



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱-۱۴۱۱۵

چاپ اول

اردیبهشت ۱۳۹۲

INSO

14115-1

1st. Edition

Apr.2013

افزارهای فتوولتائیک -
قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان -
ولتاژ فتوولتائیک

Photovoltaic devices –
Part 1:
Measurement of photovoltaic current-voltage
characteristics

ICS: 27.160

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۰۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه‌ی صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته‌ی ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته‌ی ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته‌ی ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه‌ی مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی‌نامه‌ی تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«افزارهای فتوولتائیک -

قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ فتوولتائیک»

رئیس:

شریعتمدار، سید محمد
(دکترای مهندسی برق، قدرت)

سمت و / یا نمایندگی

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد نراق

دبیر:

عبدی، جواد
(دکترای مهندسی برق، کنترل)

کارشناس مؤسسه ارتباط پژوهان البرز

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ابراهیم‌پور، سید مجید
(لیسانس مهندسی برق الکترونیک)

کارشناس قرارگاه خاتم الانبیاء

جزواحدی، محمدرضا
(لیسانس مهندسی برق، کنترل)

کارشناس شرکت کیاتل (سهامی خاص)

حافظ عقیلی، حمیدرضا
(فوق لیسانس مهندسی برق، مخابرات-سیستم)

مسئول آزمایشگاه مرجع مخابرات پژوهشگاه نیرو (سهامی عام)

حقدادی، نوید
(فوق لیسانس مهندسی برق، قدرت)

شرکت مشاوران راه انرژی دنیا (سهامی خاص)

عابدی، سعید
(لیسانس مهندسی برق، مخابرات)

مدیر پروژه‌های مخابراتی شرکت بهین ارتباط مهر (سهامی خاص)

عرفانی، علی
(فوق لیسانس مهندسی برق، مهندسی پزشکی)

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرج

کمانکش، سیما
(فوق لیسانس مهندسی برق، قدرت)

کارشناس پژوهشکده برق پژوهشگاه نیرو (سهامی عام)

فامیل خلیلی، اعظم
(فوق لیسانس مهندسی کامپیوتر، فناوری اطلاعات)

کارشناس مؤسسه ارتباط پژوهان البرز

مسرور تهرانی، حسین
(فوق لیسانس مهندسی برق، قدرت)

کارشناس ارشد تحقیق، شرکت برق منطقه‌ای استان تهران

مظفری، بهروز
(فوق لیسانس مکترونیک)

مدیر تحقیق و توسعه شرکت نیمه هادی عماد (سهامی خاص)

یوسفزاده فعال دقتی، بهاره
(لیسانس مهندسی برق، الکترونیک)

کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ب | آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران |
| ج | کمیسیون فنی تدوین استاندارد |
| و | پیش‌گفتار |
| ۱ | هدف و دامنه کاربرد ۱ |
| ۱ | مراجع الزامی ۲ |
| ۲ | الزامات کلی اندازه‌گیری ۳ |
| ۳ | دستگاه‌ها ۴ |
| ۴ | اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب طبیعی ۵ |
| ۵ | اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب شبیه‌سازی شده حالت پایدار ۶ |
| ۷ | اندازه‌گیری در نور آفتاب شبیه‌سازی شده پالس‌دار ۷ |
| ۱۰ | گزارش آزمون ۸ |

پیش‌گفتار

استاندارد "افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ فتوولتائیک"، که توسط کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده و در ششصد و پنجاه و پنجمین اجلاس کمیته ملی استاندارد برق و الکترونیک مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۰۶ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ بعنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر گونه پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده گردد. در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود. منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 60904-1: 2006, Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics

افزارهای فتوولتائیک -

قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ فتوولتائیک

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین و توصیف رویه‌های اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ افزارهای فتوولتائیک (PV)^۱ در نور آفتاب طبیعی یا شبیه‌سازی شده، می‌باشد. این رویه‌ها برای یک سلول خورشیدی فتوولتائیک، زیر مجموعه سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک یا مدول PV کاربرد دارد.

یادآوری ۱- این استاندارد می‌تواند برای نمونه‌های آزمون چندپیوندی به کار برده شود اگر هر پیوند فرعی، میزان جریانی مشابه با حالتی که تحت طیف مرجع AM 1.5 از استاندارد بین‌المللی IEC 60904-3 می‌باشد، ایجاد نماید.

یادآوری ۲- این استاندارد در صورتی می‌تواند برای افزارهای PV طراحی شده جهت استفاده تحت تابش متمرکز به کار برده شود که تحت تابش عادی مستقیم قرار گیرد و عدم انطباق با توجه به طیف مرجع عمودی مستقیم تصحیح شود.

این استاندارد در نظر دارد الزامات پایه برای اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ افزارهای فتوولتائیک را ارائه نموده، رویه‌های تکنیک‌های مختلف اندازه‌گیری در حال استفاده را تعریف کرده و کارهای لازم برای کمینه کردن عدم قطعیت اندازه‌گیری را نشان دهد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

- 2-1 IEC 60891: Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic (PV) devices
- 2-2 IEC 60904-2: Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar cells
- 2-3 IEC 60904-3: Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
- 2-4 IEC 60904-5: Photovoltaic devices – Part 5: Determination of equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method
- 2-5 IEC 60904-6: Photovoltaic devices – Part 6: Requirements for reference solar modules
- 2-6 IEC 60904-7: Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device
- 2-7 IEC 60904-9: Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements

1- Photovoltaic devices

- 2-8 IEC 60904-10¹: Photovoltaic devices – Part 10: Methods for linearity measurements
2-9 ISO/IEC 17025²: General requirements for competence of testing and calibration laboratories

۳ الزامات کلی اندازه‌گیری

الف- اندازه‌گیری‌های تابش باید با استفاده از یک افزار مرجع PV، که مطابق با استانداردهای بین‌المللی IEC 60904-2 یا IEC 60904-6 بسته‌بندی و کالیبره شده یا یک تابش‌سنج^۳ انجام شود. افزار مرجع PV باید یا از نظر طیفی با نمونه‌آزمون منطبق باشد یا باید یک تصحیح عدم‌انطباق طیفی مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-7 انجام شود. جریان اتصال کوتاه افزار مرجع باید همان‌گونه که در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 تعریف شده روی گستره تابش دلخواه، خطی باشد.

یادآوری - افزار مرجع برای این‌که از نظر طیفی منطبق در نظر گرفته شود، باید با استفاده از محفظه‌بندی و فناوری سلولی همسان با افزار آزمون ساخته شود. در غیر این‌صورت باید عدم‌انطباق طیفی گزارش شود.

ب- دمای افزار مرجع و نمونه باید با استفاده از تجهیزاتی با دقت $\pm 1^\circ\text{C}$ با تکرارپذیری $\pm 0.5^\circ\text{C}$ اندازه‌گیری شود. اگر دمای افزار مرجع بیش از 2°C با دمایی که در آن کالیبره شده تفاوت داشته باشد، مقدار کالیبره کردن باید روی دمای اندازه‌گیری شده تنظیم شود. اگر افزار مرجع، یک تابش‌سنج است، اندازه‌گیری دما و تصحیح دمای سیگنال خروجی آن نیاز نمی‌باشد.

پ- سطح فعال نمونه باید با رواداری $\pm 2^\circ$ با سطح فعال افزار مرجع هم‌تراز^۴ باشند.

ت- ولتاژها و جریان‌ها باید با استفاده از تجهیزاتی با دقت $\pm 0.2\%$ ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه با استفاده از رابط‌های مستقل از ترمینال‌های نمونه و با تا حد امکان کوتاه نگه داشتن آن‌ها، اندازه‌گیری می‌شود. توصیه می‌شود گستره‌های اندازه‌گیری جمع‌آوری داده^۵ با دقت انتخاب شوند. در صورتی که نمونه آزمون یک مدول است، توصیه می‌شود اتصال چهار سیمه از ترمینال‌ها یا اتصال‌گرها شروع شود. اگر نمونه آزمون یک سلول است، توصیه می‌شود اتصال چهار سیمه از جعبه تقسیم‌ها^۶ شروع شود.

یادآوری - توصیه می‌شود روش اتصال سلول‌ها با دقت ارزیابی شود. اختلافات ممکن است در صورتی رخ دهند که از زبانه‌های لحیم شده^۷ به‌عنوان پروب^۸ استفاده شده باشد یا روش‌های غیرلحیم شده از قبیل میله‌های دارای فنرهای تماسی یا صفحات هادی دارای تماس وسیع با کنتاکت پستی سلول، پیاده‌سازی شده باشند. روش‌های غیرلحیم شده می‌توانند به عوامل

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۱۵-۱۴۱۵۵: ۱۳۸۹، مدول فتوولتائیک - قسمت ۱۰: روش‌های اندازه‌گیری خطی. مرجع این استاندارد ملی ایران، استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10: 2009 است.

۲- استاندارد ملی ایران شماره ۲۵-۱۷۰۲۵: ۱۳۸۶، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون. مرجع این استاندارد ملی ایران، استاندارد بین‌المللی ISO/IEC 17025: 2005 است.

- 3- Pyranometer
- 4- Coplanar
- 5- Data acquisition
- 6- Bus-bars
- 7- Soldered tab
- 8- Probe

بادکردن^۱ بالاتری نسبت به آنچه در مدول مشاهده می‌شود، منتهی شوند. توصیه می‌شود روش تماس برای استفاده مورد نظر سلول یا اندازه‌گیری مناسب باشد.

ث- جریان اتصال کوتاه باید در ولتاژ صفر، با استفاده از یک بایاس متغیر (ترجیحاً الکترونیکی) برای جبران‌سازی افت ولتاژ در مقاومت سری خارجی، اندازه‌گیری شود. به‌طور جایگزین، جریان اتصال کوتاه می‌تواند از مشخصه جریان-ولتاژ برون‌یابی^۲ شود. منحنی به ولتاژ صفر برون‌یابی می‌شود، مشروط بر این‌که افت ولتاژ کمتر یا مساوی ۳٪ ولتاژ مدار باز افزار باشد و این‌که یک رابطه خطی بین جریان و ولتاژ وجود داشته باشد.

ج- دقت رویه تصحیح تابش و دما مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60891 باید به‌طور دوره‌ای با اندازه‌گیری عملکرد آزمون در سطوح دمایی و تابش انتخاب شده و مقایسه نتایج با داده‌های برون‌یابی شده متناظر مانند استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10، بازبینی شود.

یادآوری - در صورتی‌که تصحیح تابش و دما در گستره‌های وسیع اعمال می‌شود، پارامترهای تصحیح مدول می‌توانند به‌طور قابل توجهی روی نتیجه آزمون تأثیر داشته باشند. باید مراقب رابطه پارامترهای مدول مورد استفاده بود. به‌ویژه، مقاومت سری را نمی‌توان به یک دسته از آزمون‌های از نوع یکسان تعمیم داد.

در اندازه‌گیری افزارهای PV که پایدار نیستند، باید هنگام انتخاب پاسخ طیفی نمونه، مراقب بود.

۴ دستگاه‌ها

۴-۱ برای اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب طبیعی

علاوه بر الزامات اندازه‌گیری کلی بند ۳، تجهیزات زیر برای انجام اندازه‌گیری‌های مشخصه I-V در نور آفتاب طبیعی مورد نیاز است:

الف- یک افزار PV مرجع یا تابش‌سنج که شرایط بیان شده در زیربند (الف) از بند ۳ را برآورده نماید.

ب- وسیله اندازه‌گیری دمای افزار مرجع که در صورت لزوم، شرایط بیان شده در زیربند (ب) از بند ۳ را برآورده نماید.

پ- تجهیزاتی برای تعیین دمای افزار آزمون با استفاده از روش دمای معادل سلول (ECT)^۳ مشخص شده در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-5 یا وسیله دیگری برای اندازه‌گیری دمای افزار آزمون، همان‌گونه که در زیربند (ب) از بند ۳ بیان شده است.

ت- یک سامانه ردیاب دومحوری^۴ با قابلیت ردیابی خورشید با دقت $\pm 5^\circ$.

ث- یک رادیومتر طیفی^۵ با قابلیت اندازه‌گیری تابش طیفی نور آفتاب در گستره پاسخ طیفی آزمون و افزار مرجع، در صورتی‌که تصحیح‌های طیفی، همان‌گونه که در زیربند (الف) از بند ۳ تعریف شده، نیاز می‌باشند.

1- Fill factors
2- Extrapolated
3- Equivalent Cell Temperature
4- Two-axis tracking system
5- Spectroradiometer

۴-۲ برای اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب شبیه‌سازی شده

علاوه بر الزامات کلی اندازه‌گیری بند ۳، تجهیزات زیر برای انجام اندازه‌گیری‌های مشخصه I-V در نور آفتاب شبیه‌سازی شده مورد نیاز است:

الف- یک افزار PV مرجع که در گستره‌های تابش‌ها، توزیع‌های طیفی و دماهای دلخواه کاملاً با افزار آزمون منطبق است و شرایط بیان شده در زیربند (الف) از بند ۳ را برآورده می‌نماید.

ب- وسیله اندازه‌گیری دمای افزار مرجع و آزمون آزمون که شرایط بیان شده در زیربند (ب) از بند ۳ را برآورده می‌نماید.

پ- یک شبیه‌ساز خورشیدی از طبقه BBB یا بهتر، مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-9. ناحیه آزمون شناسه‌گذاری شده باید بزرگتر یا مساوی مساحت آزمون آزمون باشد.

ت- یک حسگر تابش که تابش آنی^۱ در صفحه آزمون را ردیابی نماید. توصیه می‌شود این حسگر تابش در گستره تابش‌هایی که اندازه‌گیری‌ها صورت می‌پذیرند، خطی باشد (به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 مراجعه شود).

ث- یک رادیومتر طیفی با قابلیت اندازه‌گیری تابش طیفی شبیه‌سازی شده در گستره پاسخ طیفی آزمون آزمون و افزار مرجع، در صورتی که تصحیح‌های طیفی، همان‌گونه که در زیربند (الف) از بند ۳ تعریف شده نیاز می‌باشند.

یادآوری- باید هنگام استفاده از لامپ ایجادکننده تابش مانند لامپ زنون برای آزمون سلول‌های از نوع باند مستقیم^۲، مراقب بود. با تغییرات فاصله باند به دلیل دما، می‌تواند از میان پرتوهای گوناگون انتشار در طیف لامپ عبور کند و موجب افزایش جابه‌جایی‌های زیادی در عملکرد شود.

۵ اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب طبیعی

اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب طبیعی باید تنها زمانی انجام شوند که تابش کلی خورشید، حین اندازه‌گیری بیش از $1 \pm$ نوسان نداشته باشد. زمانی که اندازه‌گیری‌های برای ارجاع به شرایط آزمون استاندارد (STC)^۳ مدنظر می‌باشند، تابش باید دست‌کم 800 W.m^{-2} باشد. رویه آزمون به‌صورت زیر می‌باشد:

۱-۵ افزار را تا حد امکان نزدیک و هم صفحه با آزمون روی ردیاب دو محور نصب کنید. هر دو محور باید در محدوده $5^\circ \pm$ عمود بر پرتوی مستقیم خورشیدی باشند. به تجهیزات ضروری متصل کنید.

۲-۵ اگر آزمون و افزار مرجع مجهز به کنترل دما می‌باشند، کنترل‌ها را در سطح دلخواه تنظیم کنید و اگر از کنترل دما استفاده نمی‌شود:

1- Instantaneous irradiance
2- Direct band gap
3- Standard Test Conditions

۵-۲-۱ آزمون و افزار مرجع را در سایه قرار دهید و تا زمانی که دمای آنها در محدوده $\pm 2^\circ$ دمای هوای محیط یکنواخت باشد، در معرض باد قرار دهید؛

۵-۲-۲ یا اجازه دهید که آزمون تا دمای تثبیت شده خود، متعادل شود؛

۵-۲-۳ یا آزمون را تا نقطه‌ای کمتر از دمای هدف پیش-آماده‌سازی نمایید و سپس اجازه دهید که مدول به‌طور طبیعی گرم شود.

یادآوری - ممکن است حین گرمایش، بین میانگین دمای سلول و میانگین دمای پشت، تفاوت‌هایی وجود داشته باشد.

۵-۳ مشخصه جریان-ولتاژ و دمای آزمون را به‌طور همزمان با ثبت خروجی و (در صورت نیاز) دمای افزار مرجع در دماهای دلخواه ثبت کنید. در صورت لزوم، اندازه‌گیری‌ها را بلافاصله پس از برداشتن سایه‌بان انجام دهید.

یادآوری - در اکثر موارد، اینرسی حرارتی^۱ آزمون و افزار آزمون، افزایش دما را حین چند ثانیه اول تا کمتر از 2°C محدود خواهد کرد. دماهای آزمون و افزار آزمون به‌طور منطقی یکنواخت خواهند ماند.

۵-۴ اطمینان حاصل نمایید که دمای آزمون و افزار مرجع پایدار است و در محدوده $\pm 1^\circ\text{C}$ ثابت باقی می‌ماند و این که تابش همان‌گونه که به‌وسیله افزار مرجع اندازه‌گیری شده، حین دوره ثبت هر مجموعه داده، در محدوده $\pm 1\%$ (نوسانات ناشی از ابرها، غبار یا دود) ثابت باقی بماند.

۵-۵ اگر از تابش‌سنج یا افزار مرجع غیرانطباقی به‌عنوان افزار مرجع استفاده می‌شود، یک اندازه‌گیری همزمان تابش طیفی با استفاده از رادیومتر طیفی انجام دهید. تابش مؤثر برای آزمون را تحت طیف AM 1.5 (به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-3 مراجعه شود) با استفاده از داده پاسخ طیفی آن محاسبه کنید (استاندارد بین‌المللی IEC 60904-7 به کار برده شود).

یادآوری - زمانی که هیچ داده تابش طیفی موجود نیست، توصیه می‌شود انطباق افزار مرجع با آزمون و شرایط جرمی هوا با دقت بررسی شود. توصیه می‌شود اندازه‌گیری در یک روز آفتابی صاف انجام شود (هیچ ابری در اطراف خورشید مشاهده نشود، مقدار تابش پراکنده^۲ خورشیدی بیش از 30% نباشد).

۵-۶ مشخصه جریان-ولتاژ اندازه‌گیری شده را به تابش دلخواه و شرایط دمایی مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60891 (برای افزارهای خطی) تصحیح کنید. برای افزارهای غیرخطی به‌منظور راهنمایی درباره تعیین این که روی چه گستره‌ای، افزار می‌تواند خطی در نظر گرفته شود، به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 مراجعه شود.

۶ اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب شبیه‌سازی شده حالت پایدار

شبیه‌سازی نور آفتاب حالت پایدار برای اندازه‌گیری‌های عملکرد فتوولتائیک باید مطابق با الزامات استاندارد بین‌المللی IEC 60904-9 باشد. یکنواختی توزیع نور در ناحیه آزمون باید معلوم باشد و به‌طور دوره‌ای

1- Thermal inertia

2- Diffuse contents of solar irradiance

بررسی شود. دقت اندازه‌گیری باید به‌طور دوره‌ای با اندازه‌گیری‌های متوالی در شرایط آزمون یکسان بازبینی شود. سه روش برای کالیبره کردن می‌تواند اعمال شود. اگر اندازه‌افزار تحت آزمون با اندازه‌افزار مرجع برابر است، از روش (الف) استفاده شود. اگر افزار تحت آزمون بزرگتر از افزار مرجع است، از روش (ب) استفاده شود. اگر افزار تحت آزمون کوچکتر از افزار مرجع است، از روش (پ) استفاده شود.

یادآوری - روش (الف) روش ترجیحی است، زیرا اثرات یکنواختی تابش و عوامل مقیاس در الکترونیک را کمینه می‌نماید.

روش الف: طراحی افزار تحت آزمون باید از نظر ابعاد و خواص الکتریکی، مشابه افزار مرجع باشد. برای مدول‌ها، این الزامات مربوط به نوع سلول و مدار میان‌اتصال سلول می‌باشد. افزار مرجع و افزار تحت آزمون باید در موقعیت یکسانی در ناحیه‌ی آزمون قرار داده شوند.

روش ب: توزیع تابش در صفحه‌ی آزمون ممکن است کاملاً یکنواخت نباشد. تابش مؤثر، میانگین تابش در سراسر ناحیه‌ی فعال افزار است. برای افزار مرجع کوچکتر از افزار آزمون، توصیه می‌شود افزار مرجع در مکان‌های مختلف درون پوشش افزار آزمون اندازه‌گیری شود. توصیه می‌شود از موقعیتی که میانگین مقدار اندازه‌گیری‌های افزار مرجع را می‌دهد، برای تعیین موقعیت افزار مرجع جهت تنظیم تابش در بند ۷-۲ استفاده شود.

روش پ: توزیع تابش در صفحه‌ی آزمون ممکن است کاملاً یکنواخت نباشد. تابش مؤثر، میانگین تابش در سراسر ناحیه‌ی فعال افزار می‌باشد. برای افزار مرجع بزرگتر از افزار آزمون، توصیه می‌شود افزار مرجع در مکان‌های مختلف درون پوشش افزار مرجع اندازه‌گیری شود. توصیه می‌شود از موقعیتی که میانگین مقدار اندازه‌گیری‌های افزار آزمون را می‌دهد، برای تعیین موقعیت افزار آزمون حین آزمون‌های متوالی استفاده شود.

رویه‌ی آزمون به‌صورت زیر است:

۱-۶ افزار مرجع را در صفحه‌ی آزمون قرار دهید، در حالی که سطح فعال آن با رواداری $\pm 5^\circ$ عمود بر خط مرکزی پرتو باشد.

یادآوری - باید مراقب بود که صفحه‌ی آزمون شبیه‌ساز خورشیدی مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-9 واجد شرایط باشد.

۲-۶ تابش شبیه‌ساز خورشیدی را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که افزار مرجع، جریان اتصال کوتاه کالیبره شده یا بیشینه‌ی توان خود در سطح دلخواه را با استفاده از روش (الف)، (ب) و / یا (پ) ایجاد نماید.

۳-۶ افزار مرجع برداشته شود و آزمون را در صفحه‌ی آزمون به‌گونه‌ای که در بند ۱-۶ شرح داده شده، قرار دهید.

۴-۶ آزمون را به وسایل اندازه‌گیری ضروری متصل کنید.

یادآوری - اگر پرتو به اندازه‌ی کافی گسترده و یکنواخت است، آزمون می‌تواند کنار افزار مرجع قرار داده شود.

۵-۶ در صورتی که چیدمان آزمون با کنترل دما تجهیز شده است، کنترل را در سطح دلخواه تنظیم کنید. اگر از کنترل دما استفاده نمی‌شود، اجازه دهید که مدول آزمون و افزار مرجع در حدود $\pm 1^\circ\text{C}$ دمایی

هوای محیط، تثبیت شوند. آزمون و/یا افزار را نسبت به پرتوی شبیه‌ساز، سایه کنید تا زمانی که دمای افزار در محدوده $\pm 2^{\circ}\text{C}$ در دمای هوای محیط، یکنواخت شود.

۶-۶ بدون تغییر تنظیم شبیه‌ساز، به‌طور همزمان مقدار مشخصه جریان-ولتاژ و دمای آزمون خوانده شود. در صورت تجهیز شدن، توصیه می‌شود از حسگر تابش استفاده شود تا اطمینان حاصل شود که تابش در صفحه آزمون، برای افزار آزمون به همان صورتی باشد که تابش برای افزار مرجع بود. جایی که کنترل دمای آزمون امکان‌پذیر نباشد، اندازه‌گیری را بلافاصله پس از برداشتن سایه‌بان^۱ انجام دهید (به یادآوری کاربردی در بند ۵-۳ مراجعه شود).

۶-۷ اگر دمای آزمون، دمای دلخواه نیست، مشخصه جریان-ولتاژ اندازه‌گیری شده، با استفاده از رویه مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60891 (برای افزارهای خطی) را به این دما تصحیح نمایید. در مورد افزارهای غیرخطی برای راهنمایی درباره تعیین این که روی چه گستره‌ای افزار می‌تواند خطی در نظر گرفته شود، به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 مراجعه شود.

یادآوری ۱- هرگونه غیریکنواختی تابش فرودی بر مدول می‌تواند روی روش مشخصه‌های I-V حاصل تأثیر داشته باشد. این اثر، متأثر از دیوهای کنارگذر در مدار میان‌اتصال مدول، وارون مشخصه‌های I-V نوع سلول و توزیع تابش در ناحیه آزمون، می‌باشد. توصیه می‌شود اثرات غیریکنواختی با دقت تحلیل شود و در تحلیل‌های عدم‌قطعیت در نظر گرفته شود.

یادآوری ۲- اگر از مدول به‌عنوان افزار مرجع استفاده می‌شود، با دقت ارزیابی شود آیا جریان اتصال کوتاه یا بیشینه توان، پارامتر مناسب برای تنظیم سطح تابش شبیه‌ساز خورشیدی است. روش جریان اتصال کوتاه تقریباً مستقل از دمای مدول و تکنیک اتصال مدول است اما ممکن است خطاهایی به دلیل شدت نور^۲ غیریکنواخت ایجاد نماید. روش بیشینه توان می‌تواند روشی غیریکنواخت را جبران کند اما ممکن است خطاهایی به دلیل دمای مدول و تکنیک اتصال مدول ایجاد نماید. دقیق‌ترین نتایج در صورتی به‌دست خواهند آمد که سطح تابش روی حالتی که هر دو جریان اتصال کوتاه و قلّه توان مدول مرجع را می‌دهد، تنظیم شود.

یادآوری ۳- اگر توزیع فضایی در ناحیه آزمون، معلوم نیست و از سلول مرجع به‌عنوان افزار مرجع استفاده می‌شود، ممکن است نتیجه اندازه‌گیری افزار تحت آزمون در صورتی که سلول مرجع مجدداً درون ناحیه آزمون قرار داده شده، تغییر نماید. بنابراین توصیه می‌شود موقعیت بهینه برای قرار دادن سلول مرجع با انتخاب موقعیت میانگین تابش درون ناحیه آزمون مدول تعیین شود. این اثر می‌تواند با استفاده از یک مدول مرجع کالیبره شده با اندازه‌ای مشابه افزار تحت آزمون، کاهش داده شود.

یادآوری ۴- ولتاژ مدار باز یا عامل با‌کردن ممکن است تحت تأثیر توزیع تابش طیفی منبع نور قرار گیرد. در صورت لزوم، توصیه می‌شود این اثر به‌وسیله مقایسه با نتایج اندازه‌گیری ثبت شده در نور آفتاب طبیعی تحلیل شود.

۷ اندازه‌گیری در نور آفتاب شبیه‌سازی شده پالس‌دار

شبیه‌سازی نور آفتاب پالس‌دار برای اندازه‌گیری‌های عملکرد فتوولتائیک باید مطابق با الزامات استاندارد بین‌المللی IEC 60904-9 باشد. یکنواختی توزیع نور در ناحیه آزمون باید معلوم باشد و به‌طور دوره‌ای

1- Shade
2- Illumination

بررسی شود. دقت اندازه‌گیری باید به‌طور دوره‌ای با اندازه‌گیری‌های متوالی در شرایط آزمون همسان، بازبینی شود.

یادآوری - به‌طور معمول از دو نوع شبیه‌ساز خورشیدی پالس‌دار استفاده می‌شود: سامانه‌های پالس طولانی مدت با طول پالس

تا ۱ s و جمع‌آوری مشخصه I-V حین یک چشمک نور^۱ و سامانه‌های پالس کوتاه با استفاده لامپ‌های نوع چشمک‌زن^۲ با طول پالس کمتر از ۱ ms، که یک نقطه داده I-V به ازای هر چشمک نور به‌دست می‌آید. استفاده از شبیه‌سازهای خورشیدی با پالس کوتاه ممکن است برای اندازه‌گیری I-V دقیق سلول‌های خورشیدی و مدول‌های با ظرفیت بالا مناسب نباشد.

سه روش برای کالیبره کردن می‌تواند به‌کار برده شود. اگر افزار تحت آزمون هم‌اندازه افزار مرجع است، از روش (الف) استفاده شود. اگر افزار تحت آزمون بزرگتر از افزار مرجع است، از روش (ب) استفاده شود. اگر افزار تحت آزمون کوچکتر از افزار مرجع است، از روش (پ) استفاده شود.

روش الف: طراحی افزار تحت آزمون باید از نظر ابعاد و خواص الکتریکی، مشابه افزار مرجع باشد. برای مدول‌ها، این الزامات مربوط به نوع سلول و مدار میان‌اتصال سلول می‌باشد. افزار مرجع و افزار تحت آزمون باید در موقعیت یکسانی در ناحیه آزمون قرار داده شوند.

روش ب: توزیع تابش در صفحه آزمون ممکن است کاملاً یکنواخت نباشد. تابش مؤثر، میانگین تابش در سراسر ناحیه فعال افزار است. برای افزار مرجع کوچکتر از افزار آزمون، توصیه می‌شود افزار مرجع در مکان‌های مختلف درون پوشش افزار آزمون اندازه‌گیری شود. توصیه می‌شود از موقعیتی که میانگین مقدار اندازه‌گیری دمای افزار مرجع را می‌دهد، برای تعیین موقعیت افزار مرجع جهت تنظیم تابش در بند ۶-۲ استفاده شود.

روش پ: توزیع تابش در صفحه آزمون ممکن است کاملاً یکنواخت نباشد. تابش مؤثر، میانگین تابش در سراسر ناحیه فعال آزمون است. برای افزار مرجع بزرگتر از افزار آزمون، توصیه می‌شود افزار مرجع در مکان‌های مختلف درون پوشش افزار مرجع اندازه‌گیری شود. توصیه می‌شود از موقعیتی که میانگین مقدار اندازه‌گیری افزار آزمون را می‌دهد، برای تعیین موقعیت افزار آزمون حین آزمون‌های متوالی استفاده شود.

رویه آزمون به‌صورت زیر است:

۱-۷ افزار مرجع را در صفحه آزمون قرار دهید، در حالی که سطح فعال آن با رواداری $\pm 5^\circ$ عمود بر خط مرکزی پرتو باشد.

یادآوری - باید مراقب بود که صفحه آزمون شبیه‌ساز خورشیدی مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-9 واجد شرایط باشد.

1- Flash

2- Stroboscope type lamp

۲-۷ تابش را در صفحهٔ آزمون به گونه‌ای تنظیم کنید که افزار مرجع، جریان اتصال کوتاه کالیبره شده یا بیشینهٔ توان خود در سطح دلخواه را با استفاده از روش (الف)، (ب) یا (پ) ایجاد نماید.

یادآوری - در اغلب شبیه‌سازی‌های خورشیدی پالس‌دار، اندازه‌گیری I-V به وسیلهٔ یک حسگر تابش (سلول پایش^۱) زمانی

تحریک می‌شود که تابش حین پالس به سطحی که قبلاً با افزار مرجع تنظیم شده بود، برسد.

۳-۷ در صورت لزوم، افزار مرجع برداشته شود و آزمون را به گونه‌ای که در بند ۱-۷ شرح داده شده، قرار دهید.

یادآوری - باید مراقب بود تا اطمینان حاصل شود که موقعیت سلول پایش حین کالیبره کردن و آزمون، یکسان باشد.

۴-۷ آزمون را به تجهیزات ضروری متصل کنید.

یادآوری - اگر پرتو به اندازهٔ کافی گسترده و یکنواخت است، آزمون می‌تواند کنار افزار مرجع قرار داده شود.

۵-۷ در صورت لزوم، اجازه دهید که مدول آزمون و افزار مرجع در حدود $\pm 1^\circ\text{C}$ دمای هوای محیط تثبیت شوند.

۶-۷ مشخصهٔ جریان-ولتاژ و دمای آزمون (یا دمای محیط، در صورتی که یکسان هستند) را ثبت کنید. فاصلهٔ زمانی بین نقاط داده باید به اندازهٔ کافی طولانی باشد تا اطمینان حاصل شود که زمان پاسخ آزمون آزمون و نرخ جمع‌آوری داده، خطا ایجاد نخواهند کرد.

۷-۷ اگر دمای آزمون، دمای دلخواه نیست، مشخصهٔ جریان-ولتاژ اندازه‌گیری شده مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60891 (برای افزارهای خطی) را به تابش و دمای دلخواه تصحیح کنید. برای افزارهای غیرخطی برای راهنمایی دربارهٔ تعیین این که روی چه گستره‌ای افزار می‌تواند خطی در نظر گرفته شود، به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 مراجعه شود.

یادآوری ۱- در مورد سامانه‌های پالس طولانی، داده‌های I-V احتمالاً در سراسر گسترهٔ وسیعی از تابش ثبت می‌شوند. باید در مورد استفاده از پارامترهای مدول برای تصحیح تابش، مراقب بود. توصیه می‌شود تحریک به گونه‌ای تنظیم شود که تصحیح‌های تابش منفی و مثبتی را که در مرکز تابش هدف قرار دارند، بدهد.

یادآوری ۲- هرگونه غیریکنواختی تابش فرودی بر مدول می‌تواند روی مشخصه‌های I-V حاصل تأثیر داشته باشد. این اثر، متأثر از دیودهای کنارگذر در مدار میان‌اتصال مدول، وارون مشخصه‌های I-V نوع سلول و توزیع تابش در ناحیهٔ آزمون می‌باشد. توصیه می‌شود اثرات غیریکنواختی با دقت تحلیل شود و در تحلیل‌های عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

یادآوری ۳- اگر از مدول به‌عنوان افزار مرجع استفاده می‌شود، با دقت ارزیابی شود آیا جریان اتصال کوتاه یا بیشینهٔ توان، پارامتر مناسب برای تنظیم سطح تابش شبیه‌ساز خورشیدی است. روش جریان اتصال کوتاه تقریباً مستقل از دمای مدول و تکنیک اتصال مدول است اما ممکن است خطاهایی به دلیل روشنایی غیریکنواخت ایجاد نماید. روش بیشینهٔ توان می‌تواند روشنایی غیریکنواخت را جبران کند اما ممکن است خطاهایی به دلیل دمای مدول و تکنیک اتصال مدول ایجاد نماید.

1- Monitor cell

یادآوری ۴- اگر توزیع فضایی در ناحیهٔ آزمون، معلوم نیست و از سلول مرجع به عنوان افزار مرجع استفاده می‌شود، ممکن است نتیجهٔ اندازه‌گیری افزار تحت آزمون در صورتی که سلول مرجع درون ناحیهٔ آزمون قرار داده شده، تغییر نماید. بنابراین توصیه می‌شود موقعیت بهینه‌سازی قرار دادن سلول مرجع با انتخاب موقعیت میانگین تابش درون ناحیهٔ آزمون مدول تعیین شود. این اثر می‌تواند با استفاده از یک مدول مرجع کالیبره شده با اندازه‌ای مشابه افزار تحت آزمون، کاهش داده شود.

یادآوری ۵- ولتاژ مدار باز یا عامل انباشت ممکن است تحت تأثیر توزیع تابش طیفی منبع نور قرار گیرد. در صورت لزوم، توصیه می‌شود این اثر به وسیلهٔ مقایسه با نتایج اندازه‌گیری ثبت شده در نور آفتاب طبیعی تحلیل شود.

یادآوری ۶- با توجه به فناوری سلول، ممکن است اندازه‌گیری I-V تحت تأثیر نرخ جاروب ولتاژ و جهت جاروب باشد. سلول‌های با ظرفیت بالا، بیشتر مشکل دارند. توصیه می‌شود این اثرات با دقت در یک برنامهٔ آزمون تحلیل شود. اثرات منفی می‌توانند زمانی در نظر گرفته نشوند که اندازه‌گیری‌ها در جهت ولتاژ مثبت، از جریان اتصال کوتاه شروع شود و در جهت ولتاژ منفی، به‌طور بهینه از هم‌پوشانی ولتاژ مدار باز شروع شود.

۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون با مشخصه‌های عملکردی اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون باید توسط مؤسسه آزمون‌گر مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO 17025 آماده شود. گزارش آزمون باید حاوی داده‌های زیر باشد:

الف- عنوان؛

ب- نام و آدرس آزمایشگاه آزمون و محلی که آزمون‌ها در آنجا انجام شدند؛

پ- شناسه منحصر به فرد گزارش و هر صفحه از آن؛

ت- نام و آدرس مشتری؛

ث- توصیف و معرفی آزمون (سلول خورشیدی، زیرمجموعهٔ سلول‌های خورشیدی یا مدول PV)؛

ج- توصیف محیط آزمون (نور آفتاب طبیعی یا شبیه‌سازی شده و در مورد نور آفتاب شبیه‌سازی شده، توصیف مختصر و طبقهٔ شبیه‌ساز)؛

چ- تاریخ دریافت مورد آزمون و تاریخ(های) کالیبره کردن یا آزمون، جایی که مناسب است؛

ح- مرجع برای رویهٔ نمونه‌برداری، جایی که مرتبط است؛

خ- معرفی روش آزمون یا کالیبره کردن مورد استفاده؛

د- هرگونه انحراف از، اضافه شده‌ها یا حذف شده‌ها از روش آزمون یا کالیبره کردن، و هرگونه اطلاعات دیگری مربوط به کالیبره کردن یا آزمون خاص، مانند شرایط محیطی؛

ذ- توصیف و معرفی افزار مرجع اولیه و / یا ثانویه (سلول یا مدول PV)؛

ر- معرفی روش تصحیح دما و تابش مشخصهٔ اندازه‌گیری شده؛

ز- نتایج آزمون به همراه جداول و نمودارها، شامل سطح تابش، دمای آزمون و افزار مرجع، پارامترهای مدول مورد استفاده برای تصحیح مشخصهٔ جریان-ولتاژ؛

ژ- مقدار تصحیح عدم انطباق مورد استفاده در اندازه‌گیری‌ها یا برآورد خطای ایجاد شده با استفاده از افزار مرجع دارای عدم انطباق؛

س- بیان عدم قطعیت برآورد شدهٔ نتایج آزمون؛

- ش- اعضا و عنوان، یا هویت معادل فرد (افراد) پذیرنده مسئولیت محتوای گزارش آزمون و تاریخ صدور؛
- ص- تأکید بر این که نتایج فقط مربوط به آزمونه آزمون شده می باشند؛
- ض- بیان این که گزارش آزمون نباید بدون تأیید کتبی آزمایشگاه جز به طور کامل تکثیر شود.