



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۴۱۱۵-۹

چاپ اول

اردیبهشت ۱۳۹۲

INSO

14115-9

1st. Edition

Apr.2013

افزارهای فتوولتائیک -
قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز
خورشیدی

Photovoltaic devices –
Part 9:
Solar simulator performance requirements

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 ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی»

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)

کارشناس مؤسسه ارتباط پژوهان البرز

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

کارشناس ارشد تحقیق، شرکت برق منطقه‌ای استان تهران

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

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

مظفری، بهروز
(فوق لیسانس مکترونیک)

کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران

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

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 | اصطلاحات و تعاریف ۳ |
| ۵ | الزامات شبیه‌ساز ۴ |
| ۶ | رویه‌های اندازه‌گیری ۵ |
| ۱۲ | پلاک مشخصه و برگه داده ۶ |
| ۱۴ | کتاب‌نامه (اطلاعاتی) |

پیش‌گفتار

استاندارد "افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی"، 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 60904-9: 2007, Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements

افزارهای فتوولتائیک -

قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعریف طبقه‌بندی‌های شبیه‌سازهای خورشیدی جهت استفاده در اندازه‌گیری‌های درون‌ساختمانی افزارهای فتوولتائیک^۱ (PV) زمینی می‌باشد، شبیه‌سازهای خورشیدی به صورت A، B یا C طبقه‌بندی می‌شوند که هر یک بر پایه معیارهای انطباق توزیع طیفی^۲، غیریکنواختی تابش^۳ در صفحه‌آزمون و ناپایداری موقتی دارای سه گروه می‌باشند. این استاندارد، روش شناسی‌هایی برای تعیین رتبه‌بندی به‌دست آمده به‌وسیله شبیه‌ساز خورشیدی در هر یک از گروه‌ها را ارائه می‌دهد.

استانداردهای افزارهای فتوولتائیک مستلزم استفاده از طبقه‌های ویژه‌ای از شبیه‌سازهای خورشیدی مناسب فرض شده برای آزمون‌های خاص می‌باشند. شبیه‌سازهای خورشیدی می‌توانند برای اندازه‌گیری عملکرد افزارهای PV یا برای آزمون‌های دوام در برابر تابش^۴ استفاده شوند. این استاندارد ملی، تعاریف و وسایل تعیین طبقه‌بندی‌های شبیه‌ساز را ارائه می‌دهد. در مورد اندازه‌گیری‌های عملکرد PV، استفاده از شبیه‌ساز خورشیدی از طبقه بالا، نیاز به تعیین تأثیر شبیه‌ساز بر اندازه‌گیری را با انجام تصحیح‌های عدم‌انطباق طیفی^۵ طیفی^۵ و تحلیل تأثیرات یکنواختی تابش صفحه‌آزمون و پایداری موقتی بر آن اندازه‌گیری، مرتفع نمی‌سازد. نمی‌سازد. در گزارش‌های آزمون برای افزارهایی که با شبیه‌ساز آزمون شده‌اند، باید فهرست طبقه شبیه‌ساز مورد استفاده برای اندازه‌گیری و روش مورد استفاده برای تعیین اثر شبیه‌ساز بر نتایج موجود باشد.

به این استاندارد توسط سایر استانداردهای ملی و IEC که در آن‌ها الزامات طبقه برای استفاده از شبیه‌سازهای خورشیدی وجود دارد، ارجاع می‌شود. شبیه‌سازهای خورشیدی برای قرارگیری در معرض تابش^۶ بهتر است دست‌کم الزامات طبقه CCC را برآورده نمایند که در آن حرف سوم مربوط به ناپایداری طولانی‌مدت می‌باشد. در حالت استفاده برای اندازه‌گیری‌های عملکرد PV، طبقه‌بندی CBA درخواست می‌شود که در آن حرف سوم مربوط به ناپایداری کوتاه‌مدت می‌باشد.

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.

-
- 1- Photovoltaic devices
 - 2- Spectral distribution match
 - 3- Irradiance
 - 4- Endurance irradiation tests
 - 5- Spectral mismatch corrections
 - 6- Irradiance exposure

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 مرجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 IEC 60904-3: Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳ شبیه‌ساز خورشیدی

شبیه‌ساز خورشیدی می‌تواند برای دو کاربرد متفاوت مورد استفاده قرار گیرد:

الف- اندازه‌گیری جریان - ولتاژ (I-V)؛

ب- قرارگیری در معرض تابش.

تجهیزاتی است که برای شبیه‌ساز طیف و تابش خورشیدی به کار برده می‌شود. شبیه‌سازها معمولاً شامل سه مؤلفه اصلی می‌باشند: (۱) منبع(های) نور و تغذیه توان مربوطه؛ (۲) هرگونه قطعات اپتیکی^۱ و فیلترهای مورد نیاز برای اصلاح پرتوی خروجی به منظور مطابقت با الزامات طبقه‌بندی؛ و (۳) کنترل‌های ضروری برای عملکرد شبیه‌ساز. حالت عملکرد شبیه‌سازهای خورشیدی حین چرخه آزمون باید روی آن‌ها برچسب‌گذاری شده باشد. این موارد عبارتند از: حالت پایدار^۲، تک پالس^۳ و چند پالس^۴.

یادآوری ۱- معمولاً دو نوع شبیه‌ساز خورشیدی برای تعیین مشخصه‌های I-V مورد استفاده قرار می‌گیرد: حالت پایدار و پالس‌دار. شبیه‌سازهای خورشیدی پالس‌دار خود می‌توانند به سامانه‌های پالس طولانی که کل مشخصه I-V را حین یک چشمک نور^۵ به دست می‌آورند و سامانه‌های پالس کوتاه که یک نقطه داده I-V به ازای هر چشمک نور به دست می‌آورند، تقسیم شوند.

یادآوری ۲- در کنار منبع نور، تغذیه توان لامپ و شیشه‌ها، همچنین جمع‌آوری داده I-V، بار الکترونیکی و نرم‌افزار کاری ممکن است قسمت یکپارچه‌ای از شبیه‌ساز خورشیدی باشد. الزامات تکنیک اندازه‌گیری مربوطه در سایر قسمت‌های مجموعه استانداردهای ملی ۱۴۱۱۵ و استانداردهای بین‌المللی IEC 60904 گنجانده شده است.

۲-۳ صفحه آزمون

صفحه مورد نظر برای در بر گرفتن افزار تحت آزمون در سطح تابش مرجع می‌باشد.

۳-۳ ناحیه آزمون تعیین شده^۶

ناحیه‌ای از صفحه آزمون که از نظر یکنواختی ارزیابی می‌شود.

-
- 1- Optics
 - 2- Steady state
 - 3- Single pulse
 - 4- Multi pulse
 - 5- Flash
 - 6- Designated test area

یادآوری - در صورت لزوم، مشخصات هندسی نمونه می‌تواند مشخص شود. ویژگی مربوط به یک هندسهٔ مدور نیز مجاز می‌باشد.

۳-۴ زمان نمونه‌برداری داده

زمان لازم برای به‌دست آوردن یک مجموعهٔ دادهٔ تک‌تکی (تابش، ولتاژ، جریان) می‌باشد. در حالت اندازه‌گیری همزمان، این با مشخصهٔ مبدل A/D^۱ ارائه می‌شود. در مورد سامانه‌های هم‌تافت‌شده^۲، نرخ نمونه‌برداری داده، نرخ هم‌تافت‌گری^۳ است.

مثال: زمان هم‌تافت‌گری ۱ μs ، نرخ نمونه‌برداری یک میلیون نمونه در ثانیه را می‌دهد.

یادآوری - به‌دلیل زمان تأخیر احتمالی برای نوسان گذرا در هر نقطهٔ داده، نرخ نمونه‌برداری داده باید تنها با سامانهٔ جمع‌آوری داده در ارتباط باشد.

از زمان نمونه‌برداری داده، برای ارزیابی پایداری موقتی استفاده می‌شود.

۳-۵ زمان جمع‌آوری داده^۴

زمان لازم برای به‌دست آوردن کل یا قسمتی از منحنی جریان-ولتاژ می‌باشد.

یادآوری ۱- زمان جمع‌آوری داده به تعداد نقاط دادهٔ I-V و یک زمان تأخیر که می‌تواند قابل تنظیم باشد، بستگی دارد.

یادآوری ۲- در مورد شبیه‌سازهای خورشیدی پالسدار، زمان جمع‌آوری داده با اندازه‌گیری‌های ثبت شده حین یک تک چشمک نور در ارتباط است.

۳-۶ زمان برای به‌دست آوردن مشخصهٔ I-V

در صورتی که منحنی I-V افزار PV از طریق تقسیم‌بندی به قسمت‌های مختلف و چشمک‌های نور متوالی اندازه‌گیری می‌شود، زمان کامل برای به‌دست آوردن کل مشخصهٔ I-V برابر با مجموع زمان‌های جمع‌آوری داده می‌باشد.

۳-۷ تابش مؤثر^۵

تابش ممکن است حین جمع‌آوری دادهٔ یک اندازه‌گیری عملکرد I-V تغییر کند. تابش مؤثر آن‌گاه برابر با میانگین تابش تمام نقاط داده می‌باشد.

یادآوری - باید مراقب بود که تصحیح تابش احتمالی، الزامات استاندارد بین‌المللی IEC 60891 را برآورده نماید.

۳-۸ گسترهٔ طیفی

توزیع طیفی مرجع نور خورشید در جرم کلی هوا 1.5 در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-3 تعریف شده است. به‌منظور ارزیابی شبیه‌ساز، این استاندارد گسترهٔ طول موج را از ۴۰۰ nm تا ۱۱۰۰ nm محدود می‌کند.

1- Analogue to Digital
2- Multiplexed systems
3- Multiplexing rate
4- Data acquisition
5- Effective irradiance

مطابق با جدول ۱، این گستره طول موج مورد نظر به ۶ باند طول موج تقسیم می‌شود، که هر یک به اندازه درصد معینی در تابش یکپارچه سهم دارند.

۹-۳ انطباق طیفی

انطباق طیفی شبیه‌ساز خورشیدی با انحراف از تابش طیفی مرجع AM 1.5، همان‌گونه که در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-3 آمده، تعریف می‌شود. برای ۶ بازه طول موج دلخواه، درصد کل تابش در جدول ۱ مشخص شده است.

جدول ۱- توزیع تابش طیفی خورشیدی مرجع کلی ارائه شده در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-3

| درصد کل تابش در گستره طول موج ۴۰۰ nm - ۱۱۰۰ nm | گستره طول موج nm | ردیف |
|---|---------------------|------|
| ٪ ۱۸٫۴ | ۵۰۰ - ۴۰۰ | ۱ |
| ٪ ۱۹٫۹ | ۶۰۰ - ۵۰۰ | ۲ |
| ٪ ۱۸٫۴ | ۷۰۰ - ۶۰۰ | ۳ |
| ٪ ۱۴٫۹ | ۸۰۰ - ۷۰۰ | ۴ |
| ٪ ۱۲٫۵ | ۹۰۰ - ۸۰۰ | ۵ |
| ٪ ۱۵٫۹ | ۱۱۰۰ - ۹۰۰ | ۶ |

۱۰-۳ غیریکنواختی تابش در صفحه آزمون

$$\text{غیر یکنواختی (\%)} = \left[\frac{\text{تابش min} - \text{تابش max}}{\text{تابش min} + \text{تابش max}} \right] \times 100\% \quad (۱)$$

که در آن بیشینه و کمینه تابش، مقادیری هستند که با آشکارساز(های) روی ناحیه آزمون شناسه‌گذاری شده، اندازه‌گیری می‌شوند.

۱۱-۳ ناپایداری موقتی تابش

ناپایداری موقتی به وسیله دو پارامتر زیر تعریف می‌شود:

الف- ناپایداری کوتاه‌مدت (STI)^۱

این پارامتر مربوط به زمان نمونه‌برداری داده یک مجموعه داده (تابش، جریان، ولتاژ) حین اندازه‌گیری I-V می‌باشد. این مقدار ناپایداری موقتی ممکن است بین مجموعه داده‌های روی منحنی I-V متفاوت باشد. در این حالت، ناپایداری کوتاه‌مدت با بدترین حالت تعیین می‌شود.

برای آزمون دسته‌ای^۲ سلول‌ها یا مدول، بدون هرگونه پایش تابش حین اندازه‌گیری I-V، STI دوره زمانی بین تعیین تابش می‌باشد.

1- Short term instability

2- Batch testing

ب- ناپایداری طولانی مدت^۱ (LTI)

این مقدار مربوط به دوره زمانی دلخواه می باشد:

- برای اندازه گیری I-V، این مقدار برابر با زمان به دست آوردن کل منحنی I-V است.
- برای آزمون های قرارگیری در معرض تابش، این مقدار برابر با دوره زمانی در معرض قرارگیری می باشد.

$$\text{ناپایداری موقتی (\%)} = \left[\frac{\text{تابش min} - \text{تابش max}}{\text{تابش min} + \text{تابش max}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

که در آن بیشینه و کمینه تابش به کاربرد شبیه ساز خورشیدی بستگی دارد. در صورتی که از شبیه ساز خورشیدی برای آزمون های تحمل تابش استفاده می شود، ناپایداری موقتی به وسیله بیشینه و کمینه تابش اندازه گیری شده با یک آشکارساز^۲ در هر نقطه خاص روی صفحه آزمون حین زمان

در معرض قرارگیری تعریف می شود.

۳-۱۲ طبقه بندی شبیه ساز خورشیدی

شبیه ساز خورشیدی ممکن است از یکی از سه کلاس (A، B یا C) باشد که هر یک دارای سه گروه - انطباق طیفی، غیریکنواختی فضایی و ناپایداری موقتی باشند. هر شبیه ساز به ترتیب با سه حرف انطباق طیفی، غیریکنواختی تابش در صفحه آزمون و ناپایداری موقتی رتبه بندی می شود (برای مثال: CBA).

یادآوری - بهتر است طبقه بندی شبیه ساز خورشیدی به طور دوره ای بررسی شود تا اثبات شود که طبقه بندی حفظ شده است. برای مثال، تابش طیفی ممکن است با توجه به زمان کارکرد لامپ مورد استفاده تغییر نماید یا غیریکنواختی تابش تحت تأثیر شرایط بازتاب در اتاقک آزمون می باشد.

۴ الزامات شبیه ساز

جدول ۱، الزامات عملکرد برای انطباق طیفی، غیریکنواختی تابش و ناپایداری موقتی تابش را ارائه می دهد. برای انطباق طیفی، تمام ۶ بازه نشان داده شده در جدول ۱ باید با نسبت های جدول ۲ مطابقت داشته باشد تا طبقه های مربوطه به دست آیند. برای رویه های اندازه گیری و محاسبه سه پارامتر (انطباق طیفی، غیریکنواختی تابش و ناپایداری موقتی) شبیه ساز، به بند ۵ مراجعه شود.

در صورتی که شبیه ساز جهت استفاده برای اندازه گیری STC^۳ در نظر گرفته شده است، بهتر است شبیه ساز قادر به ایجاد تابش مؤثر 1000 W/m^2 در صفحه آزمون باشد. ممکن است سطوح تابش بالاتر یا پایین تر نیز الزام شوند.

یادآوری - در صورتی که تابش بالاتر یا پایین تر الزام شده باشد، این امر ممکن است طبقه بندی شبیه ساز را تغییر دهد.

این الزامات برای هر دو شبیه ساز خورشیدی پالس دار و پایدار کاربرد دارد.

1- Long term instability
2- Short term instability
3- Standard Test Condition

جدول ۲- تعریف طبقه‌بندی‌های شبیه‌ساز خورشیدی

| ناپایداری موقتی | | غیریکنواختی تابش | انطباق طیفی برای تمام بازه‌های مشخص شده در جدول ۱ | طبقه‌بندی‌ها |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------|---|--------------|
| ناپایداری طولانی مدت تابش LTI | ناپایداری کوتاه مدت تابش STI | | | |
| ٪ ۲ | ٪ ۰٫۵ | ٪ ۲ | ۱٫۲۵ تا ۰٫۷۵ | A |
| ٪ ۵ | ٪ ۲ | ٪ ۵ | ۱٫۴ تا ۰٫۶ | B |
| ٪ ۱۰ | ٪ ۱۰ | ٪ ۱۰ | ۲٫۰ تا ۰٫۴ | C |

یادآوری- یک مثال از طبقه‌بندی شبیه‌ساز خورشیدی برای اندازه‌گیری I-V در جدول ۳ نشان داده شده است. طبقه‌بندی انطباق طیفی برای لامپ زنون غیر فیلتر شده ارائه شده است. طبقه‌بندی برای غیریکنواختی تابش به اندازه مدول دلخواه بستگی دارد.

جدول ۳- مثال از اندازه‌گیری‌های رتبه‌بندی شبیه‌ساز

| ناپایداری موقتی تابش | غیریکنواختی تابش برای یک اندازه مدول خاص | انطباق طیفی با تمام بازه‌های مشخص در جدول ۱ | طبقه‌بندی به صورت مشخص شده در جدول ۲ |
|--|--|---|--------------------------------------|
| ارزیابی STI: اندازه‌گیری همزمان جریان مدول، ولتاژ مدول و تابش. تأخیر تحریک بین کانال‌ها کمتر از ۱۰ ns. در محدوده این زمان، تغییر تابش (A) کمتر از ٪ ۰٫۵. LTI برای به دست آوردن کل منحنی I-V در یک بازه ۱۰ ms = ٪ ۳٫۵ (B) | ٪ ۲٫۸ برای اندازه مدول ۱۷۰ cm × ۱۰۰ cm | ۰٫۸۱ در ۴۰۰ nm تا ۵۰۰ nm (A) ۰٫۷۱ در ۵۰۰ nm تا ۶۰۰ nm (B) ۰٫۶۹ در ۶۰۰ nm تا ۷۰۰ nm (B) ۰٫۷۴ در ۷۰۰ nm تا ۸۰۰ nm (B) ۱٫۵۶ در ۸۰۰ nm تا ۹۰۰ nm (C) ۱٫۷۴ در ۹۰۰ nm تا ۱۱۰۰ nm (C) | CBB |
| طبقه‌بندی = B | طبقه‌بندی = B | طبقه‌بندی بدترین حالت = C | |

۵ رویه‌های اندازه‌گیری

۱-۵ ملاحظات مقدماتی

در این بند از استاندارد، راهنمایی درباره داده عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی الزام شده که باید در نظر گرفته شود و مکان‌های الزام شده در ناحیه آزمون برای این داده که باید لحاظ شوند، ارائه شده است. این استاندارد، روش‌های ممکن برای تعیین طیف شبیه‌ساز یا تابش در هر مکانی روی صفحه آزمون را تعریف نمی‌کند. این مسئولیت سازنده شبیه‌ساز است که اطلاعات مربوط به درخواست برای روش‌های آزمون مورد استفاده در تعیین عملکرد در هر طبقه‌بندی را ارائه دهد. این روش‌ها بهتر است رویه‌های به‌طور علمی و تجاری مورد

قابل قبول باشند. طبقه‌بندی شبیه‌ساز خورشیدی، هیچ اطلاعاتی درباره خطاهای اندازه‌گیری مربوط به اندازه‌گیری‌های عملکرد فتولتائیک به‌دست آمده با یک شبیه‌ساز خورشیدی طبقه‌بندی شده، ارائه نمی‌دهد. چنین خطاهایی به افزارهای اندازه‌گیری واقعی و رویه‌های مورد استفاده بستگی دارند.

۲-۵ انطباق طیفی

۱-۲-۵ روش‌های موجود عبارتند از استفاده از:

الف- رادیومتر طیفی^۱ متشکل از یک تکفام‌ساز توری^۲ و یک آشکارساز گسسته^۳؛

ب- پیرانومتر آرایه‌ای دیود نوری یا افزار جفت شده با بار^۴ (CCD)؛

پ- مجموعه آشکارساز چندتایی با صافی‌های میان‌گذر؛

ت- و آشکارساز تکی با چند صافی میان‌گذر.

یادآوری- باید مراقب بود تا از پاسخ از نور ناخواسته^۵ یا اثرات مرتبه دوم طول موج اجتناب شود. باید مراقب بود که حساسیت حسگر در گستره طول موج دلخواه، مناسب باشد. باید مراقب بود تا اطمینان حاصل شود که ثابت زمانی آشکارساز برای طول پالس شبیه‌ساز، مناسب باشد.

۲-۲-۵ داده تابش طیفی به‌دست آمده بهتر است در گستره ۴۰۰ nm تا ۱۱۰۰ nm و درصد توزیع ۶ بازه طول تعریف شده در جدول ۱ تا تابش یکپارچه تعیین شده، یکپارچه شود.

۳-۲-۵ انطباق طیفی را برای هر بازه طول موج محاسبه کنید، که برابر با نسبت درصد محاسبه شده برای طیف شبیه‌ساز و طیف خورشیدی است.

۴-۲-۵ مقایسه داده با طیف خورشیدی باید طبقه‌بندی انطباق طیفی را به ازای هر یک به‌صورت زیر نشان دهد:

- طبقه A: انطباق طیفی در محدوده ۰٫۷۵ تا ۱٫۲۵ برای هر بازه طول موج، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

- طبقه B: انطباق طیفی در محدوده ۰٫۶ تا ۱٫۴ برای هر بازه طول موج، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

- طبقه C: انطباق طیفی در محدوده ۰٫۴ تا ۲٫۰ برای هر بازه طول موج، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

۵-۲-۵ تمام بازه‌های نشان داده شده در جدول ۱ باید با نسبت‌های انطباق طیفی در جدول ۲ برای به‌دست آوردن طبقه‌های مربوطه مطابقت داشته باشد.

1- Spectroradiometer
2- Grating monochromator
3- Discrete detector
4- Charge Coupled Device
5- Stray light

یادآوری ۱- انطباق طیفی ممکن است حین پالس یک شبیه‌ساز خورشیدی پالس‌دار تغییر نماید. بنابراین، بهتر است زمان یکپارچه‌سازی برای اندازه‌گیری تابش طیفی روی زمان جمع‌آوری داده تنظیم شود و بهتر است انطباق طیفی برای آن دوره زمانی محاسبه شود.

یادآوری ۲- انطباق طیفی ممکن است حین زمان عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی تغییر نماید. در صورت لزوم، بهتر است انطباق طیفی به‌طور دوره‌ای بررسی شود.

۳-۵ غیریکنواختی تابش در صفحه‌آزمون

غیریکنواختی تابش در ناحیه‌آزمون یک شبیه‌ساز خورشیدی با ناحیه‌گسترده به‌منظور اندازه‌گیری مدول‌های PV به شرایط بازتاب درون اتاقک آزمون یا دستگاه آزمون بستگی دارد. بنابراین، هیچ تعمیمی نمی‌تواند صورت پذیرد و غیریکنواختی باید برای هر سامانه ارزیابی شود.

۱-۳-۵ توصیه می‌شود که از یک سلول سیلیکون بلورین محفظه‌بندی شده^۱ یا یک مدول کوچک به‌عنوان آشکارساز یکنواختی برای تعیین غیریکنواختی تابش در ناحیه‌آزمون شبیه‌ساز با اندازه‌گیری جریان اتصال کوتاه آن، استفاده شود. آشکارساز یکنواختی باید دارای پاسخ طیفی مناسب برای شبیه‌ساز باشد. خطی بودن^۲ و پاسخ زمانی آشکارساز یکنواختی باید با مشخصات شبیه‌سازی که باید اندازه‌گیری شود، مطابقت داشته باشد.

یادآوری- زمانی که از یک مدول کوچک به‌عنوان آشکارساز یکنواختی استفاده می‌شود، باید مراقب بود که اثرات اندازه‌گیری احتمالی ناشی از میان‌اتصال^۳ سلول‌ها در نظر گرفته شود.

۲-۳-۵ ناحیه‌آزمون تعیین شده را دست‌کم به ۶۴ موقعیت آزمون (بلوک) با اندازه مساوی (از نظر مساحت) تقسیم کنید. بیشینه‌اندازه آشکارساز یکنواختی باید حداقل به‌صورت زیر باشد:

الف- ناحیه‌آزمون شناسه‌گذاری شده تقسیم بر ۶۴؛
ب- یا 400 cm^2 .

بهتر است ناحیه تحت پوشش اندازه‌گیری‌های آشکارساز، % ۱۰۰ ناحیه‌آزمون شناسه‌گذاری شده باشد. بهتر است موقعیت‌های اندازه‌گیری به‌طور یکنواخت روی ناحیه‌آزمون شناسه‌گذاری شده، توزیع شوند.

یادآوری ۱- یک مدول کوچک تا زمانی می‌تواند به‌عنوان آشکارساز یکنواختی به‌کار برده شود که ابعاد سطح فعال آن در محدوده ابعاد موقعیت‌های آزمون قرار گیرد. بهتر است دارای دست‌کم % ۸۰ تراکم بسته‌بندی^۴ سلول‌ها باشد.

یادآوری ۲- برای شبیه‌سازهای خورشیدی چندلامپی، ممکن است قدرت تفکیک بالاتر نقاط داده با استفاده از یک آشکارساز کوچکتر برای تشخیص یکنواختی تابش، ضروری شود.

یادآوری ۳- بهتر است سازندگان مدول، استفاده از آشکارساز با ابعادی برابر با سلول‌های درون مدول را لحاظ نمایند. مثال: شبیه‌ساز خورشیدی با ناحیه‌گسترده.

1- Encapsulated crystalline silicon cell
2- Linearity
3- Interconnection
4- Packing density

ناحیه آزمون شناسه‌گذاری شده $160 \text{ cm} \times 240 \text{ cm}$ ، اگر بر 64 تقسیم شود، بیشینه ناحیه آشکارساز یکنواختی به اندازه 600 cm^2 را می‌دهد. از آنجایی که این مقدار بزرگتر از 400 cm^2 است، بیشینه اندازه آشکارساز یکنواختی، 400 cm^2 است که به 76 موقعیت آزمون منجر می‌شود.

۳-۳-۵ با استفاده از افزار یکنواختی، تابش در هر موقعیت آزمون با اعمال روش‌های زیر تعیین می‌شود:

الف- شبیه‌سازهای خورشیدی حالت پایدار: دست‌کم یک اندازه‌گیری تابش باید در هر مکان انجام شود.
ب- شبیه‌ساز خورشیدی پالس‌دار: تابش کلی شبیه‌ساز خورشیدی ممکن است حین فرآیند پایش ثابت نباشد. بنابراین، بهتر است از افزار PV دیگری برای پایش تابش حین پالس استفاده شود. این افزار باید در یک موقعیت ثابت خارج از ناحیه آزمون شناسه‌گذاری شده (افزار پایش) قرار داده شود. بهتر است مقادیر هر دو افزار به‌طور همزمان خوانده شوند. در صورتی که منحنی I-V حین یک تک‌پالس ثبت می‌شود، بهتر است دست‌کم 10 مقدار حین قسمتی از پالس که در آن اندازه‌گیری I-V انجام می‌پذیرد، خوانده شود. در صورت لزوم، باید تصحیح تابش انجام شود. تابش مؤثر برابر با میانگین تمام مقادیر تصحیح شده تابش می‌باشد.

۴-۳-۵ هرچند که افزار یکنواختی ممکن است در موقعیت آزمون درون مرز ناحیه آزمون قرار گرفته باشد، باید در لبه خارجی ناحیه آزمون برای موقعیت‌های آزمونی که روی پیرامون ناحیه آزمون هستند قرار گیرد.

۵-۳-۵ غیریکنواختی فضایی با استفاده از معادله (۱) در بند ۳-۱۰ تعیین می‌شود.

۶-۳-۵ بهتر است به‌منظور کمک به کاربر در آزمون و تعریف واضح نواحی مختلف با طبقه‌بندی‌های مختلف و پیدا کردن موقعیت‌های آزمون بهینه برای مدول/ سلول با اندازه‌های متفاوت، جدول الگوی تابش اندازه‌گیری شده شبیه‌ساز همراه با شبیه‌ساز خورشیدی عرضه شده باشد.

۷-۳-۵ طبقه شبیه‌ساز از نظر غیریکنواختی به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

طبقه A: غیریکنواختی تابش فضایی 2% ، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.
طبقه B: غیریکنواختی تابش فضایی 5% ، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.
طبقه C: غیریکنواختی تابش فضایی 10% ، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

یادآوری - الگوی تابش در ناحیه آزمون شبیه‌سازهای خورشیدی ممکن است با ساعت‌ها کارکردن یا هنگام تغییر لامپ‌ها، تغییر نماید. بهتر است بررسی غیریکنواختی در سرویس و حفظ نگهداری گنجانده شود.

۴-۵ ناپایداری موقتی تابش

۱-۴-۵ شبیه‌سازهای خورشیدی برای اندازه‌گیری I-V

لازم است هر دو ناپایداری کوتاه‌مدت (STI) و بلندمدت (LTI) ارزیابی شوند.

برای ارزیابی STI، سامانه جمع‌آوری داده I-V ممکن است به‌صورت قسمت یکپارچه‌ای از شبیه‌ساز خورشیدی در نظر گرفته شود. در صورتی که شبیه‌ساز خورشیدی شامل سامانه جمع‌آوری داده نباشد، آن‌گاه

سازنده شبیه‌ساز باید زمان متناظر نمونه‌برداری داده مربوط به طبقه‌بندی STI گزارش شده را مشخص نماید.

دو حالت مختلف برای شبیه‌سازهای خورشیدی پالس‌دار و سه حالت برای شبیه‌سازهای خورشیدی حالت پایدار وجود دارد که در نظر گرفته می‌شوند.

۵-۴-۱-۱ تعیین STI شبیه‌ساز خورشیدی پالس‌دار

برای یک شبیه‌ساز خورشیدی پالس‌دار که در آن سامانه جمع‌آوری داده، قسمت یکپارچه‌ای از شبیه‌ساز خورشیدی است، ارزیابی STI می‌تواند با دو مفهوم اندازه‌گیری در ارتباط باشد:

الف- زمانی که سه خط ورودی داده مجزا وجود دارد که به‌طور همزمان مقادیر تابش، جریان و ولتاژ را ذخیره می‌کنند، ناپایداری موقتی برای STI از طبقه A است.

یادآوری- عدم قطعیت در تحریک همزمان سه کانال چندگانه، نوعاً کمتر از ۱۰ ns است.

ب- زمانی که هر مجموعه داده به‌طور متوالی به‌دست آورده می‌شود (تابش، جریان، ولتاژ)، ناپایداری موقتی به‌صورت زیر (شکل‌های ۱ و ۲) تعیین می‌شوند:

۱- زمان به‌دست آوردن دو مجموعه داده متوالی (تابش، جریان، ولتاژ) با در نظر گرفتن زمان تأخیر احتمالی بین اندازه‌گیری‌ها تعیین می‌شود.

۲- STI با بدترین حالت تغییر تابش بین مجموعه داده‌های متوالی در ارتباط است.

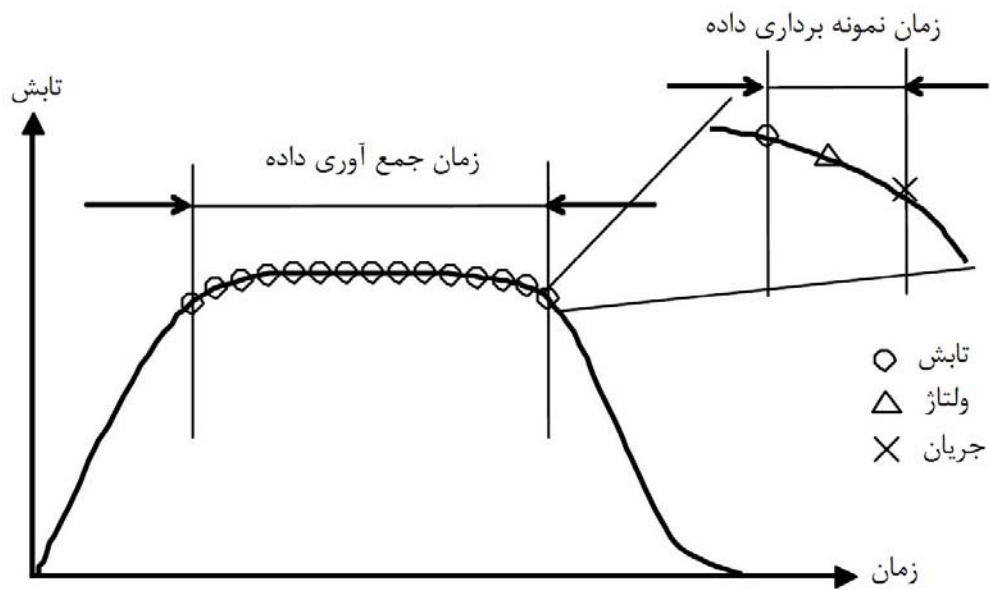
۳- STI با استفاده از داده گام ۲، معادله (۲) و جدول ۲ تعیین می‌شود.

یادآوری- برای شبیه‌سازهای خورشیدی پالس‌دار مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌های I-V اما نه شامل سامانه جمع‌آوری داده I-V، بخش‌های پالسی که باید مورد استفاده قرار گیرند و تعداد نقاط داده با فاصله مساوی برای دستیابی به طبقه‌های A، B و C از STI باید توسط سازنده شبیه‌ساز خورشیدی بیان شود.

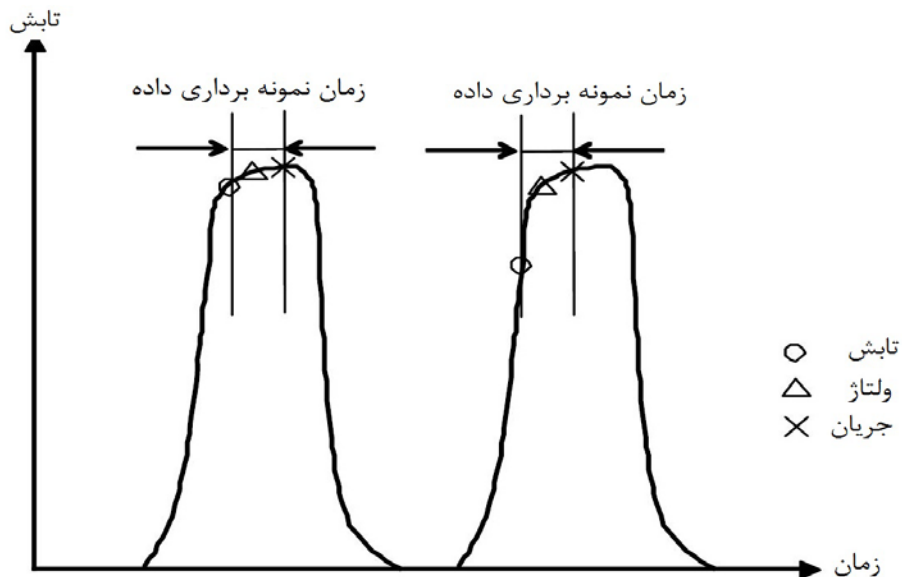
۵-۴-۱-۲ تعیین LTI شبیه‌ساز خورشیدی پالس

الف- برای شبیه‌سازهای خورشیدی پالس طولانی، LTI با تغییر تابش مجموعه داده‌های اندازه‌گیری شده حین زمان جمع‌آوری داده در ارتباط است (شکل ۱).

ب- برای سامانه‌های با چند چشمک نور، LTI با بیشینه تغییر تابش اندازه‌گیری شده بین مجموعه داده‌های مورد استفاده برای تعیین کل منحنی I-V در ارتباط است.



شکل ۱- ارزیابی STI برای یک شبیه‌ساز خورشیدی پالس طولانی



شکل ۲- ارزیابی STI برای یک شبیه‌ساز خورشیدی پالس کوتاه

۳-۱-۴-۵ شبیه‌ساز خورشیدی حالت پایدار برای اندازه‌گیری I-V

الف- زمانی که سه خط ورودی داده مجزا وجود دارد که به‌طور همزمان مقادیر تابش، جریان و ولتاژ را ذخیره می‌کند، طبقه STI، A است.

یادآوری- عدم قطعیت در تحریک همزمان سه کانال چندتایی، نوعاً کمتر از ۱۰ ns است.

ب- برای شبیه‌سازهای خورشیدی حالت پایدار بدون اندازه‌گیری همزمان تابش، جریان و ولتاژ، از رویه زیر برای تعیین STI استفاده می‌شود:

- ۱- زمان برای به دست آوردن دو مجموعه داده متوالی (تابش، جریان و ولتاژ) با در نظر گرفتن زمان تأخیر احتمالی بین اندازه‌گیری‌ها، تعیین می‌شود.
- ۲- STI با بدترین حالت تغییر تابش بین مجموعه داده‌های متوالی در ارتباط است.
- ۳- STI با استفاده از داده گام ۲، معادله (۲) و جدول ۲ تعیین می‌شود.

یادآوری - برای شبیه‌سازهای خورشیدی حالت پایدار مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌های عملکرد PV اما نه شامل سامانه جمع‌آوری داده I-V، بهتر است بیشینه زمان جمع‌آوری داده توسط سازنده شبیه‌ساز خورشیدی برای دستیابی به طبقه‌های A، B و C از STI بیان شود.

پ- برای شبیه‌سازهای خورشیدی حالت پایدار به غیر از اندازه‌گیری تابش برای یک مجموعه داده، مقدار STI باید از پیش اندازه‌گیری ناپایداری تابش طی دوره زمانی دلخواه برای اندازه‌گیری I-V (زمان بین اندازه‌گیری تابش) تعیین شود. اندازه‌گیری پیوسته تابش در شرایط کاری تثبیت شده از بیشینه و کمینه در آن دوره زمانی ارزیابی می‌شود. برای این حالت، هیچ LTI وجود ندارد.

۵-۴-۲ شبیه‌سازهای خورشیدی برای قرارگیری در معرض تابش

برای شبیه‌سازهای خورشیدی حالت پایدار مورد استفاده برای آزمون‌های تحمل تابش، مقدار LTI برابر با مقدار دلخواه اولیه و مورد استفاده برای طبقه‌بندی می‌باشد. رویه زیر برای تعیین LTI به کار برده می‌شود:

الف- تغییرات تابش در دوره زمانی دلخواه با استفاده از یک حسگر تابش مناسب و زمان میانگین‌گیری مقتضی ثبت می‌شود. در صورتی که از سامانه‌های چندلامپی استفاده می‌شود، تعداد نمونه‌ای از مکان‌ها در ناحیه آزمون شناسه‌گذاری شده باید مشخص شود.

ب- بیشینه تابش و کمینه تابش از داده اندازه‌گیری شده در گام (الف) تعیین می‌شود.

پ- LTI با استفاده از داده گام (ب) و معادله (۲) تعیین می‌شود.

ت- مقدار محاسبه شده LTI برای تعیین طبقه‌بندی STI در جدول ۲ به کار برده می‌شود.

۵-۴-۳ طبقه STI شبیه‌ساز خورشیدی به صورت زیر ارائه می‌شود:

طبقه A: ناپایداری موقتی $\leq 0.5\%$ ، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

طبقه B: ناپایداری موقتی $\leq 2\%$ ، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

طبقه C: ناپایداری موقتی $\leq 10\%$ ، همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص شده است.

۶ پلاک مشخصه و برگه داده

اطلاعات زیر باید توسط سازنده شبیه‌ساز خورشیدی روی پلاک مشخصه همراه هر شبیه‌ساز ارائه شده باشد:

- سازنده؛
- مدل؛
- نوع شبیه‌ساز خورشیدی (پالس‌دار یا حالت پایدار)؛
- شماره سریال؛
- تاریخ ساخت یا قابل ردیابی از شماره سریال.

علاوه بر این، اطلاعات زیر باید توسط سازنده شبیه‌ساز خورشیدی روی یک برگه داده که همراه هر شبیه‌ساز است، ارائه شود:

- تاریخ صدور برگه داده.
- استفاده مورد نظر از شبیه‌ساز خورشیدی (اندازه‌گیری I-V یا قرارگیری در معرض تابش).
- طبقه‌بندی "انطباق طیفی".
- طبقه‌بندی "غیر یکنواختی تابش".
- طبقه‌بندی STI.
- روش‌های اندازه‌گیری‌های مورد استفاده برای تعیین گروه‌های طبقه‌بندی.
- گستره تابشی که روی آن این طبقه‌ها تعیین می‌شوند.
- بیشینه زمان جمع‌آوری داده، در صورتی که برای اندازه‌گیری‌های I-V مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- محیط کاری که برای آن، طبقه‌بندی معتبر است (شرایط محیطی، الزامات توان).
- مکان و ناحیه نامی صفحه‌آزمون که در آن طبقه‌بندی تعیین شده است.
- تنظیم نامی لامپ و سطوح تابش که تحت آن، طبقه‌ها اندازه‌گیری شدند.
- جدول توزیع تابش طیفی اندازه‌گیری شده.
- زمان گرم شدن برای تثبیت تابش.
- زمان گرم شدن برای تثبیت اندازه‌گیری‌ها I-V.
- جدول غیریکنواختی تابش اندازه‌گیری شده روی ناحیه‌آزمون مشخص شده.
- ناپایداری موقتی اندازه‌گیری شده تابش (LTI).
- بیشینه فضای تابش نور منبع (شامل نور تابانده شده) در صفحه‌آزمون.
- پروفایل^۱ تابش در مقابل زمان پالس (برای شبیه‌ساز پالس‌دار).
- نرخ نمونه‌برداری داده.
- تغییراتی که ممکن است نیاز به بازبینی طبقه‌بندی داشته باشند.

کتابنامه

(اطلاعاتی)

- 1** IEC 60904-1: Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics
- 2** IEC 60904-2: Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar devices
- 3** IEC 60904-7: Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device
- 4** IEC 60904-8: Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device
- 5** IEC 60904-10: Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement
- 6** IEC 61215: Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval
- 7** IEC 61646: Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval