

ГОСТ 28976—91  
(МЭК 891—87)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

---

# ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ И  
ОБЛУЧЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ  
ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Издание официальное

БЗ 3—2004

ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ  
Москва

## МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО  
КРЕМНИЯМетодика коррекции по температуре и облученности результатов  
измерения вольт-амперной характеристикиГОСТ  
28976—91  
(МЭК 891—87)Photovoltaic devices of crystalline silicon. Procedures for temperature and irradiance  
corrections to measured current voltage characteristicsМКС 27.160  
ОКСТУ 3480

Дата введения 01.01.92

В настоящем стандарте представлены методики, по которым должна проводиться коррекция по температуре и облученности результатов измерения вольт-амперной характеристики фотоэлектрических приборов, изготовленных из кристаллического кремния.

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящем стандарте приведены методики коррекции по температуре и облученности результатов измерения вольт-амперных характеристик фотоэлектрических приборов из кристаллического кремния.

Стандарт включает в себя методики для определения температурных коэффициентов, внутреннего последовательного сопротивления и коэффициента корреляции кривой. Эти методики применимы в диапазоне облученности  $\pm 30\%$  уровня, при котором выполнены измерения.

Примечания:

1. Настоящие методики применимы только для приборов с линейной характеристикой преобразования.
2. Фотоэлектрическими приборами называют как одиночные солнечные элементы, так и сборочные узлы и плоские модули.

Для оценки приборов каждого типа используют разные параметры. Температурные коэффициенты модуля или сборочного узла вычисляют по результатам их измерения для одиночного солнечного элемента. Внутреннее последовательное сопротивление и коэффициент корреляции кривой должны измеряться отдельно для модуля и сборочного узла.

3. Термин **испытываемый образец** используют для обозначения любого из этих приборов.

## 2. МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ

Измеренная вольт-амперная характеристика должна быть приведена к виду, который она будет иметь при стандартных условиях испытаний или при других выбранных значениях температуры и облученности. Для этой цели должны использоваться следующие формулы:

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \left[ \frac{I_{SR}}{I_{MR}} - 1 \right] + \alpha (T_2 - T_1); \quad (1)$$

$$V_2 = V_1 - R_s(I_2 - I_1) - KI_2(T_2 - T_1) + \beta (T_2 - T_1), \quad (2)$$

где  $I_1, V_1$  — координаты точек измеренной характеристики;

$I_2, V_2$  — координаты соответствующих точек скорректированной характеристики;

$I_{SC}$  — измеренное значение тока короткого замыкания испытываемого образца;

$I_{MR}$  — измеренное значение тока короткого замыкания эталонного прибора;

- $I_{SR}$  — ток короткого замыкания эталонного прибора при стандартном (или другом заданном) значении облученности;  
 $T_1$  — измеренное значение температуры испытуемого образца;  
 $T_2$  — стандартное (или другое заданное) значение температуры;  
 $\alpha, \beta$  — температурные коэффициенты тока и напряжения испытуемого образца при стандартной или другой заданной облученности в представляющем интерес температурном диапазоне;  
 $R_S$  — внутреннее последовательное сопротивление;  
 $K$  — коэффициент корреляции кривой.

Примечания:

1. В приведенных уравнениях должна использоваться единая система единиц для всех величин.
2. Обозначения физических величин взяты в соответствии с общими рекомендациями (Публикация МЭК 27 «Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике»).
3. Символ  $V$  рекомендуется как резервный (Публикация МЭК 27).

В настоящем стандарте буква  $V$  рекомендована как основной символ для обозначения напряжения, поскольку его используют в литературе по фотоэлектричеству и электронике во многих странах мира.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Температурные коэффициенты тока  $\alpha$  и напряжения  $\beta$  зависят от облученности и в меньшей степени от температуры.

Коэффициенты предпочтительнее измерять на имитаторах солнечного излучения, используя не менее двух солнечных элементов того же типа, площади и размеров, из которых изготовлен модуль.

Примечания:

1. Любое несоответствие между измеренными солнечными элементами и теми, из которых изготовлен модуль, может неблагоприятно влиять на точность коррекции вольт-амперной характеристики модуля.
2. Предпочтительнее использовать импульсный имитатор, т. к. он создает меньший добавочный нагрев солнечного элемента во время измерений.

#### Методика измерений

3.1. Установить на испытуемом солнечном элементе датчик температуры таким образом, чтобы обеспечить измерение температуры с погрешностью не более  $\pm 0,5$  °С.

3.2. Испытуемый солнечный элемент установить на термостатируемый столик, обеспечив хороший тепловой контакт с поверхностью. Присоединить выводы датчика к управляющему блоку для передачи контрольного сигнала.

3.3. Испытуемый и эталонный солнечные элементы установить возможно ближе таким образом, чтобы их активные поверхности находились в рабочей плоскости имитатора.

Отклонение нормали испытуемого и эталонного солнечных элементов от оси пучка излучения не должно превышать  $\pm 5$  °С.

3.4. Отрегулировать облученность в рабочей плоскости имитатора таким образом, чтобы ток короткого замыкания эталонного солнечного элемента при температуре  $(25 \pm 5)$  °С соответствовал его градуировочному значению.

3.5. Измерить ток короткого замыкания  $I_{SC}$  и напряжение холостого хода  $V_{OC}$  испытуемого солнечного элемента в установившемся тепловом режиме при температуре, близкой к минимальной заданного температурного диапазона.

Примечание. Если измерения проводят при температуре ниже температуры воздуха, то необходимо учесть возможность конденсации влаги на активных поверхностях испытуемого и эталонного элементов. Предупредить конденсацию влаги можно использованием потока сухого азота или помещением солнечных элементов в вакуумную камеру.

3.6. Повысить температуру испытуемого солнечного элемента приблизительно на 10 °С и вновь измерить  $I_{SC}$  и  $V_{OC}$ .

Повторять эту процедуру, каждый раз увеличивая температуру приблизительно на 10 °С до максимального заданного значения температурного диапазона.

3.7. Повторить операции по пп. 3.1—3.6 со всеми испытуемыми солнечными элементами.

3.8. Нанести на график значения  $I_{SC}$  и  $V_{OC}$  в функции температуры и построить соответствующие зависимости по методу наименьших квадратов.

3.9. По наклону кривых, выражающих зависимости тока и напряжения от температуры, в точках, лежащих посередине температурного диапазона, вычислить значения температурных коэффициентов  $\alpha_c$  и  $\beta_c$  для каждого испытуемого элемента.

3.10. Для модуля или сборочных узлов температурные коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  вычисляют по формулам:

$$\alpha = n_p \cdot \alpha_c; \quad (3)$$

$$\beta = n_s \cdot \beta_c, \quad (4)$$

где  $n_p$  — число параллельно соединенных солнечных элементов;  
 $n_s$  — число последовательно соединенных солнечных элементов.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Внутреннее последовательное сопротивление  $R_s$  может быть определено на имитаторе солнечного излучения по следующей методике (см. чертеж).

4.1. Измерить вольт-амперную характеристику испытуемого образца при двух значениях облученности (знать точное значение облученности обязательно). Измерения следует проводить при комнатной температуре, причем температура образца в двух измерениях может отличаться не более чем на 2 °С.

4.2. Выбрать точку  $P$  на верхней кривой при напряжении несколько выше, чем  $V_{p, \max}$ . Измерить разность  $\Delta I$  между током в этой точке и током короткого замыкания  $I_{SC_1}$ .

4.3. Определить точку  $Q$  на нижней кривой, при которой ток равен  $I_{SC_2} - \Delta I$ .

4.4. Измерить разность напряжений  $\Delta V$  точек  $P$  и  $Q$ .

4.5. Вычислить  $R_{S_1}$  из  $R_{S_1} = \frac{\Delta V}{I_{SC_1} - I_{SC_2}}$ , (5)

где  $I_{SC_1}$  и  $I_{SC_2}$  — токи короткого замыкания.

4.6. Измерить вольт-амперную характеристику испытуемого образца при третьем значении облученности (температура должна быть той же, что и в первых двух случаях). Повторить операции по пп. 4.3—4.5, используя третью кривую поочередно с первой и второй для определения  $R_{S_2}$  и  $R_{S_3}$ . Вычислить последовательное сопротивление образца  $R_s$ , как среднее из трех:  $R_{S_1}$ ,  $R_{S_2}$ ,  $R_{S_3}$ .

#### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ КРИВОЙ

Коэффициент может быть определен на имитаторе солнечного излучения по следующей методике.

5.1. Измерить вольт-амперную характеристику испытуемого образца при облученности в пределах  $\pm 30\%$  выбранного уровня и при трех разных температурах ( $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ) в интересующем диапазоне по крайней мере 30 °С.

Примечание. Когда измеряют характеристики модуля, необходимо при установке герметизированного модуля в температурно-контролируемой камере с пропускающим окном обеспечить однородность температуры солнечного элемента в пределах  $\pm 2$  °С предполагаемого уровня.

5.2. Используя принятое значение коэффициента (например  $1,25 \times 10^{-3}$  Ом/°С, которое типично для кристаллического кремниевое солнечного элемента), пересчитать характеристику, измеренную при температуре  $T_3$ , к температуре  $T_4$ , применяя следующие формулы:

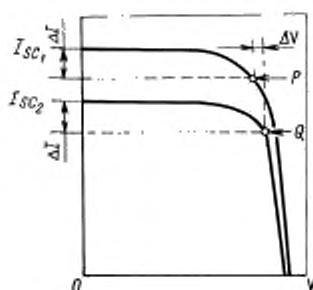
$$I_4 = I_3 + \alpha (T_4 - T_3); \quad (6)$$

$$V_4 = V_3 - KI_4(T_4 - T_3) + \beta (T_4 - T_3), \quad (7)$$

где  $I_3$ ,  $V_3$  — координаты точек характеристики при температуре  $T_3$ ;

$I_4$ ,  $V_4$  — координаты соответствующих точек характеристики при температуре  $T_4$ .

Определение  $R_s$



#### С. 4 ГОСТ 28976—91

5.3. Если характеристика, рассчитанная для температуры  $T_4$ , не совпадает с желаемой точностью с характеристикой, измеренной при температуре  $T_4$ , то необходимо повторить расчеты по п. 5.2 с использованием другого значения коэффициента  $K$  до тех пор, пока рассчитанная характеристика не совпадет с измеренной.

5.4. Когда значение  $K$  определено, пересчитывают характеристики  $T_3$  и  $T_4$  соответственно к температуре  $T_3$ . Если пересчитанные и измеренные характеристики не совпадают, то следует повторить пересчет, используя слегка измененное значение коэффициента  $K$  до тех пор, пока они не будут совпадать.

5.5. Используют среднее значение коэффициента  $K$  из этих определений.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. ПОДГОТОВЛЕН И ВНЕСЕН Межотраслевым государственным объединением «КВАНТЭМП»
2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 19.04.91 № 530
3. Стандарт подготовлен методом прямого применения международного стандарта МЭК 891—87 «Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции по температуре и облученности результатов измерения вольт-амперной характеристики» и полностью ему соответствует
4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ
5. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Раздел, в котором приведена ссылка	Обозначение соответствующего международного стандарта	Обозначение отечественного нормативно-технического документа, на который дана ссылка
2	МЭК 27 (серия стандартов)	Требования указаны в разд. 2 настоящего стандарта

6. ПЕРЕИЗДАНИЕ. Сентябрь 2004 г.

Редактор *В.П. Огурцов*  
Технический редактор *О.Н. Власова*  
Корректор *Т.И. Кононенко*  
Компьютерная верстка *А.Н. Залотаревой*

Изм. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 24.09.2004. Подписано в печать 12.10.2004. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,50.  
Тираж 54 экз. С 4170. Зак. 256.

---

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.  
<http://www.standards.ru> e-mail: [info@standards.ru](mailto:info@standards.ru)  
Набрано и отпечатано в ИПК Издательство стандартов