напряжение группы менее освещенных ФЭП становится ниже напряжения другой группы ФЭП, находящихся при равномерной освещенности, более чем на значение падения напряжения на шунтирующем диоде, ток будет проходить через байпасный (шунтирующий) диод менее освещенной группы.

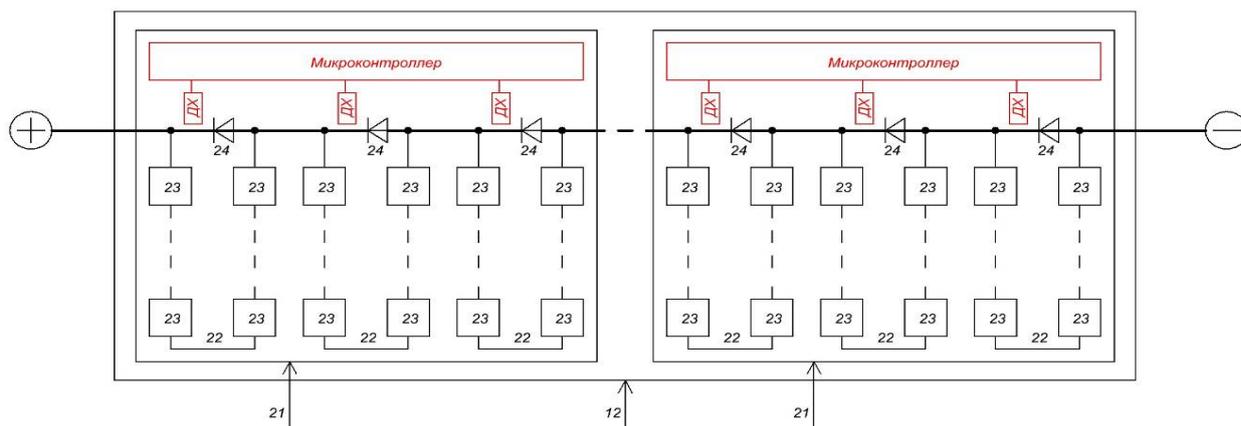


Рис. 3. Размещение датчиков Холла (ДХ) в цепях байпасных диодов (24), 23 – ФЭП, 22 – группа ФЭП, 21 – солнечный модуль, 12 – строка солнечных модулей, ДХ – датчик Холла

Fig. 3. Placement of Hall sensors (DH) in circuits of bypass diodes (24), 23 – PV cell, 22 – PV group, 21 – solar module, 12 – solar module string, ДХ – Hall Sensor

Поскольку в цепи байпасного диода включен датчик Холла, то он обнаружит протекание тока, что будет сигнализировать о нарушении нормального режима работы модуля. Сигнал о наличии тока будет зафиксирован микроконтроллером и в случае его длительного действия будет передан на диспетчерский пункт по беспроводному каналу связи.

Детальная информация о состоянии каждого модуля дает возможность прогнозирования работоспособности и повышает надежность работы энергоустановки.

На описанное решение получен патент РФ на изобретение (Пат. №2803314 Российская Федерация, МПК H02S 50/10. Солнечный модуль с блоком диагностики / В. В. Зиновьев, О. М. Мирсаатов, С. Б. Колесова, О. А. Бартенев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» (RU). № 2022128218/07. Заявл. 01.11.2022; опублик. 12.09.2023, бюл. № 26).

Промышленно выпускаемые солнечные модули содержат от 1 до 3 групп фотоэлектрических преобразователей, шунтированных байпасными диодами. Таким образом, блок диагностики солнечного модуля будет содержать от 1 до 3 датчиков Холла, подключенных к одному микроконтроллеру. Каждый солнечный модуль снабжается собственным блоком диагностики, способным обнаруживать неисправности подконтрольного ему солнечного модуля (рис. 4).

К примеру, солнечный модуль на 240 Вт содержит 54 ФЭП, разделенных на три группы по 18 ФЭП в каждой. Оптовая цена солнечного модуля при добавлении блока диагностики возрастает на 1 %. При частичном затенении группа ФЭП, находящаяся при сниженной освещенности в определенных режимах, выводится из работы шунтирующим диодом, за счет чего мощность солнечного модуля снижается в лучшем случае на треть (при наличии трех групп ФЭП в модуле).

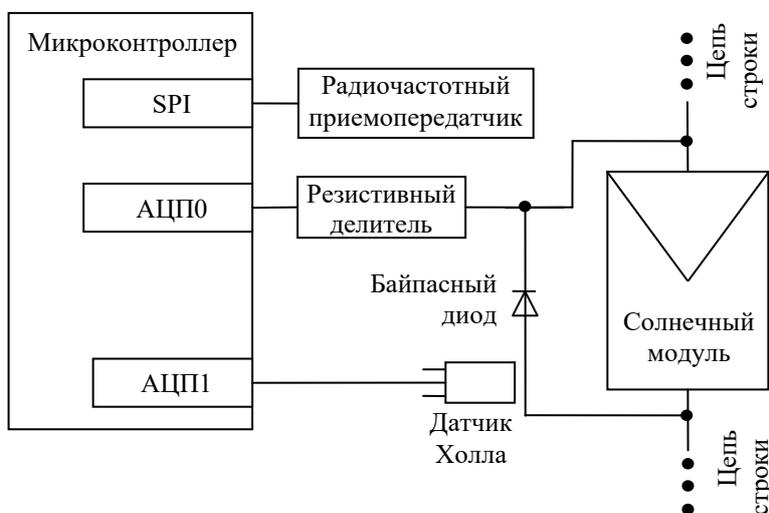


Рис. 4. Солнечный модуль с блоком диагностики

Fig. 4. Solar module with diagnostic unit

Таким образом, мощность солнечного модуля сократится на 33 %, что приведет к соответствующей недовыработке электроэнергии до того момента пока частичное затенение не будет устранено. Кроме того, при длительном неравномерном освещении могут возникать локальные точки перегрева, вероятность возникновения которых носит случайный характер, которые помимо снижения общей мощности солнечного модуля могут привести к необратимому повреждению ФЭП.

Например, для солнечной энергетической установки на 10 кВт стоимость солнечных модулей с блоками диагностики возрастет на 1 %. При снижении мощности на 5 % в случае частичного затенения сокращение времени локализации затененных солнечных модулей в массиве при помощи блоков диагностики и последующее обнаружение и устранение причины затенения с 14 до 2 дней приведет к восстановлению выработки электроэнергии на 5 %. В случае более длительного неустранения причины затенения эффект станет еще более выраженным.

Блок диагностики выполнен в виде печатной платы с микроконтроллером, имеющим аппаратные модули аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и интерфейс SPI с радиочастотным приемопередатчиком, работающим на частоте 2,4 ГГц. Дополнительно блок диагностики оснащен резистивным делителем с коэффициентом деления 10 В/В, соединенным с микроконтроллером, измеряющим выходное напряжение солнечного модуля, импульсным преобразователем постоянного тока для питания электронных компонентов.

Для преобразования измеренных аналоговых сигналов в цифровую форму используется аналого-цифровой преобразователь. К аналого-цифровому преобразователю микроконтроллера подключен датчик Холла, установленный бесконтактно над цепью (над токопроводящими шинами) байпасного диода и зафиксированный неподвижно при помощи силиконового герметика.

Резистивный делитель, подключенный к выходным клеммам солнечного модуля, измеряет напряжение солнечного модуля, которое также передается в единый пункт сбора данных с целью детализации состояния солнечных модулей в цепочках. Измеренное при помощи резистивного делителя напряжение солнечного модуля повышает достоверность сведений о наличии неисправности, поскольку при открытии байпасного диода, шунтированная группа ФЭП в солнечном модуле исключается из работы, и напряжение становится меньше на величину напряжения исключенной группы.

Для обеспечения работы датчиков в составе беспроводной сенсорной сети измерительный блок оснащается маломощным приемо-передающим радиомодулем, работающим на частоте 2,4 ГГц.

Разработана принципиальная электрическая схема беспроводного блока диагностики (рис. 5). Основой устройства является 8-битный микроконтроллер фирмы Atmel ATmega8A. Все необходимые преобразования и вычисления реализуются в программе микроконтроллера. Разъем X4 ISP используется для внутрисхемного программирования микроконтроллера.

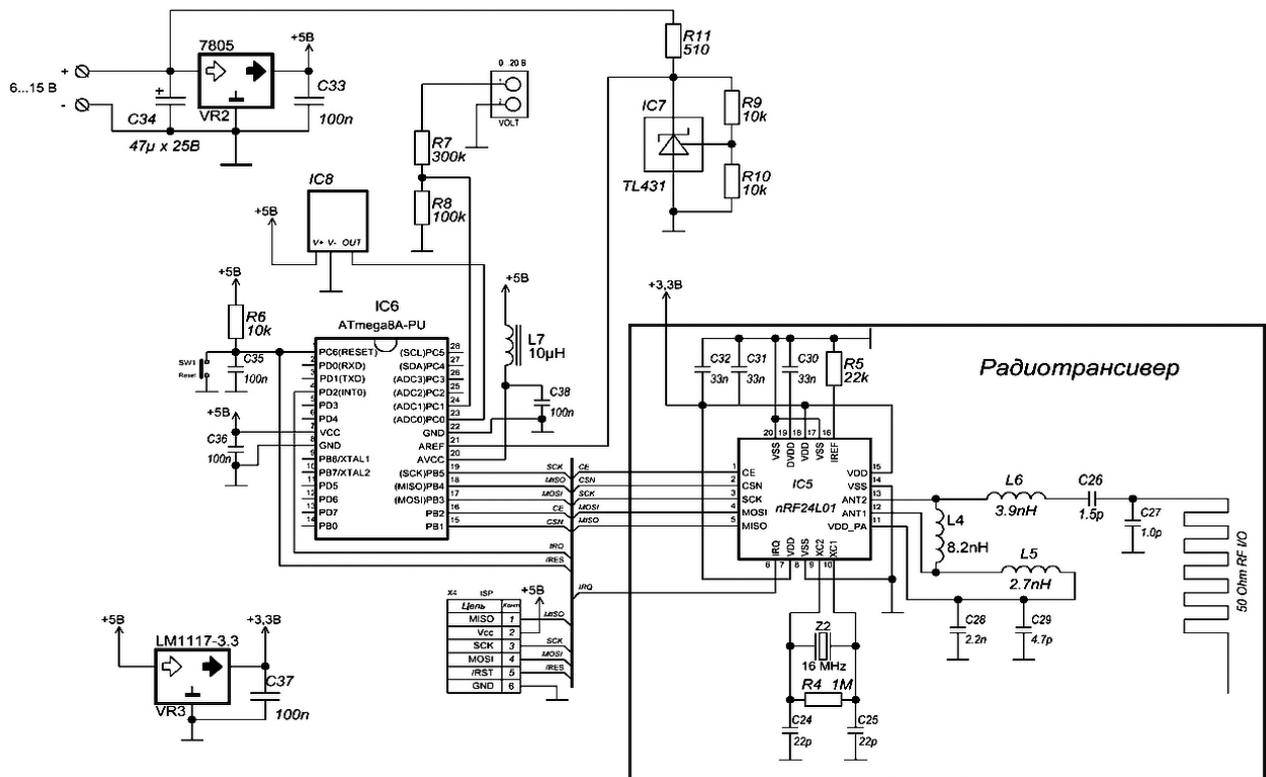


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема беспроводного датчика

Fig. 5. Schematic diagram of the wireless sensor

Для работы АЦП микроконтроллера необходимо стабилизированное напряжение питания модуля АЦП. Для этого используются следующие радиоэлементы: дроссель L7, конденсатор C38, источник опорного напряжения IC7.

Измеряемый сигнал напряжения от солнечного модуля подается на вывод 24 микроконтроллера (канал АЦП № 1) через делитель напряжения на резисторах R7, R8. Сигнал о наличии тока через байпасный диод от датчика Холла подается на вывод 23 микроконтроллера (канал АЦП № 0).

Питание датчика осуществляется от солнечного модуля. Схема работает с напряжениями 5 и 3,3 В, которые получают преобразователями VR2 и VR3.

Радиотрансивер (приемопередатчик) представляет собой выполненное на отдельной печатной плате устройство, которое преобразует передаваемый от микроконтроллера цифровой сигнал в электромагнитную форму (радиосигнал). В качестве приемопередатчика выступает NRF24L01 [14] – однокристалльный РЧ-трансивер безлицензионного ISM-диапазона 2,4...2,5 ГГц, состоящий из интегрального синтезатора частоты, усилителя мощности, кварцевого генератора, демодулятора, модулятора и модуля аппаратного протокола Enhanced Shock Burst. Данный модуль берет на себя функции анализа потери пакетов данных и их повторной отправки, снижая нагрузку на управляющий микроконтроллер.

Все беспроводные датчики, измеряющие параметры модулей, объединяются в беспроводную самоорганизующуюся сеть, по которой информация передается в диспетчерский пункт.

Блоки диагностики солнечных модулей, снабженные беспроводными приемопередатчиками, организуются в распределенную сеть сбора, обработки и передачи информации. Беспроводная сеть датчиков способна ретранслировать сообщения от одного другому, что обеспечивает устойчивость сети в случае выхода из строя одного из узлов. Алгоритмы маршрутизации сети сами определяют оптимальные маршруты доставки сообщений [15].

Каждый беспроводной блок диагностики имеет уникальный адрес, благодаря чему можно определить координаты модуля, работающего с перебоями. Диспетчерский пункт имеет соответствие адреса датчика и его местоположения. В этот же пункт передаются измеренные на всех модулях электрические параметры, кроме того, можно обратиться к конкретному модулю индивидуально и получить информацию о его параметрах.

Выводы

1. Предложена методика диагностирования технического состояния индивидуальных солнечных модулей в распределенных массивах в удаленном режиме в условиях неоднородного освещения.

2. Солнечный модуль с блоком диагностики характеризуется простотой конструкции и, как следствие, обеспечивает повышение надежности его работы. Использование в составе солнечной фотоэлектрической энергетической установки солнечных модулей с блоками диагностики позволяет в автома-

тическом режиме отслеживать состояние работоспособности каждого солнечного модуля, выявлять модули, нуждающиеся в обслуживании, ремонте или замене. Происходит сокращение времени локализации потенциально дефектных солнечных модулей, упрощение обслуживания, ремонта или замены солнечных модулей, что в итоге приведет к повышению надежности и эффективности работы солнечной фотоэлектрической энергетической установки в целом.

Библиографические ссылки

1. Автоматизация солнечных электростанций / В. А. Наумов, В. А. Матисон, В. В. Прокопьев, М. Ю. Сермеев // Релейная защита и автоматизация. 2020. № 4. С. 46–51.
2. Nøland J.K., Auxepales J., Rousset A. et al. Spatial energy density of large-scale electricity generation from power sources worldwide // Scientific Reports. 2022. No. 12, 21280. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25341-9>.
3. Henrik Zsiborács, László Zentkó, Gábor Pintér, András Vincze, Nóra Hegedűsné Baranyai. Assessing shading losses of photovoltaic power plants based on string data // Energy Reports. 2021. Vol. 7. Pp. 3400-3409. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.038>.
4. Dhimish, M., Tyrrell, A.M. Power loss and hotspot analysis for photovoltaic modules affected by potential induced degradation // npj Mater Degrad. 2022. Vol. 6. No. 11. <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00221-9>.
5. Зиновьев В. В., Бартнев О. А. Диагностика промышленных солнечных модулей в областях прямой и обратной ветви вольт-амперной характеристики при неоднородном освещении // Промышленная энергетика. 2020. № 1. С. 56–62.
6. Зиновьев В. В., Бартнев О. А., Бельтоков А. П. Моделирование солнечных преобразователей при неравномерной освещенности // Промышленная энергетика. 2018. № 7. С. 58–67.
7. Совершенствование подходов к составлению, диагностике и эксплуатации солнечных модулей в условиях неоднородного освещения / В. В. Зиновьев, О. М. Мирсаево, С. Б. Колесова, О. А. Бартнев // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2023. № 2. С. 19–26. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2023.02.019-026>.
8. Анализ энергетических характеристик солнечных батарей при частичном затенении / С. Г. Обухов, И. А. Плотников, Г. Н. Климова, Е. С. Житникова // Электричество. 2022. № 9. С. 13–21. DOI 10.24160/0013-5380-2022-9-13-21.
9. Ansari S.; Ayob A.; Lipu M.S.H.; Saad M.H.M.; Husain A. A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges and Prospects // Sustainability. 2021. Vol. 13. 8120. <https://doi.org/10.3390/su13158120>.
10. Dardar A., Bensiali N., Adjabi M., Boutasseta N., Bouakkaz M.S., Attoui I., Fergani N., Bouraiou A. Photovoltaic energy generation systems monitoring and performance optimization using wireless sensors network and metaheuristics // Sustainable Computing: Informatics and Systems. 2022. Vol. 35. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100684>.
11. López-Vargas A., Fuentes M., Vivar M. IoT Application for Real-Time Monitoring of Solar Home Systems Based on Arduino With 3G Connectivity // IEEE Sensors Journal. 2019. Vol. 19. No. 2. Pp. 679-691.
12. Швец С. В., Байшев А. В. Назначение шунтирующих диодов солнечной панели и методы их диагностики // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23, № 6. С. 1187–1202. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-6-1187-1202>.

13. Rus-Casas C.; Jiménez-Castillo G.; Aguilar-Peña J.D.; Fernández-Carrasco J.I.; Muñoz-Rodríguez F.J. Development of a Prototype for Monitoring Photovoltaic Self-Consumption Systems. // *Electronics*. 2020, Vol. 9, No. 1, 67. <https://doi.org/10.3390/electronics9010067>.

14. Asnil, Krismadinata K., Husnaini I. & Gunawan F. Wireless Monitoring System For Photovoltaic Generation With Graphical User Interface // *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2020 No. 9. Pp. 528-533.

15. Ключников В. О. Выбор оптимального протокола маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях передачи данных // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020. Т. 8, № 2 (29). DOI 10.26102/2310-6018/2020.29.2.038.

References

1. Naumov V.A., Mation V.A., Prokop'ev V.V., Sermeev M.YU. *Avtomatizatsiya solnechnykh elektrostancij* [Automation of solar power plants]. *Relejnaya zashchita i avtomatizatsiya*. 2020. No. 4. Pp. 46-51 (in Russ.).

2. Nøland J.K., Auxepaules J., Rousset A. et al. Spatial energy density of large-scale electricity generation from power sources worldwide // *Scientific Reports*. 2022. No. 12, 21280. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25341-9>.

3. Henrik Zsiborács, László Zentkó, Gábor Pintér, András Vincze, Nóra Hegedűsné Baranyai. Assessing shading losses of photovoltaic power plants based on string data // *Energy Reports*. 2021. Vol. 7. Pp. 3400-3409. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.05.038>.

4. Dhimish M., Tyrrell A.M. Power loss and hotspot analysis for photovoltaic modules affected by potential induced degradation // *npj Mater Degrad*. 2022. Vol. 6. No. 11. <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00221-9>.

5. Zinov'ev V.V., Bartenev O.A. *Diagnostika promyshlennykh solnechnykh modulej v oblastyah pryamoj i obratnoj vetvej vol't-ampernoj harakteristiki pri neodnorodnom osveshchenii* [Diagnostics of industrial solar modules in the areas of the direct and reverse branches of the current-voltage characteristic under non-uniform lighting]. *Promyshlennaya energetika*. 2020. No 1. Pp. 56-62 (in Russ.).

6. Zinov'ev V.V., Bartenev O.A., Bel'tyukov A.P. *Modelirovanie solnechnykh preobrazovatelej pri neravnomernej osveshchennosti* [Modeling of solar converters under uneven illumination]. *Promyshlennaya energetika*. 2018. No. 7. Pp. 58-67 (in Russ.).

7. Zinov'ev V.V., Mirsaetov O.M., Kolesova S.B., Bartenev O.A. [Improvement of approaches to the composi-

tion, diagnosis and operation of solar modules under ununiform lighting conditions]. *Alternative Energy and Ecology (IS-JAEE)*. 2023. No. 2. Pp. 19-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.15518/isjaee.2023.02.019-026>.

8. Obuhov S.G., Plotnikov I.A., Klimova G.N., ZHitnikova E.S. *Analiz energeticheskikh harakteristik solnechnykh batarej pri chastichnom zatenenii* [Analysis of the energy characteristics of solar batteries under partial shading]. *Elektrichestvo*. 2022. No. 9. Pp. 13-21 (in Russ.). DOI 10.24160/0013-5380-2022-9-13-21.

9. Ansari S.; Ayob A.; Lipu M.S.H.; Saad M.H.M.; Hus-sain A. A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges and Prospects. // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. 8120. <https://doi.org/10.3390/su13158120>.

10. Dardar A., Bensiali N., Adjabi M., Boutasseta N., Bou-akkaz M.S., Attoui I., Fergani N., Bouraiou A. Photovoltaic energy generation systems monitoring and performance optimization using wireless sensors network and metaheuristics // *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. 2022. Vol. 35. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100684>.

11. López-Vargas A., Fuentes M., Vivar M. IoT Application for Real-Time Monitoring of Solar Home Systems Based on Arduino With 3G Connectivity // *IEEE Sensors Journal*. 2019. Vol. 19. No. 2. Pp. 679-691.

12. SHvec S.V., Bajshev A.V. *Naznachenie shuntiruyushchih diodov solnechnoj paneli i metody ih diagnostiki* [Purpose of solar panel shunt diodes and methods for their diagnosis]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019. Vol. 23, no. 6. Pp. 1187-1202 (in Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-6-1187-1202>.

13. Rus-Casas C.; Jiménez-Castillo G.; Aguilar-Peña J.D.; Fernández-Carrasco J.I.; Muñoz-Rodríguez F.J. Development of a Prototype for Monitoring Photovoltaic Self-Consumption Systems. // *Electronics*. 2020, Vol. 9, No. 1, 67. <https://doi.org/10.3390/electronics9010067>.

14. Asnil, Krismadinata K., Husnaini I. & Gunawan F. Wireless Monitoring System For Photovoltaic Generation With Graphical User Interface // *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2020 No. 9. Pp. 528-533.

15. Klyuchnikov V.O. *Vybor optimal'nogo protokola marshrutizatsii v besprovodnykh sensorykh setyah peredachi dannykh* [Selection of the optimal routing protocol in wireless sensor networks for data transmission]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informacionnye tekhnologii*. 2020. Vol. 8, no. 2 (in Russ.). DOI 10.26102/2310-6018/2020.29.2.038.

* * *

Methodology and Instrumentation Development for a Solar Module Diagnosing System in a Remote Mode under Non-Uniform Illuminaion

V. V. Zinov'ev, Lecturer, Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutseriev of Udmurt State University, Izhevsk, Russia

O. M. Mirsaetov, DSc in Engineering, Professor, Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutseriev of Udmurt State University, Izhevsk, Russia

S. B. Kolesova, PhD in Economics, Associate Professor, Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutseriev of Udmurt State University, Izhevsk, Russia

The monitoring principle of the solar module conditions as a part of photovoltaic power plants is considered. In the existing monitoring technology, information about the electrical parameters of individual solar modules being the part of linear chains gets lost. If a fault is not detected and corrected in a timely manner, energy production is reduced and the risk of local hot spot formation in the photovoltaic converters that make up the solar modules increases. The technical task is to equip the solar module with a diagnostic unit simple in design and capable to detect a violation of the normal operating mode automatically. A system for diagnosing solar modules in a remote mode has been developed, which determines the presence of current in the bypass diode circuit being the violation of the normal operation mode of the module. The current sensor (based on the Hall effect) detects the presence of current in the bypass diode circuit (i.e., current flowing bypassing a group of solar cells located at reduced illumination). This installation makes it possible to detect electric current in the bypass diode circuit, where it should not exist during normal opera-

tion, which is a consequence of the fact that the solar module group of solar cells shunted by this bypass diode has stopped generating electric current, due to the fact that the illumination of one or several PV cells in this group became lower than the PV illumination in other groups of the solar module. The diagnostic unit operates as part of a wireless sensor network. Each wireless diagnostic unit has a unique address, thanks to which it is possible to determine the coordinates of a module that is operating intermittently. The technical result is to simplify the design, increase the reliability of the solar module, and reduce the time for localizing the "problem module".

Keywords: solar energy, photovoltaic converter, non-uniform illumination, solar module diagnosis, remote monitoring.

Получено: 24.07.23

Образец цитирования

Зиновьев В. В., Мирсаетов О. М., Колесова С. Б. Разработка методического и приборного обеспечения для системы диагностирования солнечных модулей в удаленном режиме в условиях неоднородного освещения // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 11–17. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-11-17.

For Citation

Zinov'ev V.V., Mirsaetov O.M., Kolesova S.B. [Methodology and Instrumentation Development for a Solar Module Diagnosing System in a Remote Mode under Non-Uniform Illumination]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 11-17 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-11-17.