

К. ф.-м. н. А. В. ИВАНЧЕНКО, д. ф.-м. н. А. С. ТОНКОШКУР

Украина, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

E-mail: IvanchenkoAV@ukr.net

## ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПОСЛЕ ТОКОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК

*Исследовано влияние токовых перегрузок на вольт-амперные и вольт-ваттные характеристики, а также на электрические параметры фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей на основе монокристаллического кремния. В результате испытаний, проводимых в режиме циклических токовых перегрузок, установлено ухудшение всех основных электрических параметров. Проведено сравнение диапазона времени срабатывания самовосстанавливающихся предохранителей PolySwitch с длительностью развития пробоя фотоэлектрических преобразователей, и сделан вывод о перспективе использования таких предохранителей как средств защиты в нештатных ситуациях, связанных с токовыми перегрузками в солнечных батареях.*

*Ключевые слова:* фотоэлектрический преобразователь, вольт-амперная характеристика, вольт-ваттная характеристика, пробой, деградация, самовосстанавливающийся предохранитель.

Среди источников ненадежности фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечных батарей наиболее нежелательными являются токовые перегрузки и возникновение перегревов, включая замыкания непосредственно в них, а также короткие замыкания между их соединительными контактами [1–3]. Физическими причинами таких ситуаций могут быть повреждение коррозией в процессе эксплуатации составляющих их элементов, «скрытые» производственные дефекты, неисправные блокирующие и обводные диоды или деградация изоляции под действием окружающей среды [2].

Вопрос об уровне деградации и сохранности ФЭП после воздействия относительно высокой температуры в течение ограниченного промежутка времени рассматривался в [4, 5], где было установлено снижение напряжения холостого хода и тока короткого замыкания кремниевых ФЭП после термической обработки разной длительности, проводимой при температуре около 300°C в атмосферных условиях.

В последнее время этот вопрос исследовался в связи с перспективой решения задачи повышения надежности солнечных батарей путем использования самовосстанавливающихся предохранителей РРТС (polymeric positive temperature coefficient device) типа PolySwitch в качестве дополнительных устройств для изоляции неактивных (затененных или дефектных) областей как отдельных ФЭП, так и их модулей [6]. В частности, рассматривалась пробле-

ма несоответствия диапазона рабочих температур для фотоэлектрических модулей (максимальная регламентируемая температура — около 80°C [7]) и наиболее распространенных в настоящее время типов коммерческих РРТС предохранителей, для которых область фазового перехода (срабатывания) оценивается величинами порядка 125°C [8, 9]. Было установлено, что пребывание исследованных ФЭП на основе монокристаллического кремния на протяжении 6 часов при температуре до 150°C в темновом режиме и при освещении в разомкнутом и короткозамкнутом состояниях не приводит к значительным изменениям их основных функциональных характеристик и параметров.

В то же время исследования последствий непосредственного протекания больших токов через обратный смещенный диод ФЭП, приводящих к его нагреву и выходу из строя, до настоящего времени проводились в основном в целях углубленного изучения механизмов пробоя [10, 11]. При использовании современных средств защиты от токовых перегрузок, в частности самовосстанавливающихся предохранителей [12], возможно возникновение нештатной ситуации, когда через диод ФЭП некоторое непродолжительное время будет протекать большой ток (что соответствует реализации режима временного пробоя [13]). Однако вопрос об уровне деградации и сохранности ФЭП после кратковременного воздействия токовых перегрузок пока еще остается недостаточно изученным.

В настоящей работе исследовалось влияние временных токовых перегрузок на вольт-амперные и вольт-ваттные характеристики фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей и их технические параметры.

### Образцы и методика эксперимента

Исследовались образцы ФЭП, изготовленные на основе монокристаллического кремния КДБ-10 с просветляющим покрытием на основе ITO-пленки [8, 14].

Для регистрации световых вольт-амперных характеристик применялся специальный экспериментальный автоматизированный измерительный комплекс [15], использующий известный метод вольтметра-амперметра [16]. Стенд позволял в качестве источника света использовать естественное солнечное излучение и обеспечивал выполнение условий освещенности AM1,5.

Состояние пробоя ФЭП достигалось подачей на него в течение нескольких минут постоянного напряжения обратного смещения. Это напряжение постепенно увеличивалось до значения, при котором начиналось резкое неуправляемое увеличение тока, после чего ФЭП отключался от источника напряжения с помощью переключателя. Временная зависимость температуры, полученная при реализации такого пробоя (рис. 1), свидетельствует о его тепловом характере.

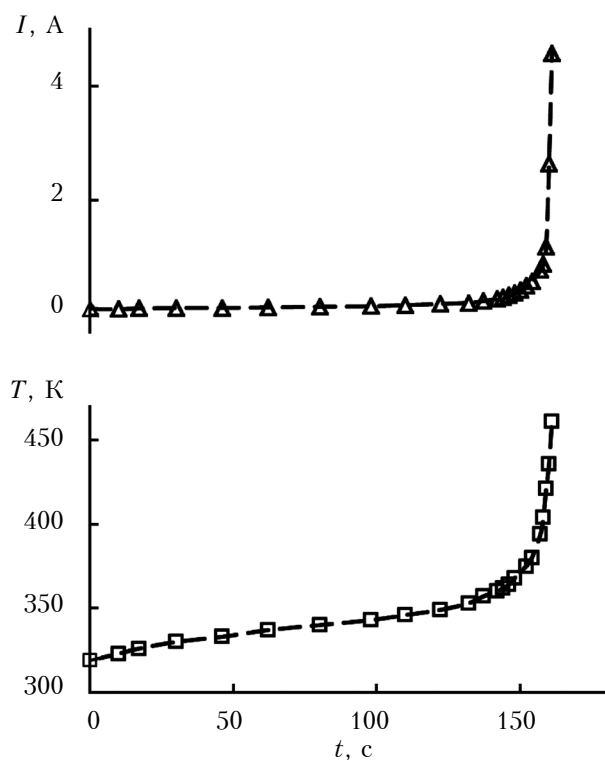


Рис. 1. Изменение во времени тока  $I$  и температуры  $T$  ФЭП при приложении к нему напряжения обратного смещения, достаточного для наступления теплового пробоя

Воздействие токовой перегрузки, соответствующее участку резкого возрастания зависимостей на рис. 1, было кратковременным (не превышало 5 с).

Для выявления наиболее общих закономерностей влияния токовых перегрузок на свойства рассматриваемых кремниевых ФЭП отбирались образцы с отличающимися исходными вольт-амперными (ВАХ) и вольт-ваттными (ВВХ) характеристиками, что было следствием предыстории их эксплуатации или технологического разброса при изготовлении (рис. 2).

Для изучения влияния циклических токовых перегрузок на работоспособность ФЭП экспериментальные исследования проводились в следующем порядке:

- измерялась исходная световая ВАХ исследуемого ФЭП;
- через ФЭП пропусклся темновой ток в направлении обратного смещения его диода,

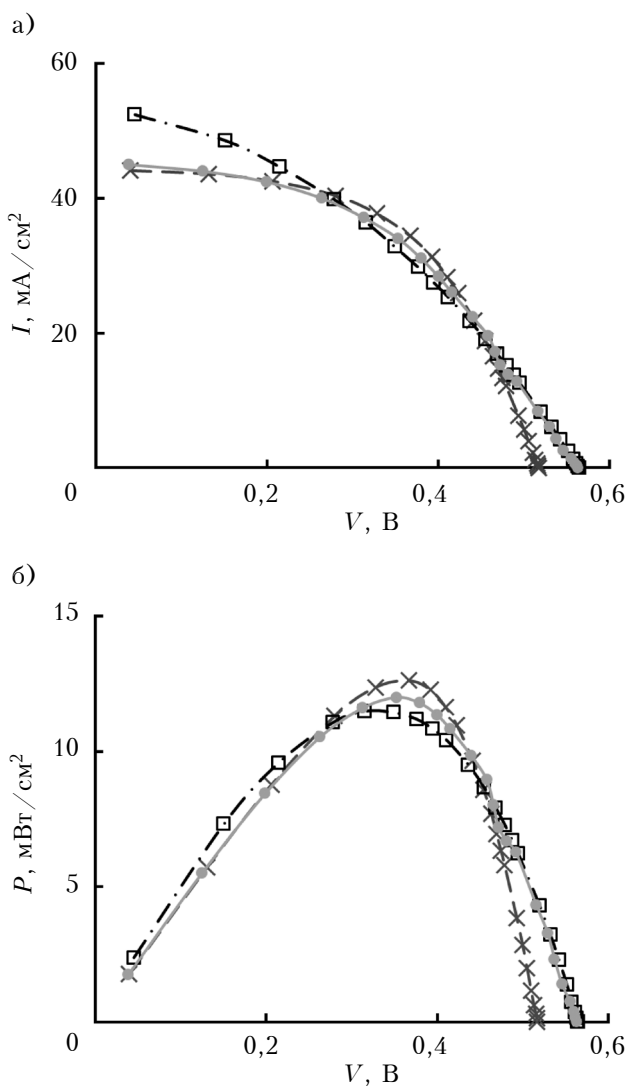


Рис. 2. Типичные световые ВАХ (а) и ВВХ (б) исследованных образцов ФЭП

и после возникновения теплового пробоя, что фиксировалось критическим увеличением тока и температуры, он отключался от источника напряжения;

— ФЭП в отключенном состоянии охлаждался до комнатной температуры, и повторно измерялась его ВАХ.

Последние два пункта, определяющие цикл токовой перегрузки, повторялись несколько раз. В результате фиксировались значения основных параметров ВАХ и ВВХ образца ФЭП: напряжение холостого хода  $V_{OC}$  (при разомкнутом ФЭП), ток короткого замыкания  $I_{SC}$  и отдаваемая во внешнюю цепь электрическая мощность  $P$ .

**Экспериментальные результаты и их обсуждение**

На рис. 3 показаны типичные результаты измерений ВАХ и ВВХ фотоэлектрических преобразователей, которые были подвергнуты описанным выше токовым перегрузкам. Как вид-

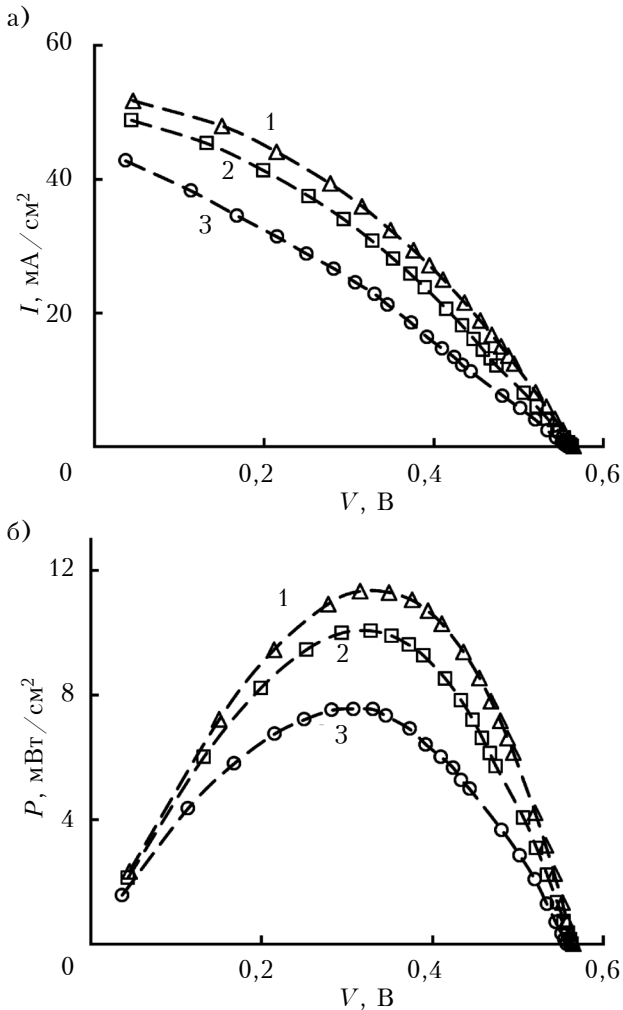


Рис. 3. Исходные ВАХ (а) и ВВХ (б) образца ФЭП (1) и полученные после двух (2) и восьми (3) циклов токовой перегрузки

но, кратковременное протекание тока в состоянии пробоя в направлении обратного смещения диода приводит к уменьшению тока и мощности, генерируемых ФЭП. Этот эффект носит аддитивный характер, т. е. большее число токовых перегрузок приводит к большему снижению тока и мощности.

Проанализируем приведенные на рис. 4 зависимости параметров ВАХ и ВВХ фотоэлектрических преобразователей от числа циклов пробоя ФЭП электрическим током (параметры нормированы на их значения, соответствующие исходному состоянию образца,  $V_{OC}^*$ ,  $I_{SC}^*$ ,  $ff^*$  и  $P_{max}^*$ ). Экспериментальные данные аппроксимировались линейными зависимостями, по-

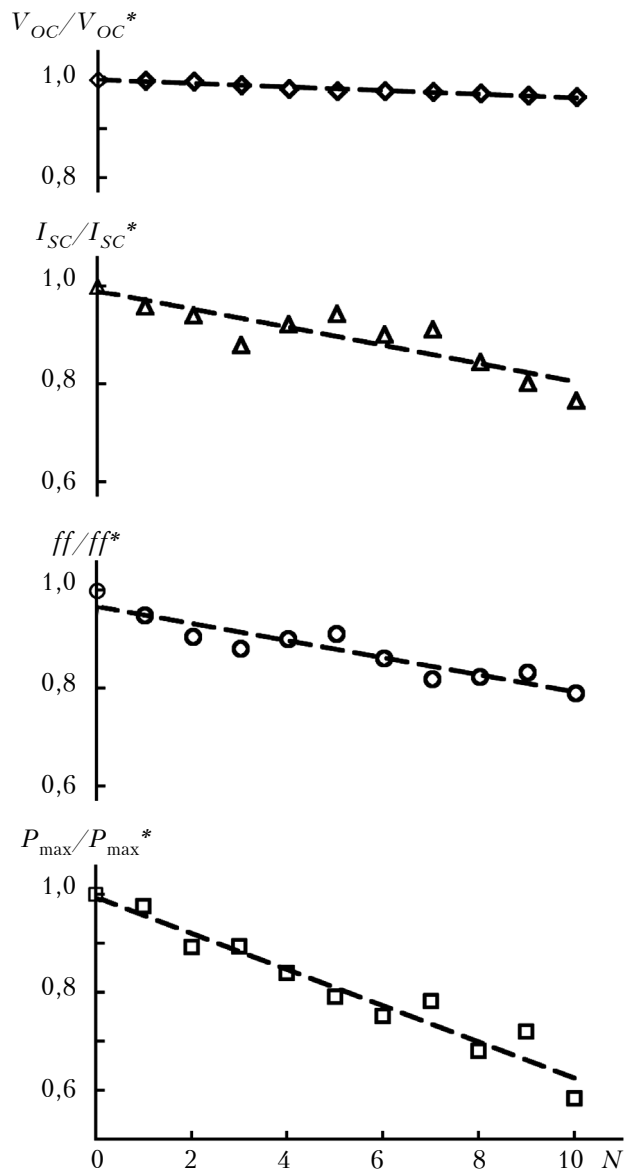


Рис. 4. Экспериментальные зависимости напряжения холостого хода  $V_{OC}$ , тока короткого замыкания  $I_{SC}$ , фактор заполнения ВАХ  $ff$  и максимальной мощности  $P_{max}$  ФЭП от числа циклов токовой перегрузки

лученными с использованием метода наименьших квадратов.

Отметим, что фактор заполнения ВАХ  $ff$  определялся в соответствии с известным выражением [15]

$$ff = \frac{I_{\max} V_{\max}}{I_{SC} V_{OC}},$$

где  $I_{\max}$  и  $V_{\max}$  — ток и напряжение на ВАХ ФЭП, соответствующие  $P_{\max}$ .

В таблице приведены усредненные по 10 образцам значения контролируемых параметров ФЭП. Как видно, все они имеют тенденцию к уменьшению с ростом числа циклов  $N$  пребывания ФЭП в состоянии пробоя, однако при этом напряжение холостого хода  $V_{OC}$  менее чувствительно к росту  $N$ , чем ток короткого замыкания  $I_{SC}$  и другие представленные параметры. Это обусловлено, прежде всего, тем, что значения максимальной мощности  $P_{\max}$  и фактора  $ff$  связаны непосредственно с величиной тока.

Приведенные данные указывают на то, что кратковременные токовые перегрузки в обратном направлении диода ФЭП, в отличие от разогрева ФЭП внешними тепловыми источниками, приводят к существенному снижению отдаваемой им во внешнюю цепь мощности и деградации других параметров. В частности, полученные результаты позволяют прогнозировать уменьшение максимальной мощности на 3,5% после единичного пробоя ФЭП в обратном направлении. При этом ухудшение электрических характеристик ФЭП под воздействием токовых перегрузок носит аддитивный (накопительный) характер.

В таблице (3-й столбец) также приведены данные о разбросе значений средних относительных уменьшений контролируемых параметров за

Оценка влияния воздействия токовых перегрузок на параметры кремниевого ФЭП

Параметр ФЭП	Среднее относительное изменение за один пробойный цикл, %	Относительная погрешность оценки, %
Напряжение холостого хода $V_{OC}$	-0,5	1,5
Ток короткого замыкания $I_{SC}$	-1,5	5,0
Фактор заполнения ВАХ $ff$	-2	3,0
Максимальная мощность $P_{\max}$	-3,5	0,8

один пробойный цикл, связанных с различием исходных ВАХ и ВВХ (рис. 2). Величина относительной погрешности указанных параметров ( $\leq 5\%$ ) свидетельствует об общности исследованных закономерностей для ФЭП, независимо от предыстории их эксплуатации или технологического разброса параметров при их изготовлении.

Следует отметить, что независимо от физической природы пробоя (теплого, лавинного или туннельного [10, 11]) увеличение тока через ФЭП приводит к локальному разогреву его отдельных областей. Повышение температуры как отдельных областей (горячих точек), так и всего ФЭП позволяет рассматривать этот феномен в качестве основания для использования позисторных элементов типа PolySwitch, находящихся в контакте с ФЭП, как термосенсорных предохранителей [8, 17]. Как известно, диапазон времени срабатывания предохранителей PolySwitch составляет от единиц миллисекунд до нескольких секунд [9, 18]. Время, в течение которого происходит предпробойный разогрев ФЭП, оценивается интервалом в несколько минут, а длительность развития пробоя составляет около 5 с (см. рис. 1). На основании полученных данных можно предположить, что при возникновении нештатных ситуаций, связанных с токовыми перегрузками, указанные предохранители могут минимизировать их последствия, ограничив деградационные изменения параметров ФЭП в диапазоне, где эти изменения не приводят к существенным изменениям в работе солнечных батарей.

### Выводы

Таким образом, исследования влияния кратковременных токовых перегрузок на вольт-амперные и вольт-ваттные характеристики и электрические параметры фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей показали, что такие перегрузки приводят к аддитивной (накапливаемой) деградации параметров ФЭП. При этом в меньшей степени снижается напряжение холостого хода ( $\approx 0,5\%$  за 1 цикл), в большей — ток короткого замыкания ( $\approx 1,5\%$  за 1 цикл) и мощность (до 3,5% за 1 цикл). Исследованные закономерности наблюдаются независимо от предыстории эксплуатации ФЭП или технологического разброса параметров при их изготовлении.

Сравнение диапазона времени срабатывания предохранителей PolySwitch с длительностью развития пробоя ФЭП позволило предположить перспективность их использования в качестве средств защиты от токовых перегрузок при возникновении нештатных ситуаций в работе фотоэлектрических систем солнечных батарей.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Köntges M., Kurtz S., Packard C. et. al. Review of failures of photovoltaic modules. — IEA PVPS Task 13, 2014.
2. United Solar Technologies / Главная / СМИ и литература / Основы солнечной энергетики / Солнечные модули и батареи. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ust.su/solar/media/section-inner17>. — 16.07.2109
3. Тонкошкур О. С., Накашидзе Л. В. Проблеми надійності фотоелектричних компонентів сонячних батарей // Відновлювана енергетика. — 2018. — № 3. — С. 21–31.
4. Radziemska E. Effect of temperature on dark current characteristics of silicon solar cells and diodes // International Journal of Energy Research. — 2006. — Vol. 30, iss. 2. — P. 127–134. — <https://doi.org/10.1002/er.1113>
5. Flammini M. G., Debernardi N., Le Ster M. et. al. The influence of heating time and temperature on the properties of CIGS<sub>2</sub> solar cells // International Journal of Photoenergy. — 2016. — Vol. 2016. — Article ID 4089369. — 7 p. — <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4089369>
6. Иванченко А. В., Мазурик С. В., Тонкошкур А. С. Исследование характеристик кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей при перегреве // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2018. — № 4. — С. 14–20. — <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.4.14>
7. Гудкова А. В., Губин С. В., Белоконов В. И. Термостабилизация фотоэлектрических преобразователей для измерения ВАХ с импульсным источником света // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. — 2012. — № 57. — С. 187–196.
8. Тонкошкур А. С., Иванченко А. В., Накашидзе Л. В., Мазурик С. В. Применение самовосстанавливающихся элементов для электрической защиты солнечных батарей // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2018. — № 1. — С. 43–49. — <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.1.43>
9. Гавриков В. Самовосстанавливающиеся РТС-предохранители для защиты от токовых перегрузок // Новости Электроники. — 2014. — № 12. — С. 11–15.
10. Bishop J. W. Microplasma breakdown and hot-spots in silicon solar cells // Solar cells. — 1989. — Vol. 26,

iss. 4. — P. 335–349. — [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(89\)90093-8](https://doi.org/10.1016/0379-6787(89)90093-8)

11. Breitenstein O., Bauer J., Bothe K. et al. Understanding junction breakdown in multicrystalline solar cells // Journal of Applied Physics. — 2011. — Vol. 109, iss. 7. — Article ID 071101. — 10 p. — <https://doi.org/10.1063/1.3562200>
12. Ivanchenko A. V., Tonkoshkur A. S., Mazurik S. V. Application of “PolySwitch” fuses for the limitation of current overloads in photovoltaic systems of solar arrays // Journal of Physics and Electronics. — 2018. — Vol. 26, N 1. — P. 77–82. — <https://doi.org/10.15421/331813>
13. Herrmann W., Adrian M., Wiesner W. Operational behaviour of commercial solar cells under reverse biased conditions // Proceedings of the Second World conference on photovoltaic solar energy conversion. — Austria, Vienna. — 1998. — P. 2357–2359.
14. Накашидзе Л. В., Кныш Л. И. Методология определения состава и схемных решений солнечных фотоэлектрических установок // Авиационно-космическая техника и технология. — 2008. — № 10 (57). — С. 100–104.
15. Тонкошкур О. С., Иванченко А. В., Накашидзе Л. В., Мазурик С. В. Захист сонячних батарей від електричних перевантажень: монографія / За заг. ред. О. С. Тонкошкура. — Дніпро: ТОВ „АКЦЕНТ ПП”, 2018. — 113 с.
16. Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов. — Москва: Наука, 1985. — 280 с.
17. Тонкошкур О. С. Схемотехнічні технології підвищення надійності відновлюваних джерел енергії на основі сонячних батарей з використанням елементів функціональної електроніки // Матеріали VII МНПК «Розвиток бізнес-аналітики, обліку та оподаткування в умовах глобалізації, загострення енергетичних проблем». — Україна, м. Дніпро. — 2019. — С. 210–212.
18. Трусов В. А., Гусев А. М. Элементы защиты электрических цепей от перенапряжений и сверхтоков // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». — 2011. — Т. 2. — С. 221–224.

Дата поступления рукописи  
в редакцию 17.07 2019 г.

DOI: 10.15222/ТКЕА2019.3-4.19  
УДК 621.31

О. В. ИВАНЧЕНКО, О. С. ТОНКОШКУР

Україна, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
E-mail: IvanchenkoAV@ukr.net

## ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНІЄВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ ПІСЛЯ СТРУМОВИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ

*Дослідженню впливу струмових перевантажень і локальних перегрівів на деградацію електричних характеристик фотоелектричних компонентів сонячних батарей останнім часом приділяється багато уваги. Це пов'язано, насамперед, із задачами підвищення надійності та довговічності експлуатації цих відновлюваних джерел електричної енергії. Особливу увагу такі дослідження привертають у зв'язку з появою нових методів і пристроїв підвищення надійності сонячних батарей шляхом ізоляції неактивних (дефектних або затінених) областей їхніх фотоелектричних компонентів (фотоелектричних перетворювачів і фотоелектричних модулів).*

*У даній роботі наведено результати досліджень впливу струмових перевантажень на вольт-амперні та вольт-ватні характеристики та електричні параметри фотоелектричних перетворювачів сонячних батарей на основі монокристалічного кремнію.*

*При випробуваннях використовувався режим циклічних струмових перевантажень — пропускання протягом декількох секунд електричного струму пробою через зворотно включений діод фотоелектрич-*



ного перетворювача з наступним охолодженням до кімнатної температури. Після кожного циклу вимірювались вольт-амперна та вольт-ватна характеристики.

В результаті досліджень встановлено погіршення всіх основних електричних параметрів фотоелектричних перетворювачів (зменшення напруги розімкненого кола, струму короткого замикання, фактора заповнення вольт-амперної характеристики і максимальної потужності) та визначено адитивний характер їхніх змін. Проведено порівняння діапазону часу спрацьовування запобіжників PolySwitch з тривалістю розвитку пробою фотоелектричних перетворювачів. Зроблено висновок про перспективу використання самовідновлюваних запобіжників PolySwitch як засобів захисту сонячних батарей від струмових перевантажень.

**Ключові слова:** фотоелектричний перетворювач, вольт-амперна характеристика, вольт-ватна характеристика, пробій, деградація, самовідновлюваний запобіжник.

DOI: 10.15222/ТКЕА2019.3-4.19  
UDC 621.31

A. V. IVANCHENKO, A. S. TONKOSHKUR

Ukraine, Oles Honchar Dnipro National University  
E-mail: IvanchenkoAV@ukr.net

## CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF SILICON PHOTOVOLTAIC CELLS OF SOLAR ARRAYS AFTER CURRENT OVERLOADS

*Recently, much attention has been paid to the study of the influence of current overloads and local overheating on the degradation of the electrical characteristics of the photovoltaic components of solar arrays. First of all, it is connected with the tasks of increasing the reliability and durability of the operation of such renewable sources of electrical energy. Such studies are of particular interest due to the recent emergence of new methods and devices for improving the reliability of solar arrays by isolating inactive (defective or shaded) areas of their photovoltaic components (photovoltaic cells and photovoltaic modules).*

*This paper presents the research results on the influence of current overloads on the current-voltage and volt-watt characteristics and the electrical parameters of photovoltaic cells of solar arrays based on monocrystalline silicon.*

*The testing was performed using the cyclic current overload mode, which is the flow of electric breakdown current passed through the back-turned diode of a photovoltaic cell for several seconds. After that, the photovoltaic cell was cooled to room temperature, and then its current-voltage and volt-watt characteristics were measured.*

*The degradation (decrease) of all the basic electrical parameters of photovoltaic cells (open-circuit voltage, short-circuit current, filling factor of the current-voltage characteristic, and maximum power) has been established. The additive nature of the changes and the average relative decrease of the indicated electrical parameters for one breakdown cycle are determined. Comparison of the response time range of the PolySwitch fuses with the breakdown durations of photovoltaic cells is performed. The conclusion is drawn about the prospect of using such resettable fuses as protection in emergency situations that are associated with current overloads in solar arrays.*

**Keywords:** photovoltaic cell, current-voltage characteristic, volt-watt characteristic, breakdown, degradation, resettable fuse.

### REFERENCES

1. Köntges M., Kurtz S., Packard C. et. al. Review of failures of photovoltaic modules. IEA PVPS Task 13, 2014, 132 p.
2. United Solar Technologies / [Electronic resource]. Access mode: <http://ust.su/solar/media/section-inner17/1595/16.07.2109> (Rus)
3. Tonkoshkur O.S., Nakashydz L. V. [Problems of reliability of photovoltaic components of solar arrays]. Vidnovliuvana Enerhetyka (Renewable energy), 2018, no. 3, pp. 21–31. (Ukr)
4. Radziemska E. Effect of temperature on dark current characteristics of silicon solar cells and diodes. *International Journal of Energy Research*, 2006, vol. 30, iss. 2, pp. 127–134. <https://doi.org/10.1002/er.1113>
5. Flammini M. G., Debernardi N., Le Ster M. et. al. The influence of heating time and temperature on the properties of CIGSSe solar cells. *International Journal of Photoenergy*, 2016, vol. 2016, article ID 4089369, 7 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4089369>
6. Ivanchenko A.V., Mazurik S.V., Tonkoshkur A.S. [Investigation of the characteristics of silicon photovoltaic converters of solar batteries in case of overheating]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2018, no. 4, pp.14–20. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.4.14> (Rus)
7. Gudkova A. V., Gubin S. V., Belokon' V. I. [Thermal stabilization of solar cells for current-voltage characteristics measurement with the pulsed light source]. *Otkrytyye infor-*

*matsionnyye i komp'yuternyye integrirovannyye tekhnologii*, 2012, no. 57, pp. 187–196. (Rus)

8. Tonkoshkur A. S., Ivanchenko A. V., Nakashydz L. V., Mazurik S. V. [Application of resettable elements for electrical protection of solar batteries]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2018, no. 1, pp. 43–49. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.1.43> (Rus).

9. Gavrikov V. [Resettable PTC fuses for protection of current overload]. *Novosti Elektroniki*, 2014, no. 12, pp. 11–15. (Rus)

10. Bishop J. W. Microplasma breakdown and hot-spots in silicon solar cells. *Solar Cells*, 1989, vol. 26, iss. 4, pp. 335–349. [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(89\)90093-8](https://doi.org/10.1016/0379-6787(89)90093-8)

11. Breitenstein O., Bauer J., Bothe K. et al. Understanding junction breakdown in multicrystalline solar cells. *Journal of Applied Physics*, 2011, vol. 109, iss. 7, article ID 071101, 10 p. <https://doi.org/10.1063/1.3562200>

12. Ivanchenko A. V., Tonkoshkur A. S., Mazurik S. V. Application of “PolySwitch” fuses for the limitation of current overloads in photovoltaic systems of solar arrays. *Journal of Physics and Electronics*, 2018, vol. 26, no. 1, pp. 77–82. <https://doi.org/10.15421/331813>

13. Herrmann W., Adrian M., Wiesner W. Operational behaviour of commercial solar cells under reverse biased conditions. / *Proceedings of the Second World Conference*

*on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Austria, Vienna, 1998, pp. 2357–2359.

14. Nakashidze L. V., Knysh L. I. [Methodology for determining the composition and circuit design of solar photovoltaic equipments]. *Aviatsionno-Kosmicheskaya Tekhnika i Tekhnologiya*, 2008, no. 10 (57), pp. 100–104. (Rus)

15. Tonkoshkur O. S., Ivanchenko O. V., Nakashydz L. V., Mazuryk S. V. [Protection of solar arrays from electrical overloads: monograph] *Zakhyst Sonyachnykh Batarey vid Elektrychnykh Perevantazhen'*. Dnipro, Ltd. „AKTsENT PP”, 2018, 113 p. (Ukr)]

16. Koltun M. M. [Optics and Metrology of Solar Elements] *Optika i Metrologiya Solnechnykh Elementov*, Moscow, Nauka, 1985, 280 p. (Rus)

17. Tonkoshkur A. S. [Schematic technologies for improving the reliability of renewable energy sources based on solar arrays using functional electronics elements]. *Mater. of the VII Int. Scientific-Practical Conference “Development of Business-Analytics, Accounting and Taxation in the Conditions of Globalization, Aggravation of Energy Problems”*, Ukraine, Dnipro, 2019, pp. 210–212. (Ukr)

18. Trusov V. A., Gusev A. M. [Elements of protection of electrical circuits against overvoltages and overcurrents]. *Proceedings of International Symposium “Reliability and Quality”*, 2011, vol. 2, pp. 221–224. (Rus)

**Описание статьи для цитирования:**

Иванченко А. В., Тонкошкур А. С. Изменения характеристик кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей после токовых перегрузок. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2019, № 3-4, с. 19–25. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.3-4.19>

**Cite the article as:**

Ivanchenko A. V., Tonkoshkur A. S. Changes in the characteristics of silicon photovoltaic cells of solar arrays after current overloads. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2019, no. 3-4, pp. 19-25. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.3-4.19>

**Матяш І. Є., Мінайлова І. А., Міщук О. М., Руденко С. П., Стеценко М. О., Сердега Б. К. Фізика і техніка модуляційної поляриметриї: монографія.— Київ: Кафедра, 2018.**

Монографія охоплює результати наукових та практичних досліджень явищ, пов'язаних з природною та штучною анізотропією діелектричних властивостей у твердих тілах, індукованою різноманітними внутрішніми та зовнішніми чинниками. У ній викладено значний обсяг результатів, отриманих за дослідження напівпровідникових кристалів та численних некристалічних матеріалів. Основну увагу зосереджено на явищах подвійного променезаломлення та дихроїзму, що супроводжують взаємодію лінійно поляризованого випромінювання з анізотропними матеріалами. Представлено виявлені особливості кінетики та динаміки термонапружень, індукованих радіаційними нагріваннями та охолодженнями, резонансних явищ нано- та макророзмірних об'єктах. Окремо викладено результати розроблення фізико-технічних основ модуляційної поляриметриї, яка характеризується підвищеною виявною та інформативною здатністю щодо вимірюваних величин. Показано, що отриманим результатам властива наукова та практична значимість у вигляді діагностичних засобів та сенсорних застосувань.

Для науковців-експериментаторів у галузях фізики, хімії, матеріалознавства, біології й медицини, дослідників та інженерів-виробничників, що спеціалізуються на розробці та діагностиці різноманітних технологічних процесів, а також викладачів фізико-технічних кафедр вищих навчальних закладів, аспірантів та студентів.

