

*Саттаров С.А.,*

*доцент кафедры «Радиоэлектроника»*

*Джизакского политехнического института*

*Каримов Д.Д.*

*Студент группы 440-22 «РО и С»*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ  
ПУТЕМ Понижения потерь мощности на диодах  
ШОТТКИ**

*Аннотация. В данной статье рассматривается влияние температурной зависимости параметров диодов Шоттки на общий коэффициент полезного действия (К.П.Д.) фотовольтаической станции. Экспериментально изучены температурные зависимости вольт-амперных характеристик диодов Шоттки различных фирм-изготовителей. Намечены пути повышения К.П.Д. солнечной панели через минимизацию потерь мощности блокирующих и шунтирующих диодов Шоттки.*

*Ключевые слова: Диод Шоттки, солнечные элементы, солнечные панели.*

*Sattarov S.A.,*

*Associate Professor, Department of Radioelectronics, Jizzakh*

*Polytechnic Institute*

*Karimov D.D.*

*Student of group 440-22 "RO and S"*

**INCREASING SOLAR PANEL EFFICIENCY BY REDUCING  
POWER LOSSES ON SCHOTTKY DIODES**

*Annotation. This article examines the influence of the temperature dependence of the parameters of Schottky diodes on the overall efficiency of a*

*photovoltaic station. The temperature dependences of the current-voltage characteristics of Schottky diodes from various manufacturers were experimentally studied. Ways to increase efficiency have been outlined. solar panel through minimizing power losses of blocking and shunting Schottky diodes.*

*Key words: Schottky diode, solar cells, solar panels.*

**Введение.** Эффективность солнечной батареи сильно зависит от температуры солнечного модуля. Стандартные условия испытаний (STC-Standard Test Conditions ) — это широко используемый отраслевой стандарт для испытаний, в том числе и для солнечных панелей. Параметры STC отражают работу солнечной панели в идеальных условиях. При этом освещенность должна быть 1000 Вт/м<sup>2</sup> и температура солнечного модуля — 25 °С. Спектр излучения должен соответствовать массе воздуха 1,5, а скорость ветра должна быть равна нулю. Масса воздуха, равная 1, принимается при условиях, когда солнце находится прямо над головой. Для испытаний по STC было принято значение массы воздуха 1.5. Это некоторая усредненная цифра, позволяющая оценить потери в атмосфере на широтах, отличных от экватора [1].

Сам по себе рейтинг STC не указывает на качество сборки и то, насколько хорошо он будет работать в реальных условиях. Для выполнения этого требования имеется другой набор тестовых условий, известный как тестовое условие PVUSA- Photovoltaics for Utility-Scale Applications или PV-USA Test Conditions (PTC) [2]. В отличие от STC, PTC устанавливает температуру окружающей среды при испытаниях и моделирует повышение температуры ячейки при определенных скоростях ветра. В данных условиях панель нагревается, выходное напряжение падает, а вместе с ним и мощность. Потеря мощности значительно влияет на производительность и становится ключевой характеристикой, которую следует учитывать при выборе солнечных батарей [3,4].

Вместе с тем, при нагреве панели нагреваются и диоды Шоттки, которые установлены непосредственно на панели (блокирующие) и в токоведущих коннекторах (шунтирующие, Рис.1)

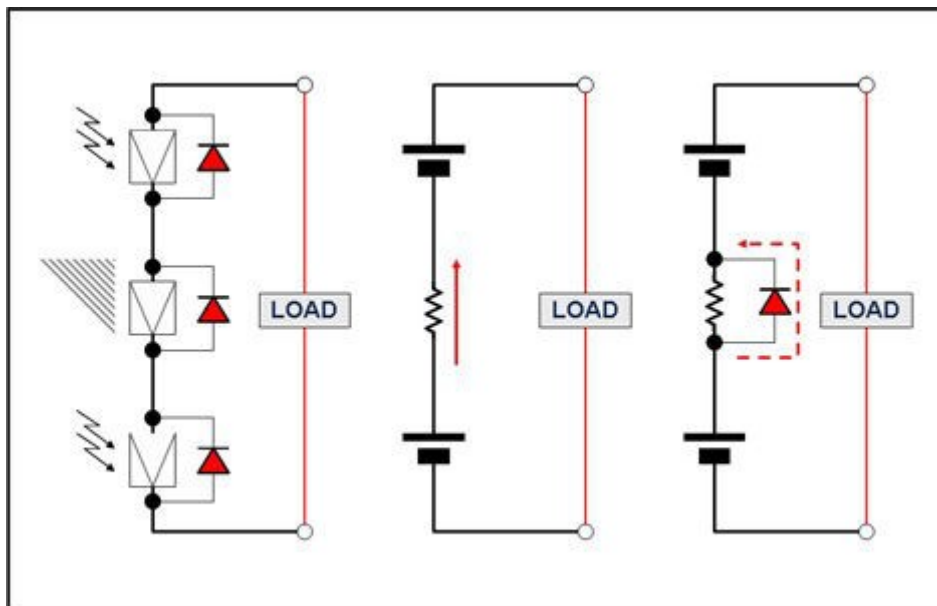


Рис.1 Расположение шунтирующих диодов

По этому для панели важен следующий дополнительный параметр - Номинальная рабочая температура солнечного элемента NOCT - Nominal Operating Cell Temperature [5]. Номинальная рабочая температура солнечного элемента (NOCT) измеряется при освещении солнечной панели солнечным светом интенсивностью 800 Вт/м<sup>2</sup> и температуре воздуха 20°C. Цепь электрическая при этом разомкнута, угол наклона модуля 45° с ориентацией на юг. Чем ниже NOCT, тем лучше будет работать модуль в реальных условиях. Температура хорошего солнечного элемента для испытаний на NOCT должна быть в районе 43-50°C. Однако, в условиях Узбекистана, когда в летнее время температура окружающего воздуха может достигать 50-55°C температура солнечного элемента может подняться свыше 80°C, что приведет к резкому общему падению К.П.Д. солнечной батареи [6,7]. В данной статье рассмотрено влияние повышения температуры на К.П.Д. солнечной батареи за счет потери мощности на диодах Шоттки.

**Эксперимент.** В данной работе исследовались Диоды Шоттки изготавливаемые и используемые исключительно для солнечных батарей(20А, 50В) [8], сопоставлены их температурные зависимости электрических параметров (Табл.1)

Таблица 1. Перечень исследованных диодов Шоттки

Тип исследованного диода Шоттки для солнечной панели	Фирма изготовитель
20SQ045	<a href="http://www.taychipst.com">www.taychipst.com</a> , Chine
20SQ045	<a href="http://www.liteon.com">www.liteon.com</a> , Singapore
SFDS2045Le3	<a href="http://www.microsemi.com">www.microsemi.com</a> , USA
MC4 15A	<a href="http://www.reenergo.ru">www.reenergo.ru</a> , Russia
PT001H-25-4	<a href="http://www.ooitech.com">www.ooitech.com</a> , Chine
SM74611	<a href="http://www.ti.com">www.ti.com</a> , Texas instruments, USA

Для измерений использовалось измерительное оборудование фирмы “РОДЕ и ШВАРЦ”. Измерение вольт – амперных характеристик диодов Шоттки проводилось на постоянном токе. Внешняя температура диодов поддерживалась с точностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Все измерения диодов в первую очередь ориентировались на электрические параметры одной фотовольтаической панели размером 2,26x1,13м фирмы “ООИТЕСН”(Китай), собираемой на заводе Джизакского политехнического института со следующими значениями[9,10]:

Таблица №2 Электрические параметры панели фирмы “ООИТЕСН”[4]

Параметр	Значение
Ток короткого замыкания, $I_{sc}$	14,7 А
Напряжение холостого режима, $U_{oc}$	49,5 В
Пиковая мощность панели, $P_m$	555 Вт
Сила тока на максимуме мощности, $I_{pm}$	13,9 А
Напряжение на максимуме мощности $U_{pm}$	39,9 В

**Результаты.** На рис. 1 представлен типичный график температурной зависимости прямого тока диода Шоттки (20А, 50В) от

внешней температуры диода.

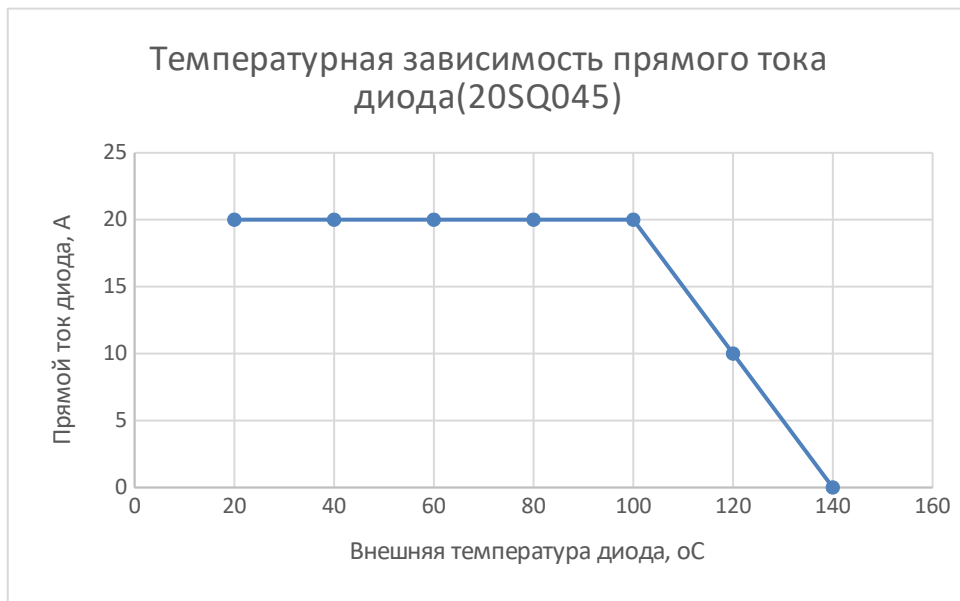


Рис.2 Температурный спад прямого тока диода Шоттки

При измерениях температурной зависимости обратного тока от процента пикового обратного напряжения, были получены типичные результаты [11].

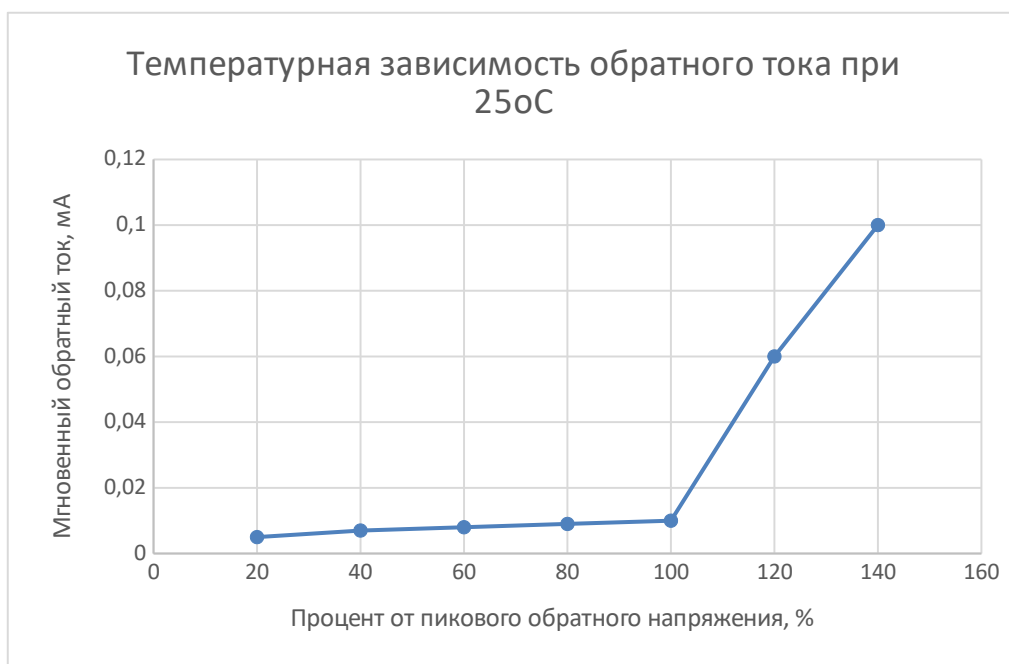


Рис. 3 Температурная зависимость обратного тока при 25 °C

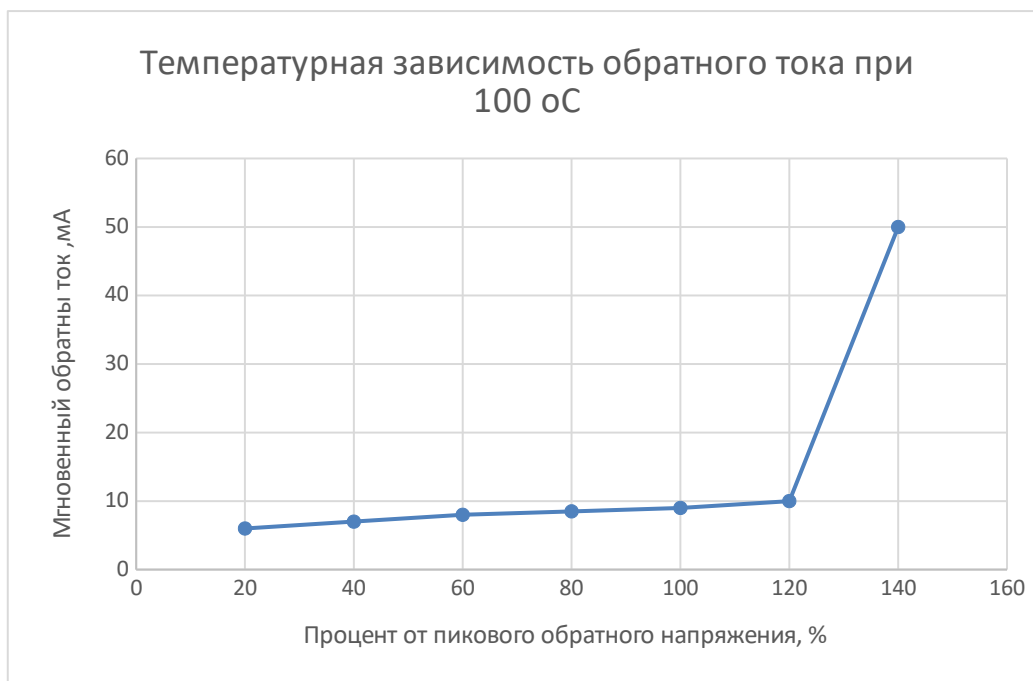


Рис.4 Температурная зависимость обратного тока при 100 оС

### Обсуждение.

Примерные температурные коэффициенты солнечной панели имеют следующие значения (Табл. 3) [12].

Таблица 3 Температурные коэффициенты солнечной панели

Температурный коэффициент (Т.К.)	Значение
НОСТ* ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )	$47 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Т.К. по мощности ( $P_{\text{max}}$ )	$0,45 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$
Т.К. по напряжению ( $U_{\text{oc}}$ )	$0,35 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$
Т.К. по току ( $I_{\text{sc}}$ )	$0,04 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$

По полученным температурным зависимостям можно сделать вывод, что в пределах заводского температурного интервала т.е. до  $140^{\circ}\text{C}$  прямой ток не изменяется. Это показывает, что прямое сопротивление диода не подвержено температурным изменениям. Однако, этого нельзя сказать для обратного тока, где он возрастает в 500 раз и при  $100^{\circ}\text{C}$  имеет значения 50 мА. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) барьера Шоттки имеет ярко

выраженный несимметричный вид [13]. В области прямых смещений ток экспоненциально сильно растет с ростом приложенного напряжения. В области обратных смещений ток от напряжения почти не зависит [14]. При прямом и обратном смещении, ток в барьере Шоттки обусловлен основными носителями - электронами. Инжекция неосновных носителей в базу в таких диодах отсутствует. Ток образуется только электронами, движущимися из кремния в металл. По этой причине у диодов Шоттки отсутствует накопление зарядов в базе (отсутствуют рекомбинационные и диффузионные процессы) и время переключения значительно меньше, чем время переключения обычного диода [15]. Стоит отметить, что применение диодов Шоттки в сравнении, например, с обычными кремниевыми диодами, позволяет снизить прямое падение напряжения с 0,6 - 0,7 В до 0,2 - 0,4 В.

Если принять минимальное падение напряжение 0,2 В на один диод, то для фотовольтаической станции мощностью 100КВт, общей численностью панелей 200( при средней мощности 500Вт) количество диодов будет равно 600. При среднем токе 15А, общая потеря мощности только на диодах в прямом направлении будет  $P_{пр} = 1800$ Вт. Обратный ток в 50мА в условиях жаркого климата Узбекистана, также приведет к дополнительной потере мощности  $P_{обр} = 500$  Вт. Таким образом, в летний период при общей мощности станции около 100 КВт, потеря мощности в диодах Шоттки будет составлять около 3 КВт. Процентная потеря мощности из-за превышения температуры солнечного элемента на 40°C (исходя из температурного коэффициента 0,45%/°C) будет равна 18% из этого 16% приходится на потери в диодах Шоттки [16].

**Заключение.** Исследование показало, что для больших фотовольтаических станций потеря мощности на блокирующих и шунтирующих диодов может достигать 3%. Для снижения потерь в целом необходимо снизить количество блокирующих диодов и применить

специальную электронную схему с блокированием обратного тока. В целях сокращения числа шунтирующих диодов, в случаях если имеется гарантированное освещение всех участков одной панели, можно на некоторых панелях убрать шунтирующие диоды [17]. Следует внимательно рассмотреть ВАХ используемых диодов Шоттки и первую очередь использовать диоды, которые имеют малую потерю напряжения в прямом направлении. Необходимо также учитывать, что при кратковременном превышении максимального обратного напряжения (при грозовой атаке) диод Шоттки необратимо выходит из строя. Выход из строя приведет к большей потере мощности. В целом, рынок солнечных панелей постоянно стремится к разработке все более эффективных систем, с большим К.П.Д. В связи с этим, кроме разработки новых солнечных элементов, следует обратить внимание и на технологию получения новых более эффективных диодов с меньшим падением напряжения.

#### **Литература**

1. Mustofoqulov, J. A., & Bobonov, D. T. L. (2021). "MAPLE" DA SO'NUVCHI ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLARNING MATEMATIK TANLILI. *Academic research in educational sciences*, 2(10), 374-379.
2. Mustofoqulov, J. A., Hamzaev, A. I., & Suyarova, M. X. (2021). RLC ZANJIRINING MATEMATIK MODEL VA UNI "MULTISIM" DA HISOBLASH. *Academic research in educational sciences*, 2(11), 1615-1621.
3. Иняминов, Ю. А., Хамзаев, А. И. У., & Абдиев, Х. Э. У. (2021). Передающее устройство асинхронно-циклической системы. *Scientific progress*, 2(6), 204-207.
4. Каршибоев, Ш. А., Муртазин, Э. Р., & Файзуллаев, М. (2023). ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ. *Экономика и социум*, (4-1 (107)), 678-681.
5. Мулданов, Ф. Р., Умаров, Б. К. У., & Бобонов, Д. Т. (2022). РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЙ, АЛГОРИТМА И ЕГО ПРОГРАММНОГО



ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА. *Universum: технические науки*, (11-3 (104)), 13-16.

6. Мулданов, Ф. Р., & Иняминов, Й. О. (2023). МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ РОБОТА-АНАЛИЗАТОРА В ВИДЕОТЕХНОЛОГИЯХ. *Экономика и социум*, (3-2 (106)), 793-798.

7. Ирисбоев, Ф. Б., Эшонкулов, А. А. У., & Исломов, М. Х. У. (2022). ПОКАЗАТЕЛИ МНОГОКАСКАДНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ. *Universum: технические науки*, (11-3 (104)), 5-8.

8. Zhabbor, M., Matluba, S., & Farrukh, Y. (2022). STAGES OF DESIGNING A TWO-CASCADE AMPLIFIER CIRCUIT IN THE "MULTISIM" PROGRAMM. *Universum: технические науки*, (11-8 (104)), 43-47.

9. Каршибоев, Ш., & Муртазин, Э. Р. (2022). ТИПЫ РАДИОАНТЕНН. *Universum: технические науки*, (11-3 (104)), 9-12.

10. Омонов С.Р., & Ирисбоев Ф.М. (2023). АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЭМС НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ R&S ELEKTRA. *Экономика и социум*, (5-1 (108)), 670-677.

11. Саттаров Сергей Абудиевич, & Омонов Сардор Рахмонкул Угли (2022). ИЗМЕРЕНИЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА FPC1500. *Universum: технические науки*, (11-3 (104)), 17-20.

12. Якименко, И. В., Каршибоев, Ш. А., & Муртазин, Э. Р. (2023). Джизакский политехнический институт СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ РАДИОЧАСТОТ. *Экономика и социум*, 1196.

13. Абдиев, Х., Умаров, Б., & Тоштемиров, Д. (2021). Структура и принципы солнечных коллекторов. In *НАУКА И СОВРЕМЕННОЕ*

*ОБЩЕСТВО: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ* (pp. 9-13).

14. Раббимов, Э. А., & Иняминов, Ю. О. (2022). ВЛИЯНИЕ ОКИСНОЙ ПЛЕНКИ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСПЫЛЕНИЯ КРЕМНИЯ. *Universum: технические науки*, (11-6 (104)), 25-27.

15. Mustafaqulov, A. A., Sattarov, S. A., & Adilov, N. H. (2002). Structure and properties of crystals of the quartz which has been growth up on neutron irradiated seeds. In *Abstracts of 2. Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application*.

16. Раббимов, Э. А., Жўраева, Н. М., & Ахмаджонова, У. Т. (2020). Влияние окисной пленки на коэффициенты распыления кремния. *Экономика и социум*, (6-2 (73)), 187-189.

17. Yuldashev, F. (2023). HARORATI MOBIL ELEKTRON QURILMALAR ASOSIDA NAZORAT QILINADIGAN QUYOSH QOZONI. *Interpretation and researches*, 1(1).