ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60904-10— 2013

ПРИБОРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Часть 10

Методы определения линейности характеристик

IEC 60904-10:2009
Photovoltaic devices –
Part 10: Methods of linearity measurement

(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Государственным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ВИЭСХ) на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 039 «Энергосбережение, энергетическая эффективность, энергоменеджмент»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05 декабря 2013 г. № 2161-ст с 01 января 2015 г.

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60904-10:2009 «Приборы фотоэлектрические. Часть 10. Методы определения линейности характеристик» (IEC 60904-10:2009 «Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement»)

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5–2012 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 Введен впервые

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРИБОРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
Часть 10
Методы определения линейности характеристик

Photovoltaic devices. Part 10.
Methods of linearity measurement

Дата введения — 2015—01—01

1. Область применения

Настоящий стандарт распространяется на фотоэлектрические приборы и устанавливает процедуры, используемые для оценки степени линейности характеристик фотоэлектрического прибора. Настоящий стандарт устанавливает процедуры определения линейной зависимости какого-либо рабочего параметра фотоэлектрического прибора от одного из параметров условий его функционирования. В основном этот стандарт предназначен для использования производителями приборов и разработчиками систем в калибровочных лабораториях.

Оценки рабочих характеристик фотоэлектрических приборов и систем, а также способы приведения этих характеристик от одного сочетания условий функционирования приборов (например, температуры и энергетической освещенности) к другому часто основаны на использовании линейных уравнений (см. МЭК 60891 и МЭК 61829). Для проведения испытаний фотоэлектрических приборов, как правило, необходимо, чтобы один или несколько параметров испытываемого образца и эталонного прибора имели линейную зависимость от изменения условий испытаний: изменения температуры или/и энергетической освещенности в диапазоне, в

котором проводятся испытания. В настоящем стандарте устанавливаются требования, при выполнении которых характеристики приборов могут считаться линейными, и методы испытаний, которые обеспечивают достоверность результатов применения линейных уравнений. Косвенным образом требования настоящего стандарта определяют диапазоны изменения температуры и энергетической освещенности, в которых допустимо использование линейных уравнений.

Настоящий стандарт применим ко всем фотоэлектрическим приборам и предназначен для проведения испытаний с образцом фотоэлектрического прибора или с аналогичным ему устройством, выполненным по идентичной технологии. Испытание двусторонних приборов может отличаться процедурой измерения температуры. Измерения температуры в этом случае должны проводиться по специальной методике. Может потребоваться использование соответствующих специальных средств измерения и эталонного прибора.

Проверку линейности характеристик фотоэлектрического прибора следует проводить до проведения каких-либо измерений или до процедур коррекции, требующих использования прибора с линейными характеристиками. Применяемая в стандарте методология оценки линейности аналогична методологии МЭК 60891: множество точек экспериментальных данных аппроксимируется линейной функцией (прямой линией) по методу наименьших квадратов. В стандарте рассчитывается отклонение данных от этой функции, и линейность определяется по допустимому относительному отклонению.

Общие процедуры нахождения данных для определения степени линейности рабочих характеристик фотоэлектрических приборов на примере тока короткого замыкания и напряжения холостого хода описаны в разделах 5 и 6. Методы измерений при естественном солнечном освещении и с использованием имитатора солнечного излучения общие для тока короткого замыкания и напряжения, третий (5.3) и четвертый (раздел 6) методы относятся только к току короткого замыкания. Для проверки линейности параметров, определяемых током и напряжением (например, мощность), подходят все четыре метода, однако надо обратить внимание на выбор диапазона, в котором изменяется входной параметр.

Фотоэлектрический прибор считается прибором с линейными характеристиками, если он удовлетворяет требованиям раздела 8 настоящего стандарта.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на приведенные ниже стандарты. Для датированных ссылок применяется только указанное издание. Для недатированных ссылок применяется последнее издание указанного стандарта (со всеми поправками).

МЭК 60891 Приборы фотоэлектрические из кристаллического кремния. Коррекция вольт-амперных характеристик по температуре и энергетической освещенности (IEC 60891:2009, Photovoltaic devices of crystalline silicon/ Procedures for temperature and irradiance corrections to measured current voltage characteristics)

МЭК 60904-1 Приборы фотоэлектрические. Часть 1. Измерение вольт-амперных характеристик (IEC 60904-1, Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics)

МЭК 60904-3 Приборы фотоэлектрические. Часть 3. Принципы измерения параметров наземных приборов при эталонных спектрах энергетической освещенности (IEC 60904-3, Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data)

МЭК 60904-7 Приборы фотоэлектрические. Часть 7. Расчет спектральных поправок при измерениях (IEC 60904-7, Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices)

МЭК 60904-8 Приборы фотоэлектрические. Часть 8. Измерение спектральных характеристик (IEC 60904-8, Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device)

МЭК 60904-9 Приборы фотоэлектрические. Часть 9. Требования к рабочим характеристикам имитаторов солнечного излучения (IEC 60904-9, Photovoltaic devices – Part 7: Solar simulator performance requirements)

МЭК 61215 Модули фотоэлектрические наземные из кристаллического кремния. Методы испытаний (IEC 61215, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval)

МЭК 61646 Модули фотоэлектрические тонкопленочные наземные. Требования к конструкции и типовым испытаниям (IEC 61646 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval)

ИСО/МЭК 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories)

3 Испытательное оборудование

a) Оборудование, необходимое для измерения вольт-амперных характеристик (см. МЭК 60904-1).

b) Оборудование, необходимое для изменения энергетической освещенности в требуемых диапазонах без изменения пространственной однородности и относительного спектрального распределения энергетической освещенности, такое как сеточные фильтры или нейтральные фильтры.

Примечание – Это оборудование и процедура, применяемые для изменения энергетической освещенности, должны быть проверены с помощью радиометра. Изменение относительного спектрального

распределения при изменении энергетической освещенности не изменет значение тока короткого замыкания эталонного прибора более чем на 0,5 % (см. МЭК 60904-7 и МЭК 60904-8). Для больших площадей рабочей поверхности испытываемого образца больше подходят сеточные фильтры.

c) Оборудование, необходимое для изменения температуры испытываемого образца в требуемых диапазонах.

d) Средства регулирования температуры испытываемого образца и эталонного прибора или подвижный экран.

e) Оборудование, необходимое для измерения спектральной чувствительности испытываемого образца (или образца меньших размеров, эквивалентного испытываемому образцу) по МЭК 60904-8 с повторяемостью показаний в пределах ±2 %.

Примечание – В стандарте МЭК 60904-7 приведены методы расчета поправок на несовпадение спектральной чувствительности испытываемого образца и спектральной чувствительности эталонного прибора при испытаниях фотоэлектрических приборов, стандарт МЭК 60904-8 является руководством по измерению спектральных характеристик.

4 Выбор образцов

В тех случаях, когда это возможно, настоящий метод следует применять к полноразмерным образцам. Если это невозможно, следует использовать образец меньших размеров, эквивалентный по конструкции и материалам.

5 Методы испытаний для проверки линейности тока и напряжения

Данный раздел устанавливает три допустимых метода измерений для проверки линейности зависимости тока короткого замыкания от температуры и энергетической освещенности. Данный раздел устанавливает также два допустимых метода измерений для проверки линейности зависимости напряжения холостого хода от температуры и энергетической освещенности.

5.1 Испытания при естественном солнечном освещении

5.1.1 Измерения при солнечном освещении должны проводиться только тогда, когда:

Суммарная энергетическая освещенность на момент начала измерений не меньше значения верхней границы диапазона энергетической освещенности, в котором проводятся испытания.

Колебания энергетической освещенности в течение одного измерения, вызванные кратковременными причинами (облака, дымка, дым), не превышают ±2 % суммарной энергетической освещенности, измеренной эталонным прибором.

Скорость ветра не превышает 2 м/сек.

5.1.2 Установите эталонный прибор и испытываемый образец на двухосевом следящем устройстве как можно ближе друг к другу таким образом, чтобы рабочие поверхности эталонного прибора и испытываемого образца были компланарны. Рабочие поверхности обоих приборов должны быть перпендикулярны прямым солнечным лучам в пределах угла ±1°. Подключите необходимое измерительное оборудование.

Примечание – Для уменьшения влияния изменений спектрального распределения энергетической освещенности описанные ниже измерения следует производить настолько быстро, насколько это возможно в пределах нескольких часов одного дня. Если это невыполнимо, следует вводить спектральные поправки.

5.1.3 Если испытываемый образец и эталонный прибор снабжены средствами регулирования температуры, установите требуемое значение температуры. Если такое регулирование температуры не может быть использовано, то:

a) защитите испытываемый образец и эталонный прибор от солнца и ветра и дождитесь, когда температура образца и эталонного прибора установятся на уровне температуры окружающей среды с отклонением в пределах ±1 °C, или

b) дождитесь, пока температура испытываемого образца и эталонного прибора стабилизируются, или

с) создайте условия, при которых температура испытываемого модуля и температура эталонного прибора станут ниже требуемого значения, после чего дайте им нагреться до требуемого значения температуры естественным путем.

Перед каждым новым циклом измерений 5.1.4 – 5.1.9 температура эталонного прибора также должна быть приведена к равновесной с максимальным отклонением ±1 °С.

5.1.4 После того как температура достигнет требуемого значения, удалите защитный экран (если он используется) и в течение минимально возможного времени измерьте:

значение изменяемого параметра условий испытаний X_i или параметра, его определяющего;

значение параметра испытываемого образца Y_j;

значения температуры и тока короткого замыкания эталонного прибора, $T_э$ и $I_{кз\,э}$;

спектральное распределение энергетической освещенности с помощью спектрорадиометра (если эталонный прибор не используется или его спектральная чувствительность не соответствует спектральной чувствительности испытываемого образца).

5.1.5 Энергетическая освещенность E определяется по измеренному значению тока короткого замыкания эталонного прибора $I_{кз\,э}$ и его калибровочному значению при стандартных условиях испытаний $I_{кз\,э\,СУИ}$. Если температура эталонного прибора во время измерений $T_э$ отличается от температуры, при которой проводилась его калибровка, в уравнение для определения E вводится поправка с использованием температурного коэффициента по току для эталонного прибора $\varkappa_{Iэ}$ (1/°С). Расчет проводят по формуле

$$E = \frac{E_{СУИ} \cdot I_{кз\,э}}{I_{кз\,э\,СУИ}} [1 - \varkappa_{Iэ}(T_э - T_{эСУИ})], \quad (1)$$

где $T_э$ – температура эталонного прибора во время измерений;

$E_{СУИ}$ – энергетическая освещенность, на которую откалиброван эталонный прибор, как правило, 1000 Вт/м^2;

$T_{эСУИ}$ – температура, при которой была выполнена калибровка эталонного прибора, как правило, 25 °С.

Если спектральная чувствительность эталонного прибора отличается от спектральной чувствительности испытуемого образца, необходимо провести корректировку всех измеренных значений E в соответствии с МЭК 60904-7 для пересчета к спектру АМ 1,5.

Примечание – Вместо токов короткого замыкания могут быть использованы значения максимальной мощности и, соответственно, температурный коэффициент мощности эталонного прибора. В этом случае E определяется по формуле (1).

5.1.6 Если изменяемым параметром условий испытаний X_i является энергетическая освещенность при постоянной температуре, уменьшите энергетическую освещенность испытуемого образца до требуемого значения одним из приведенных ниже способов без изменения пространственной однородности или относительного спектрального распределения энергетической освещенности.

Значение энергетической освещенности в конкретной точке измерений E_i определяется по формуле

$$E_i = k_i \times E \quad (2),$$

где k_i – коэффициент, определяемый в процессе измерений, способами, описанными ниже.

Для уменьшения энергетической освещенности рекомендованы следующие способы:

а) Использование откалиброванных сеточных фильтров с однородной плотностью сетки, которые не изменяют спектральное распределение света. Если применяется этот способ, то во время испытаний эталонный прибор не должен быть закрыт фильтром. В этом случае коэффициент k_i является калибровочным параметром фильтра (долей пропускаемого света). Однородность излучения, проходящего через фильтр, подтверждается по МЭК 60904-9 с использованием в составе испытуемого прибора элемента, имеющего такой же размер, как размер детектора для определения

класса однородности фильтра. Результаты проверки должны быть приведены в протоколе испытаний.

b) Использование некалиброванных сеточных фильтров с однородной плотностью сетки, которые не изменяют спектральное распределение света. Если применяется этот способ, то во время испытаний эталонный прибор должен быть закрыт фильтром (находиться в зоне действия фильтра) В этом случае коэффициент k_l равен отношению измеренного значения тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э}$) к калибровочному значению тока короткого замыкания эталонного прибора при СУИ ($I_{кз\,э\,СУИ}$). Однородность излучения, проходящего через фильтр, подтверждается по МЭК 60904-9 с использованием наименьшего из устройств (элемент в составе испытуемого образца или эталонный прибор), размер которого соответствует размеру детектора для определения класса однородности фильтра. Результаты проверки должны быть приведены в протоколе испытаний.

Примечание – Максимальный размер открытого пространства ячейки сеточного фильтра не должен превышать 1 % от минимального из линейных размеров эталонного прибора и испытуемого образца в плоскости измерений. Иначе возможна переменная ошибка, вызванная положением устройств.

c) Изменение угла падения света. Если применяется этот способ, эталонный прибор должен иметь такую же отражающую способность, как и испытуемый образец, и должен быть смонтирован таким образом, чтобы его рабочая поверхность была компланарна рабочей поверхности испытуемого образца в пределах угла ± 1°. В этом случае коэффициент k_l равен отношению тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э}$), измеренного после изменения угла, к калибровочному значению тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э\,СУИ}$). Изменяя угол падения света при измерении тока короткого замыкания эталонного прибора, последовательным приближением добиваются требуемого значения энергетической освещенности.

Примечание – В случае элементов со значительной площадью металлических контактов на рабочей поверхности для уменьшения или исключения затенения ось вращения следящей системы должна быть параллельна линиям металлизации.

Примечание – Способ регулирования энергетической освещенности путем изменения угла падения света особенно чувствителен к различиям угловых характеристик отражения эталонного и испытуемого приборов при больших углах. Поэтому данный способ не должен применяться при углах более 60°.

5.1.7 Если изменяемым параметром условий испытаний X_i является температура при постоянной энергетической освещенности, то установку и поддержание требуемой температуры осуществляют с помощью терморегулятора или путем попеременного освещения солнечным светом и затенения рабочей поверхности испытываемого образца. Альтернативный способ изменения температуры заключается в естественном нагреве образца при контроле значений его температуры. В этом случае измерения по 5.1.4 проводят в процессе нагрева в момент достижения температуры испытываемого образца требуемого значения.

5.1.8 Необходимо контролировать, чтобы в течение регистрации всех данных одного измерения температура испытуемого образца и температура эталонного прибора оставались постоянными с отклонением в пределах ±1 °С, а энергетическая освещенность, измеряемая эталонным прибором, оставалась постоянной с отклонением в пределах ±2 % (колебания, обусловленные облаками, дымкой или дымом).

5.1.9 Повторите измерения, описанные в 5.1.4 – 5.1.8, изменяя параметр условий испытаний X_i, пока не будет охвачен весь требуемый диапазон значений параметра. Значения изменяемого параметра X_i следует выбирать так, чтобы требуемый диапазон [X_i] состоял, по меньшей мере, из четырех примерно равных интервалов. При каждом условии испытаний следует выполнить не менее трех замеров.

Примечание – При испытаниях в натурных условиях на результаты измерений влияют угловая и спектральная зависимости параметров испытываемых образцов. Влияние спектральной зависимости корректируется с помощью эталонных элементов, спектральная чувствительность которых соответствует спектральной чувствительности испытуемых образцов. Также влияние спектральной зависимости может быть скорректировано с помощью использования спектрорадиометра с последующим пересчетом результатов измерений, учитывающим несовпадение спектральных характеристик. Угловой эффект может быть устранен с помощью самой следящей системы.

5.2 Испытания с использованием имитатора солнечного излучения

Условия измерения рабочих характеристик фотоэлектрических приборов при постоянном искусственном солнечном освещении должны удовлетворять требованиям МЭК 60904-9. Распределение энергетической освещенности в плоскости измерений может быть неоднородным. Степень однородности распределения светового потока в активной зоне плоскости измерений имитатора должна быть известна и периодически проверяться (см. МЭК 60904-1).

Примечания:

1 До проведения испытаний следует провести оценку эмиссионных ламп типа ксеноновых, с помощью которых будут проводиться испытаний. При испытаниях образцов из однопереходных и многопереходных прямозонных структур изменение ширины запрещенной зоны структуры (элемента структуры), обусловленное изменением температуры, может привести к пропусканию элементом (элементами) структуры некоторых эмиссионных линий лампы, что приведет к значительным сдвигам в рабочих характеристиках. Для многопереходных прямозонных структур эти изменения ширины запрещенной зоны могут также изменить баланс токов отдельных элементов структуры, что приведет к дополнительным сдвигам в рабочих характеристиках. На основании линейности спектрального отклика испытываемого образца и спектра лампы влияние такого эффекта можно учесть с помощью коррекции изменений температуры.

2 Для многопереходных прямозонных структур как $I_{кз}$, так и FF являются нелинейными функциями спектрального распределения энергетической освещенности от имитаторов. При измерении таких структур с применением имитаторов солнечного излучения без настройки спектра могут возникнуть значительные ошибки, обусловленные нарушением баланса токов отдельных элементов, образующих структуру. Так, при измерении тока и напряжения коммерческих модулей на основе многопереходных структур с применением имитатора класса ААА были отмечены ошибки измерения более 15 %.

5.2.1 Установите эталонный прибор и испытываемый образец в плоскости измерений имитатора как можно ближе друг к другу таким образом, чтобы рабочие поверхности эталонного прибора и испытываемого образца были компланарны и перпендикулярны центральной линии пучка излучения с отклонением в пределах угла падения ±2°. Подключите необходимое измерительное оборудование.

5.2.2 Если испытываемый образец и эталонный прибор снабжены средствами регулирования температуры, установите требуемое значение температуры. Если такое регулирование температуры не может быть использовано, дождитесь, когда температура испытываемого образца и эталонного прибора установятся на уровне температуры окружающей среды с отклонением в пределах ±1 °С.

Перед каждым циклом измерений 5.2.4 – 5.2.9 температура эталонного прибора также должна быть приведена к равновесной в пределах ±1 °С.

5.2.3 После того как температура достигнет требуемого значения настройте имитатор с помощью эталонного прибора. Эталонный прибор должен создавать калибровочное значение тока короткого замыкания или/и максимальной мощности, соответствующее верхней границе требуемого диапазона энергетической освещенности.

5.2.4 Приведите температуру к равновесной, как указано в 5.2.2, и после того, как температура достигнет требуемого значения, не меняя установок имитатора, удалите защитный экран (если он используется) и в течение минимально возможного времени измерьте:

значение изменяемого параметра условий испытаний X_i или параметра, его определяющего;

значение параметра испытываемого образца Y_j;

значения температуры и тока короткого замыкания эталонного прибора $T_э$ и $I_{кз\,э}$;

спектральное распределение энергетической освещенности с помощью спектрорадиометра (если эталонный прибор не используется или его спектральная чувствительность не соответствует спектральной чувствительности испытываемого образца).

5.2.5 Энергетическая освещенность E определяется по измеренному значению тока короткого замыкания эталонного прибора $I_{кз\,э}$ и его калибровочному значению при стандартных условиях испытаний $I_{кз\,э\,СУИ}$. Если температура эталонного прибора во время измерений $T_э$ отличается от температуры, при которой проводилась его калибровка, в уравнение для определения E вводится поправка с использованием температурного коэффициента по току для эталонного прибора $x_{Iэ}$ (1/°С). Расчет проводят по формуле

$$E = \frac{E_{СУИ} \cdot I_{кз\,э}}{I_{кз\,э СУИ}} [1 - \varkappa_{Iэ}(T_э - T_{эСУИ})], \quad (3)$$

где $T_э$ – температура эталонного прибора во время измерений;

$E_{СУИ}$ – энергетическая освещенность, на которую откалиброван эталонный прибор, как правило, 1000 Вт/м^2;

$T_{эСУИ}$ – температура, при которой была выполнена калибровка эталонного прибора, как правило, 25 °С.

Если спектральная чувствительность эталонного прибора отличается от спектральной чувствительности испытуемого образца, необходимо провести корректировку всех измеренных значений E в соответствии с МЭК 60904-7, для пересчета к спектру АМ 1,5.

Примечание – Вместо токов короткого замыкания могут быть использованы значения максимальной мощности и, соответственно, температурный коэффициент мощности эталонного прибора. В этом случае E определяется по формуле (3).

5.2.6 Если изменяемым параметром условий испытаний X_i является энергетическая освещенность при постоянной температуре, уменьшите энергетическую освещенность испытуемого образца до требуемого значения одним из приведенных ниже способов без изменения пространственной однородности или относительного спектрального распределения энергетической освещенности.

Значение энергетической освещенности в конкретной точке измерений E_i определяется по формуле

$$E_i = k_i \times E \qquad (4),$$

где k_i - коэффициент, определяемый в процессе измерений способами, описанными ниже.

Для уменьшения энергетической освещенности рекомендованы следующие способы:

a) Увеличение расстояния от лампы до плоскости измерения. Если применяется этот способ, рабочая поверхность эталонного прибора должна располагаться в одной плоскости с рабочей поверхностью испытуемого образца. Коэффициент k_i равен отношению значения тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э}$), измеренного после изменения положения лампы, к калибровочному значению тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э\,СУИ}$).

b) Использование оптических линз. Если применяется этот способ, следует убедиться в том, что линзы не влияют заметным образом на спектральное распределение излучения в диапазоне чувствительности испытуемого образца и эталонного прибора, а также не нарушают пространственной однородности энергетической освещенности в плоскости измерений. Коэффициент k_i равен отношению значения тока короткого замыкания эталонного прибора, измеренного после установки линзы, к калибровочному значению тока короткого замыкания эталонного прибора.

c) Изменение угла падения. Если применяется этот способ, расстояние между источником света и испытуемым образцом должно быть достаточно большим для того, чтобы исключить неоднородность энергетической освещенности рабочей поверхности образца (неоднородность не должна превышать 0,5 %). При использовании этого способа должны быть выполнены следующие условия: поток излучения должен быть коллимирован; эталонный прибор должен иметь такую же отражающую способность, как и испытуемый образец; рабочая поверхность эталонного прибора должна быть компланарна рабочей поверхности испытуемого образца в пределах угла ± 1°. При этих условиях коэффициент k_i равен отношению значения тока короткого замыкания эталонного прибора, измеренного после изменения угла ($I_{кз\,э}$), к калибровочному значению тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э\,СУИ}$). Изменяя угол падения света при измерении тока короткого замыкания эталонного прибора, последовательным приближением добиваются требуемого значения энергетической освещенности.

d) Использование откалиброванных сеточных фильтров с однородной плотностью сетки, которые не изменяют спектральное распределение света. Если применяется этот способ, то во время измерений эталонный прибор не должен быть закрыт фильтром. В этом случае коэффициент k_i является калибровочным параметром фильтра (долей пропускаемого света).

e) Использование некалиброванных сеточных фильтров с однородной плотностью сетки, которые не изменяют спектральное распределение света. Если применяется этот способ, то во время измерений эталонный прибор должен быть закрыт фильтром (находиться в зоне действия фильтра).

В этом случае коэффициент k_I равен отношению измеренного значения тока короткого замыкания эталонного прибора ($I_{кз\,э}$) к калибровочному значению тока короткого замыкания эталонного прибора при СУИ ($I_{кз\,э\,СУИ}$).

Примечания:

1 Максимальный размер открытого пространства ячейки сеточного фильтра не должен превышать 1 % от минимального из линейных размеров эталонного прибора и испытуемого образца в плоскости измерений. Иначе возможна переменная ошибка, вызванная положением устройств.

2 При применении способов, указанных в перечислениях а)–е) эталонный прибор должен быть герметизирован по той же технологии и с применением тех же материалов и конструктивных элементов, что и испытуемый модуль.

5.2.7 Если изменяемым параметром условий испытаний X_i является температура при постоянной энергетической освещенности, выполните изменение температуры соответствующим образом (см. п. 10.4 МЭК 61215 и МЭК 61646).

5.2.8 Необходимо контролировать, чтобы в течение регистрации всех данных одного измерения температура испытуемого образца и температура эталонного прибора оставались постоянными с отклонением в пределах ±1 °С.

5.2.9 Повторите измерения, описанные в 5.2.4–5.2.8, изменяя параметр условий испытаний X_i, пока не будет охвачен весь требуемый диапазон значений параметра. Значения изменяемого параметра X_i следует выбирать так, чтобы требуемый диапазон [X_i] состоял, по меньшей мере, из четырех примерно равных интервалов. При каждом условии испытаний следует выполнить не менее трех замеров.

5.3 Измерение абсолютного спектрального отклика для проверки линейности тока короткого замыкания

Измерьте абсолютный спектральный отклик, изменяя энергетическую освещенность или температуру в соответствии с МЭК 60904-8. Значения изменяемого параметра X_i следует выбирать так, чтобы требуемый диапазон [X_i] состоял, по меньшей мере, из четырех примерно равных интервалов. При каждом условии испытаний следует выполнить не менее трех замеров. Рассчитайте плотность тока короткого замыкания интегрированием измеренного абсолютного спектрального отклика (фотоотклика) по эталонному спектру, приведенному в МЭК 60904-3.

6 Метод двух ламп для проверки линейности тока короткого замыкания

6.1 Обоснование

Если характеристики фотоэлектрического прибора являются линейными, то ток короткого замыкания (фототок) прибора, освещаемого одновременно двумя источниками света, должен быть равен сумме токов короткого замыкания (фототоков), генерируемых прибором при его освещении каждым из источников в отдельности, то есть

$$I_{кз}^{А} + I_{кз}^{Б} = I_{кз}^{АБ}, \qquad (5)$$

где $I_{кз}^{АБ}$ – ток короткого замыкания при освещении испытываемого образца обеими лампами;

$I_{кз}^{А}$ или $I_{кз}^{Б}$ – ток короткого замыкания при освещении испытываемого образца одной из ламп.

Примечание – Преимуществом этого метода является отсутствие необходимости измерения характеристик фильтров и ламп.

6.2 Приборы–лампы А и Б

Для образцов, которые являются элементами с одним переходом, пространственная неоднородность светового потока и спектральные характеристики энергетической освещенности не являются существенными. Для образцов, являющихся сборками элементов, модулями и батареями, требуется два источника света класса ВВА (по МЭК 60904-9) или лучше. Центральные линии пучка излучения ламп должны быть параллельны. В период измерения $I_{кз}^{АБ}$, $I_{кз}^{А}$ и $I_{кз}^{Б}$ кратковременная нестабильность энергетической освещенности должна составлять менее 0,5 %.

6.3 Порядок измерения

6.3.1 Для измерения токов короткого замыкания установите эталонный прибор и испытываемый образец в плоскости измерений как можно ближе друг к другу таким образом, чтобы рабочие поверхности эталонного прибора и испытываемого образца были компланарны и перпендикулярны центральным линиям пучка излучения с отклонением в пределах угла ±2°. Подключите необходимое измерительное оборудование.

6.3.2 Установите требуемое значение температуры испытываемого образца и эталонного прибора и поддерживайте ее в пределах ±5 °С аналогично 5.1.3 и 5.2.3.

6.3.3 Настройте источники света на требуемое значение энергетической освещенности, как указано в 5.2.3, и дождитесь стабилизации светового потока. Наилучшие результаты будут получены в условиях, когда два источника света создают примерно равные токи короткого замыкания эталонного прибора.

Примечание – Энергетическую освещенность следует изменять применением фильтров (см. 5.2.6) или непосредственно интенсивного света.

6.3.4 Для заданной комбинации фильтров или интенсивностей источников света А и В измерьте $I_{\text{КЗ}}^{\text{АВ}*}$, $I_{\text{КЗ}}^{\text{А}*}$, $I_{\text{КЗ}}^{\text{В}*}$ и $I_{\text{КЗ}}^{\text{фон}}$ (ток короткого замыкания от фоновой засветки при обеих отключенных лампах). Выполните расчет:

$$I_{\text{КЗ}}^{\text{АВ}} = I_{\text{КЗ}}^{\text{АВ}*} - I_{\text{КЗ}}^{\text{фон}};$$

$$I_{\text{КЗ}}^{\text{А}} = I_{\text{КЗ}}^{\text{А}*} - I_{\text{КЗ}}^{\text{фон}};$$

$$I_{\text{КЗ}}^{\text{В}} = I_{\text{КЗ}}^{\text{В}*} - I_{\text{КЗ}}^{\text{фон}};$$

$$I_{\text{КЗ}}^{\text{А}} + I_{\text{КЗ}}^{\text{В}} = I_{\text{КЗ}}^{\text{А}*} + I_{\text{КЗ}}^{\text{В}*} - 2I_{\text{КЗ}}^{\text{фон}}.$$

6.3.5 Выполните расчеты, указанные в 6.3.3 и 6.3.4, со значением энергетической освещенности, обеспечивающим, чтобы каждый из токов $I_{\text{КЗ}}^{\text{А}}$ и $I_{\text{КЗ}}^{\text{В}}$ был равен току на предыдущем этапе.

6.3.6 Повторите измерения, указанные в 6.3.3 - 6.3.5, пока не будет охвачен весь требуемый диапазон энергетической освещенности, в котором определяется линейность тока короткого замыкания.

Примечание – Для того, чтобы получить больше данных измерений в требуемом диапазоне, можно использовать любое сочетание значений энергетической освещенности, обеспечивающее токи короткого замыкания $I_{\text{КЗ}}^{\text{А}}$ и $I_{\text{КЗ}}^{\text{В}}$, измеряемые в 6.3.4.

7 Определение критериев линейности

Проверьте, что во время испытаний, проведенных в разделах 5, 6, все параметры условий испытаний, за исключением одного, сохраняли постоянные значения. Небольшие изменения температуры или энергетической освещенности могут быть приведены к требуемым значениям расчетным путем с использованием стандарта МЭК 60891. Это может быть процедурой приближения с перерасчетом после установления линейности характеристик и после получения уточненных корректирующих коэффициентов. Критерием линейности является относительное отклонение от линейности, допустимые значения которого установлены в разделе 8. По результатам измерений и расчетов также строятся графики, включающие зависимость параметра от изменения энергетической освещенности или/и температуры и прямую наилучшего приближения и отражающие соответствие зависимости требованиям раздела 8.

7.1 Линейная аппроксимация

Критерий линейности характеристик определяется на основе измерений, проведенных в разделе 5, методом линейной аппроксимации. Расчет наклона прямой наилучшего приближения

таких характеристик, как, например, зависимость напряжения холостого хода от температуры или тока короткого замыкания от энергетической освещенности, проводится следующим образом.

7.1.1 Определив среднее значение измеренных параметров, найдите характеристики прямой наилучшего приближения, используя метод наименьших квадратов:

Шаг 1. Найдите среднее значение параметра *Y* для всех измерений в каждой (*i*-ой) точке измерений

$$Y_i = \frac{\Sigma_{j=1}^{j=k} Y_{ij}}{k}, \; X_i = const,$$

где *k* – количество измерений в *i*-ой точке измерений, *k* ≥ 3;

j - номер измерения в точке измерений *i* ;

Y_{ij} - значение параметра *Y* при измерении j в точке измерений *i*.

Шаг 2. Рассчитайте средние значения параметров X и Y по всем точкам измерения данных:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}$$

где *n* – количество точек измерения данных в требуемом диапазоне, *n* ≥ 5.

Шаг 3. Рассчитайте тангенс угла наклона прямой наилучшего приближения (коэффициент регрессии) *m*

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - X) \cdot (Y_i - Y)}{\sum_{i=1}^{n} (X_i - X)^2}$$

Шаг 4. Подставив полученное численное значение *m*, запишите уравнение прямой наилучшего приближения в виде

$$Y - \overline{Y_i} = m(X - X_i) \quad \text{или} \quad \overline{Y_i} = Y - m(X - X_i).$$

Примечания:

1 $\overline{Y_i}$ – прогнозируемое значение, полученное на основании приближения.

2 Полученное уравнение эквивалентно уравнению регрессии

$\widehat{Y_i} = mX_i + b$, где $b = Y - mX$.

7.1.2 Процентное (относительное) отклонение от линейности определяется расчетным путем, используя тангенс угла наклона прямой наилучшего приближения *m* и значения измеренных данных

$$D_{lin.} = 100 \times \left[1 - Y_i / \widehat{Y_i}\right],$$

где всякая пара $\{X_i, Y_i\}$ – точка *i* на кривой зависимости Y от X.

7.2 Определение критерия линейности при использовании метода двух ламп

Процентное отклонение от линейности D_{lin} определяется по формуле:

$$D_{lin} = 100 \times \left[\left(I_{КЗ}^{АБ} - I_{КЗ}^{фон} \right) / \left(I_{КЗ}^{А} + I_{КЗ}^{Б} - 2 \times I_{КЗ}^{фон} \right) - 1 \right]$$

Для каждого сочетания значений интенсивности ламп (энергетической освещенности), т.е. каждой точки измерений, определяется свое значение D_{lin}. Для того, чтобы прибор считался прибором с линейными характеристиками, D_{lin} должно соответствовать требованиям раздела 8 во всем диапазоне измерений.

8 Условия линейности характеристик

Всегда, когда фотоэлектрический прибор рассматривается как прибор с линейными характеристиками, требуется указать в каком диапазоне температуры, энергетической освещенности, напряжения это применимо, а также иные необходимые условия.

Требования к допустимому отклонению от линейности, в пределах которого характеристика фотоэлектрического прибора считается линейной, приведены ниже:

a) Для зависимости тока короткого замыкания от освещенности максимальное отклонение от линейности должно быть меньше 2 %.

b) Для зависимости напряжения холостого хода от логарифма относительной энергетической освещенности максимальное отклонение от линейности должно быть меньше 5 %.

c) Для зависимости напряжения холостого хода, тока короткого замыкания и максимальной мощности от температуры максимальное отклонение от линейности должно быть меньше 5 %. Если температурный коэффициент тока короткого замыкания меньше 0,1 %/°C, такой прибор по отношению к этому параметру может рассматриваться как прибор с линейной характеристикой.

8. Протокол испытаний

Протокол испытаний с измеренными показателями характеристик и результатами испытаний оформляется организацией, проводившей испытания, в соответствии со стандартом ИСО/МЭК 17025. Протокол испытаний должен содержать следующие данные:

a) наименование документа;

b) наименование и адрес испытательной лаборатории и место, где были проведены испытания;

c) уникальную идентификацию протокола и каждой страницы;

d) наименование и адрес заказчика;

e) описание и идентификацию откалиброванного или испытанного образца;

f) характеристику и условия калибровки или испытания образцов;

g) дату получения испытанного образца и дату(ы) калибровки и испытаний (если необходимо);

h) ссылку на метод отбора испытанных образцов (если таковой проводился);

i) описание использованных методов калибровки и испытаний;

j) описания всех отклонений, дополнений или исключений в процедурах проведения калибровки и испытаний, а также любая иная информация, относящаяся к конкретной процедуре калибровки или измерений, например, описание условий окружающей среды;

k) описание измерений, проверки и полученные результаты в отношении эффектов, обусловленных отклонением освещения испытанных образцов от нормального, в отношении изменения и несовпадения рабочей температуры и спектральных характеристик образцов;

l) для оптически несимметричных образцов – чертеж, отражающий наклон и азимутальную ориентацию испытанных образцов;

m) оценку погрешности калибровки или результатов испытаний (где необходимо);

n) графики измеренных и рассчитанных данных, иллюстрирующие степень линейности характеристики испытанного образца в соответствии с разделом 8;

o) положение о том, что образец удовлетворяет или не удовлетворяет критерию линейности, а также об отклонении от линейности;

p) должность и подпись, либо равноценную идентификацию лиц, отвечающих за содержание протокола испытаний, а также дату его публикации;

q) положение о том, что полученные результаты относятся только к испытанному образцу;

r) положение о том, что данный отчет об испытаниях не может быть воспроизведен иначе как полностью без письменного разрешения опубликовавшей его лаборатории.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам)

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60891	MOD	ГОСТ 28976–91(МЭК 891–87) Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции по температуре и облученности результатов измерения вольт-амперной характеристики
МЭК 60904-1	MOD	ГОСТ 28977–91(МЭК 904-1–87) Фотоэлектрические приборы. Часть 1. Измерения фотоэлектрических вольт-амперных характеристик
МЭК 60904-3	-	*
МЭК 60904-8	-	*
МЭК 60904-9	-	*
МЭК 61215	-	*
МЭК 61646	IDT	ГОСТ Р МЭК 61646–2012 Модули фотоэлектрические тонкопленочные наземные. Порядок проведения испытаний для подтверждения соответствия функциональным характеристикам
ИСО/МЭК 17025	IDT	ГОСТ ИСО/МЭК 17025–2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание – В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- IDT – идентичные стандарты;
- MOD – модифицированные стандарты.

Библиография

[1] МЭК 60891 Приборы фотоэлектрические из кристаллического кремния. Коррекция вольт-амперных характеристик по температуре и энергетической освещенности (IEC 60891, Photovoltaic devices of crystalline silicon/ Procedures for temperature and irradiance corrections to measured current voltage characteristics)

[2] МЭК 61829 Батареи фотоэлектрические из кристаллического кремния. Измерение вольт-амперных характеристик в натурных условиях (IEC 61829 Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On-site measurement of I-V characteristics)

[3] МЭК 60904-1 Приборы фотоэлектрические. Часть 1. Измерение вольт-амперных характеристик (IEC 60904-1, Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics)

[4] МЭК 60904-7 Приборы фотоэлектрические. Часть 7. Расчет спектральных поправок при измерениях (IEC 60904-7, Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices)

[5] МЭК 60904-8 Приборы фотоэлектрические. Часть 8. Измерение спектральных характеристик (IEC 60904-8, Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device)

[6] МЭК 61215 Модули фотоэлектрические наземные из кристаллического кремния. Методы испытаний (IEC 61215, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval)

[7] МЭК 61646 Модули фотоэлектрические тонкопленочные наземные. Требования к конструкции и типовым испытаниям (IEC 61646 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval)

[8] МЭК 60904-9 Приборы фотоэлектрические. Часть 9. Требования к рабочим характеристикам имитаторов солнечного излучения (IEC 60904-9, Photovoltaic devices – Part 7: Solar simulator performance requirements)

[9] ИСО/МЭК 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories)

УДК 697.329 ОКС 27.160 Е60

Ключевые слова: приборы фотоэлектрические, линейность характеристик, температура, энергетическая освещенность

Подписано в печать 01.04.2014. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 1,90. Тираж 31 экз. Заказ 1091

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru