

УДК 621.383.4

Ф.В. Саврасов

Исследование параметров складной солнечной батареи при искусственном освещении

Предложена методика, которой следует руководствоваться для определения параметров солнечной батареи в искусственных условиях при невозможности проведения исследований согласно стандартным условиям испытаний. Осуществлены измерения основных характеристик солнечной батареи в искусственных условиях и при стандартных условиях испытаний, проведены сравнения полученных результатов. Исследована возможность измерения параметров батареи при импульсном освещении.

Ключевые слова: солнечная батарея, стандартные условия испытаний, фотоэлемент, импульсное освещение.

В данной работе описываются результаты экспериментальных исследований солнечных батарей СФБ-15-15 (рис. 1), серийно изготавливаемых в ОАО «НИИПП». Отличительные их особенности состоят в тепловом режиме работы и использовании герметизирующих слоев на основе поливинилбутираля и ламинирующей пленки вместо стекла.

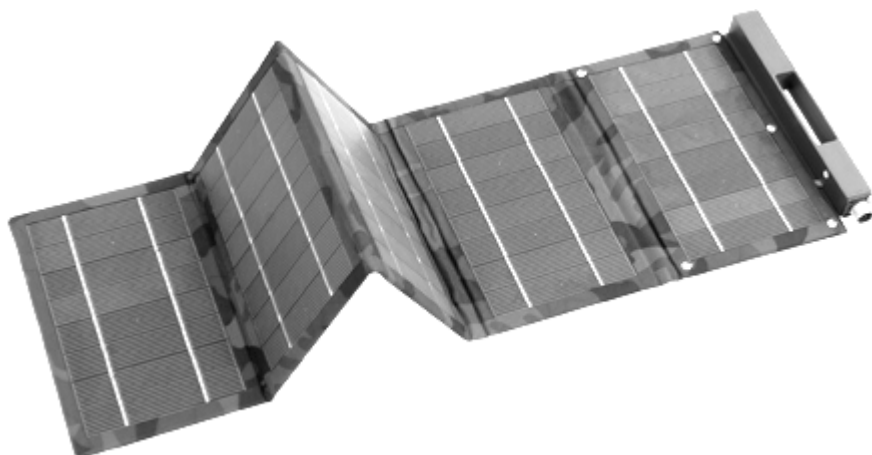


Рис. 1. Вид батареи СФБ-15-15 в разложенном состоянии

Измерение параметров солнечной батареи при искусственном освещении. Работа солнечных батарей (СБ) на открытом воздухе характеризуется зависимостью выходной электрической мощности от положения солнца на небосводе и метеоусловий. Следовательно, в течение светового дня выработка электроэнергии будет меняться от нулевого значения до некоторого максимального (с последующим спадом до нулевого).

Определить уменьшение максимальной мощности СБ можно, воспользовавшись формулой

$$P_{\max} = 0,7 I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{хх}}. \quad (1)$$

Данная формула выведена автором на основе ряда исследований различных пластин монокристаллического кремния того типа, из которого изготовлена рассматриваемая батарея (кремниевый монокристалл наращивается на семени, которое вытягивается из кремниевого расплава в течение длительного времени). Коэффициент 0,7 носит название «фактор заполнения» и является полученным экспериментально.

Наличие облаков, дождя, снега и прочих метеорологических факторов также влияет на выработку электроэнергии. Для того чтобы характеризовать солнечные фотоэлектрические приборы в качестве источника электричества, Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендовала определять параметры СБ при стандартных условиях испытаний (СУИ) [1].

Согласно зарубежным и отечественным стандартам требуется записывать ВАХ при СУИ, откуда определяются все параметры: ток короткого замыкания $I_{\text{кз}}$, напряжение холостого хода $U_{\text{хх}}$, значение максимальной мощности P_{\max} , коэффициент полезного действия. Измерения при условиях,

отличающихся от СУИ, должны проводиться с использованием контрольного образца, измеренного при СУИ. Отмечается, что с изменением положения солнца на небосводе в течение светлого времени суток спектр солнечного света существенно изменяется, что затрудняет приведение ВАХ к СУИ для плотностей потока солнечного излучения менее 800 Вт/м^2 [2]. При отсутствии контрольного образца в последнем случае необходимо иметь как пиранометр, так и спектрорадиометр для коррекции спектра солнечного излучения.

Однако если проводить измерительный процесс в соответствии с рекомендациями зарубежных и отечественных стандартов, то требуются большие материальные вложения на его постановку и осуществление. Поэтому в данной работе предлагается метод измерения только 2 параметров: $I_{кз}$ и U_{xx} при любой освещенности природного (солнце) или искусственного происхождения методом отождествления с контрольным образцом, измеренным при СУИ, и приведением измеренных значений к СУИ. При этом пиковую мощность предлагается отнести к справочным характеристикам и определять её из формулы (1). К справочным следует отнести и значение номинального напряжения, определенного как

$$U_{ном} = 0,75 U_{xx}. \quad (2)$$

Значение коэффициента в формуле (2) также взято из результатов практических измерений и является типичным для кремниевых фотоэлементов.

Для контрольного образца СБ ток короткого замыкания $I_{кз1}$, измеренный при СУИ, равен

$$I_{кз1} = q \cdot N_1 \cdot S, \quad (3)$$

где q – заряд электрона; N_1 – количество квантов света из области спектральной чувствительности СБ, падающих на единицу поверхности батареи за единицу времени; S – площадь рабочей поверхности СБ.

Далее при облучении этой же контрольной СБ светом любой интенсивности (как естественной, так и искусственной природы), ток короткого замыкания $I_{кз2}$ запишется аналогично:

$$I_{кз2} = q \cdot N_2 \cdot S, \quad (4)$$

где N_2 – количество квантов света от произвольного источника излучения из области спектральной чувствительности СБ, падающих на единицу поверхности батареи за единицу времени.

Сравнивая (3) и (4), можно видеть, что ток короткого замыкания зависит только от количества квантов света, которые участвуют в генерации фототока, и не зависит от других характеристик возбуждающего излучения. Поэтому нет оснований накладывать ограничения на интенсивность излучения источника света на измерительной установке, а отношение (3) к (4) является коэффициентом пересчета значения тока короткого замыкания измеряемой СБ.

Отношение для приведения к СУИ значения тока короткого замыкания имеет вид

$$I_{кз пр} = I_{кз изм} \cdot (I_{кз1} / I_{кз2}),$$

где $I_{кз пр}$ – приведенное к СУИ значение тока короткого замыкания измеряемой СБ; $I_{кз изм}$ – значение тока короткого замыкания СБ, получаемое как при естественном (солнечном), так и искусственном освещении; $I_{кз1}$ – ток короткого замыкания контрольной СБ, измеренный при СУИ; $I_{кз2}$ – ток короткого замыкания контрольной СБ, полученный на измерительной установке.

Соответственно, отношение для приведения к СУИ значения напряжения холостого хода имеет вид

$$U_{xx пр} = U_{xx изм} \cdot (U_{xx к1} / U_{xx к2}),$$

где $U_{xx пр}$ – приведенное к СУИ значение напряжения холостого хода измеряемой СБ; $U_{xx к1}$ – напряжение холостого хода контрольной СБ, измеренное при СУИ; $U_{xx к2}$ – напряжение холостого хода контрольной СБ, полученное на измерительной установке; $U_{xx изм}$ – значение напряжения холостого хода, полученное на измерительной установке.

Сравнительные измерения. Для исследования были взяты несколько солнечных батарей СФБ-15-15, ВАХ которых были сняты при СУИ с использованием специализированной аттестованной автоматической установки на московском заводе «Квант». На рис. 2 представлена одна из таких ВАХ (верхняя кривая). Также ВАХ СФБ-15-15 была снята при искусственном освещении лампами накаливания и в режиме установившейся температуры саморазогрева (рис. 2, нижняя кривая).

Измерение на специализированной установке проводится в импульсном режиме за время менее 0,1 с. За это время саморазогрева СБ не происходит. Компьютер сразу же выдает все характеристики СБ, приведенные к температуре (с прибавлением $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Для ВАХ, приведённой на рис. 2, основные характеристики имеют следующие значения: $I_{кз} = 0,97 \text{ А}$; $U_{xx} = 23,75 \text{ В}$; $P_{max} = 16,09 \text{ Вт}$; $U_{max} = 18,7 \text{ В}$; $I_{max} = 0,86 \text{ А}$; КПД = 13,16%.

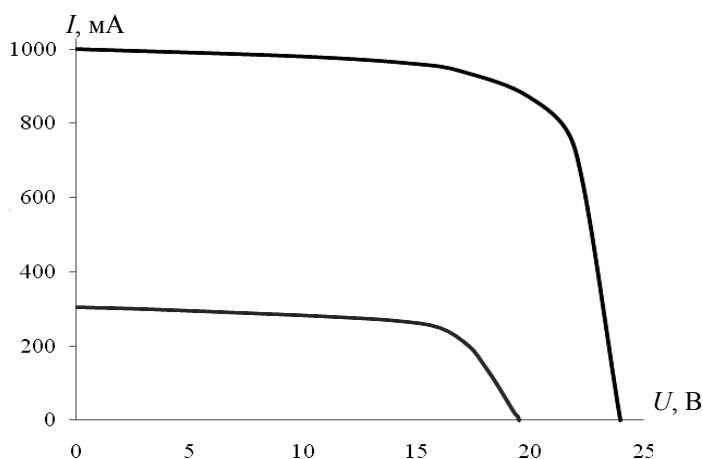


Рис. 2. ВАХ СФБ-15-15, снятые при СУИ и при искусственном источнике освещения

стандартным методом, но значение фактора заполнения при этом сохраняется. Именно последнее обстоятельство подтверждает, что методом отождествления измеряемого образца с контрольным, калиброванным при СУИ, можно проводить измерения тока короткого замыкания и напряжения холостого хода СБ при искусственном или естественном освещении любой интенсивности. Обязательным условием является идентичность по конструкции и технологии изготовления контрольного и измеряемого образцов. Вторым условием является постоянство температуры фотоэлементов во время измерений (25 ± 2 °С). Исключением является случай измерений при установившейся температуре саморазогрева контрольного и измеряемого образцов.

Импульсное освещение СБ. Измерение параметров СБ при импульсном освещении предпочтительнее, чем воздействие постоянным излучением, в части исключения эффектов саморазогрева фотоэлементов за время измерений [3, 4]. Но, как было указано выше, применяемые кремниевые фотоэлементы имеют дефекты структуры, которые могут определять быстродействие СБ. Кроме того, паразитная емкость p - n -перехода также играет заметную роль в инерционности СБ.

Проведено экспериментальное определение минимальной длительности светового импульса, при которой импульс отклика фотоэлемента заметно не искажается. Для этого проводилось освещение солнечного модуля инфракрасным излучателем большой мощности в импульсном режиме. Определено, что импульсы света длительностью более 5 мс пригодны для работы измерительной установки параметров солнечных фотоэлектрических приборов.

Выводы по исследованию. Основные результаты исследований, изложенные в данной работе, сводятся к следующему:

- сопротивление нагрузки в режиме съема максимальной мощности сильно зависит от интенсивности света, а фактор заполнения остается постоянным;
- в качестве основных параметров СБ следует установить ток короткого замыкания и напряжение холостого хода, а пиковую мощность и номинальное напряжение определить как справочные параметры;
- измерение тока короткого замыкания и напряжения холостого хода можно проводить методом отождествления с контрольным образцом при любой интенсивности естественного или искусственного облучения, что позволит значительно снизить материальные затраты на постановку метрики СБ;
- для постановки измерений параметров СБ в импульсном режиме требуется источник света длительностью импульса более 5 мс.

Литература

1. Standard conditions for temperature and pressure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Test_Condition, свободный (дата обращения: 01.08.2012).
2. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 320 с.
3. ГОСТ Р 50705–94. Фотоэлектрические приборы. – Ч. 2. Требования к эталонным солнечным элементам. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1995. – 11 с. – Введ. 1995-01-01.

Здесь U_{\max} и I_{\max} – значения тока и напряжения, соответствующих максимальной мощности. Из приведенных данных следует, что значение мощности СБ стремится к максимальному, если сопротивление нагрузки равно 21,7 Ом.

Для ВАХ, снятой при искусственном освещении, основные характеристики имеют следующие значения: $I_{\text{кз}} = 0,305$ А; $U_{\text{хх}} = 19,5$ В; $P_{\text{max}} = 4,13$ Вт; $U_{\text{max}} = 15,3$ В; $I_{\text{max}} = 0,263$ А. Значение максимальной мощности в данном случае устанавливается при сопротивлении нагрузки 58,2 Ом, что почти в 3 раза больше, чем при измерениях

4. Бакиров М.Я. Фотоэлектрические и радиационные характеристики кремниевых солнечных элементов при повышенных освещенностях и температурах // Физика и техника полупроводников. – 1997. – № 5 (31). – С. 520–522.

Саврасов Фёдор Витальевич

Ст. преподаватель каф. информатики и проектирования систем

Национального исследовательского Томского политехнического университета

Тел.: 8 (383-2) 42-05-09

Эл. почта: savrasov@tpu.ru

Savrasov F.V.

The test of parameters of a folding solar panel under induced light

We suggest a method to be followed for determining the parameters of solar cells in vitro when the research in standard test conditions is impossible. The measurements of basic characteristics of solar cells in vitro and under standard test conditions are carried out, the comparison of the results is considered. The possibility of measuring the parameters of the battery under pulse illumination is examined.

Keywords: solar panel, standart test conditions, photo-element, pulse illumination.