سیستم مدیریت ایزو
www.isomanagement.ir

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه **سیستم مدیریت ایزو** با هدف بهبود مستمرعملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگارکنید...

ISO 9001 14001 18001

CE

GMP GAP 22716

IMS HSE-MS

45001

22000 HACCP

INSO
14115-8
1st Revision
2019

Identical with
IEC 60904-8:
2014

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۴۱۱۵-۸
تجدیدنظر اول
۱۳۹۷

افزاره‌های فتوولتائیک–
قسمت ۸: اندازه‌گیری پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک (PV)

Photovoltaic devices–
Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device

ICS: 27.160

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران 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 منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] 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 زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«افزاره‌های فتوولتائیک- قسمت ۸: اندازه‌گیری پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک (PV)»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
رسولی، رضا (دکتری فیزیک)	دانشگاه زنجان
دبیر:	
خدائی فرد، شراره (کارشناسی ارشد فیزیک)	رئیس اداره اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها- اداره کل استاندارد استان زنجان
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا):	
خرّم، بهرام (کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت)	اداره کل استاندارد استان زنجان
ربیعی، غلامرضا (کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات)	شرکت برق آفتابی هدایت نور یزد
رحمتیان، زهرا (کارشناسی ارشد فیزیک)	پژوهشگاه استاندارد
عابدینی، یوسفعلی (دکتری فیزیک)	دانشگاه زنجان
عباسی، رقیه (کارشناسی ارشد فیزیک)	انجمن مدیران کنترل کیفیت و مسئولین فنی صنایع استان زنجان
منشی پور، سمیرا (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)	سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)
ویراستار:	
خرّم، بهرام (کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت)	کارشناس مسئول امور استاندارد- اداره کل استاندارد استان زنجان

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار خ
مقدمه د
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ نشانه‌گذاری ۲
۴ آزمون ۳
۴-۱ کلیات ۳
۴-۲ ملاحظات خاص ۳
۴-۳ اندازه‌گیری تحت نور بایاس سفید ۳
۴-۴ اعمال ولتاژ بایاس به افزاره تحت آزمون ۳
۵ توضیح کلی اندازه‌گیری پاسخ طیفی ۴
۶ دستگاه‌ها ۵
۶-۱ کلیات ۵
۶-۲ منبع نور تک‌فام ۹
۶-۳ نگهدارنده افزاره فتوولتائیک و کنترل دما ۹
۶-۴ اتصالات افزاره فتوولتائیک ۱۰
۶-۵ نور بایاس ۱۰
۶-۶ اندازه‌گیری‌های DC ۱۰
۶-۷ اندازه‌گیری‌های AC در حضور نور بایاس ۱۱
۶-۸ افزاره مرجع ۱۱
۷ اندازه‌گیری پاسخ طیفی با استفاده از منبع نور ثابت ۱۱
۷-۱ روش کلی با توری پراش تک‌فام ساز یا چرخ فیلتر ۱۱
۷-۲ اندازه‌گیری افزاره مرجع برای چیدمان کالیبراسیون ۱۲
۷-۳ اندازه‌گیری افزاره تحت آزمون ۱۳
۷-۴ محاسبه پاسخ طیفی ۱۳
۷-۵ ساده‌سازی‌ها ۱۴
۸ اندازه‌گیری پاسخ طیفی تحت نور پالسی ۱۶
۸-۱ دستگاه تکمیلی ۱۶
۸-۲ روش آزمون ۱۶

عنوان **صفحه**

۹ اندازه‌گیری مدول‌های اتصال سری ۱۷
۹-۱ کلیات ۱۷
۹-۲ دستگاه تکمیلی ۱۷
۹-۳ روش آزمون ۱۷
۹-۴ محاسبه پاسخ طیفی ۲۰
۱۰ گزارش ۲۰

شکل ۱- مثالی از نمودار بلوکی تجهیزات اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی با استفاده از منبع نور پیوسته و تک‌فام‌ساز توری پراش ۷
شکل ۲- مثالی از نمودار بلوکی تجهیزات اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی با استفاده از منبع نور پیوسته و فیلترهای میان‌گذر ۸
شکل ۳- نمودار بلوکی نمونه‌ای از ابزار اندازه‌گیری پاسخ طیفی با استفاده از منبع نور پالسی و فیلترهای میان‌گذر ۱۶
شکل ۴- مثالی از چیدمان اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی سلول هدف در یک مدول فتوولتائیک، که در آن نور بایاس مکمل به تمام سلول‌ها در مدول به غیر از سلول هدف اعمال می‌شود ۱۸
شکل ۵- مثالی از چیدمان اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی سلول هدف در یک مدول فتوولتائیک، که در آن نور بایاس مکمل به تمام سلول‌ها در رشته مدول به غیر از سلول هدف اعمال می‌شود ۱۹
شکل ۶- تعیین ولتاژ بایاس Vb برای تنظیم ولتاژ دو سر سلول هدف به شرایط اتصال کوتاه ۱۹

پیش‌گفتار

استاندارد «افزاره‌های فتوولتائیک- قسمت ۸: اندازه‌گیری پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک (PV)» که نخستین‌بار در سال ۱۳۹۲ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در یکصد و هفتمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد انرژی مورخ ۱۳۹۷/۱۱/۲۹ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۸-۱۴۱۱۵ : سال ۱۳۹۲ می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

IEC 60604-8: 2014, Photovoltaic device– Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۴۱۱۵ است.

قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ فتوولتائیک

قسمت ۲: الزامات افزاره‌های مرجع فتوولتائیک

قسمت ۳: اصول اندازه‌گیری برای افزاره‌های خورشیدی فتوولتائیک (PV) زمینی با داده‌های تابش طیفی مرجع

قسمت۴: افزاره‌های خورشیدی مرجع -رویه هایی برای ایجاد قابلیت ردیابی کالیبره کردن

قسمت ۵: تعیین معادل دمای سلول (ECT) افزاره‌های فتوولتائیک (PV) به روش ولتاژ مدار باز

قسمت ۷: محاسبهٔ تصحیح عدم‌انطباق طیفی برای اندازه‌گیری افزاره‌های فتوولتائیک

قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی

قسمت ۱۰: روش‌های اندازه‌گیری خطی

افزاره‌های فتوولتائیک- قسمت ۸: اندازه‌گیری پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک (PV)

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات اندازه‌گیری پاسخ طیفی افزاره‌های فتوولتائیک خطی و غیرخطی است. این استاندارد، فقط برای افزاره‌های تک‌پیوندی کاربرد دارد. از آنجائیکه پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک، میزان بازترکیب و سایر فرآیندهایی که در داخل نیم‌رسانا یا سامانه مواد سلول اتفاق می‌افتد را بیان می‌کند، لذا از آن به منظور توسعه و تحلیل سلول استفاده می‌شود.

چنانچه افزاره فتوولتائیک در چیدمانی کالیبره شود که طیف اندازه‌گیری شده، متفاوت از داده‌های تابش طیفی مرجع داده شده در استاندارد IEC 60904-3 باشد، برای تصحیح عدم هماهنگی[1] طیفی، پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و بدین منظور از افزاره مرجع با پاسخ طیفی متفاوت برای افزاره تحت آزمون استفاده می‌شود. این روش اجرایی در استاندارد IEC 60904-7 ارائه شده است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد 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

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۳: اصول اندازه‌گیری برای افزارهای خورشیدی فتوولتائیک (PV) زمینی با داده‌های تابش طیفی مرجع، با استفاده از استاندارد IEC 60904-8: 2008 تدوین شده است.

2-2 IEC 60904-7, Photovoltaic devices– Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۷: محاسبهٔ تصحیح عدم‌انطباق طیفی برای اندازه‌گیری افزارهای فتوولتائیک، با استفاده از استاندارد IEC 60904-7: 2008 تدوین شده است.

2-3 IEC 60904-9, Photovoltaic devices– Part 9: Solar simulator performance requirements

1- Mismatch

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی، با استفاده از استاندارد IEC 60904-9: 2007 تدوین شده است.

2-4 IEC 61215, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules– Design qualification and type approval

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۸۸۱: سال ۱۳۹۵، مدول های فتوولتاییک (PV) زمینی- احراز شرایط طراحی وتایید نوع، با استفاده از استاندارد IEC 61215-1: 2016 تدوین شده است.

2-5 IEC 61646, Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules– Design qualification and type Approval

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۶۴۶ INSO-IEC: سال ۱۳۹۰، مدول‌های فتوولتائیک (pv) زمینی غشای نازک- صلاحیت طرح و تائید نوع، با استفاده از استاندارد IEC 61646: 2008، به روش «تنفیذ» تدوین شده است.

2-6 IEC/TS 61836, Solar photovoltaic energy systems– Terms, definitions and symbols

2-7 ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration Laboratories

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵: سال ۱۳۸۶، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون، با استفاده از استاندارد ISO/IEC 17025: 2005 تدوین شده است.

۳ نشانه‌گذاری

هر افزاره فتوولتائیک بهتر است دارای نشانه‌گذاری واضح و غیرقابل پاک شدن باشد. این نشانه‌گذاری بهتر است شامل موارد زیر باشد:

- نام، منوگرام[1] یا علامت تجاری سازنده؛
- ماده پایه[2] و نوع افزاره فتوولتائیک؛
- شماره نوع یا شناسایی، در صورت وجود؛
- شماره سریال، در صورت کاربرد.

وقتی افزاره‌های فتوولتائیک مورد آزمون، از خط تولید نبوده و نمونه‌های اولیه طراحی جدید باشند، این موضوع باید در گزارش آزمون نوشته شود (به بند ۱۰ مراجعه شود).

1- Monogram
2- Base material

۴ آزمون

۴-۱ کلیات

افزاره فتوولتائیک باید در معرض یکی از روش‌های اجرایی اندازه‌گیری پاسخ طیفی بیان شده در بندهای ۷ تا ۹ قرار گیرد.

۴-۲ ملاحظات خاص

پیش آماده‌سازی – پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها، افزاره تحت آزمون باید با روش آزمون اشباع نور[1] مناسب، همان طور که در استاندارد IEC 61215 یا استاندارد IEC 61646 مشخص شده است، پایدارسازی شود (در صورت ضرورت). فناوری‌های مختلف فتوولتائیک ممکن است نیاز به روش‌های پیش آماده‌سازی مختلف داشته باشد.

۴-۳ اندازه‌گیری تحت نور بایاس سفید[2]

روش‌های اجرایی بندهای ۷ و ۹ نیاز به نور بایاس سفید دارد که در حین تعیین پاسخ طیفی به افزاره تحت آزمون اعمال می‌شود. در شرایط نور بایاس، پاسخ طیفی اندازه‌گیری نمی‌شود بلکه پاسخ طیفی تفاضلی (DSR)[3] اندازه‌گیری می‌شود. پاسخ طیفی را می‌توان از پاسخ طیفی تفاضلی با در نظر گرفتن غیرخطی بودن و براساس مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های پاسخ طیفی تفاضلی در سطوح نور بایاس که جریان‌های اتصال کوتاه در بازه ٪۵ تا ٪ ۱۱۰ را در شرایط آزمون استاندارد (به بند ۵ مراجعه شود) در افزاره تولید می‌کند، تعیین کرد. اغلب سلول‌های خورشیدی سیلیکونی کریستالی، دارای پاسخ طیفی تفاضلی در نور بایاس هستند که ٪ ۳۰ تا ٪ ۴۰ جریان اتصال کوتاه در شرایط آزمون استاندارد را ایجاد می‌کنند که این پاسخ طیفی تفاضلی با پاسخ طیفی در شرایط آزمون استاندارد یکسان است. بنابراین، اگر غیرخطی بودن افزاره فتوولتائیک سیلیکون کریستالی تعیین نشده باشد، بهتر است اندازه‌گیری با چنین سطوح نور بایاسی انجام شود. اگر تایید شود که غیرخطی بودن قابل چشم‌پوشی بوده و به عبارت دیگر پاسخ طیفی تفاضلی در بازه تابش مورد نظر ثابت است، ممکن است از پاسخ طیفی تفاضلی در سطح نور بایاس معین استفاده شود. برای جزئیات به بند ۵ مراجعه شود.

۴-۴ اعمال ولتاژ بایاس به افزاره تحت آزمون

به طور کلی، پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک در شرایط اتصال کوتاه (ولتاژ بایاس صفر) اندازه‌گیری و برای تحلیل سلول و محاسبه عدم هماهنگی طیفی استفاده می‌شود.

1- Light soaking
2- White bias light
3- Differential spectral responsivity

به منظور اندازه‌گیری پاسخ طیفی آزمونه در ولتاژ مشخص، ممکن است نیاز به اعمال ولتاژ بایاس باشد. ولتاژ بایاس افزاره باید با منبع ولتاژ خارجی کنترل شود. اگر ولتاژ بایاس اعمال شود باید در گزارش بیان شود.

۵ توضیح کلی اندازه‌گیری پاسخ طیفی

پاسخ طیفی افزاره فتوولتائیک توسط تابش منبع نور با پهنای باند باریک به آن، در مجموعه‌ای از طول موج‌های مختلف که بازه پاسخ طیفی آن را پوشش می‌دهد اندازه‌گیری می‌شود و جریان اتصال کوتاه و تابش تک‌فام در هر یک از این طول‌موج‌ها (فرمول (۱))، یا جریان اتصال کوتاه و توان پرتو نور تک‌فام (فرمول (۲)) اندازه‌گیری می‌شود. اولین نوع نتایج اندازه‌گیری منجر به پاسخ تابش طیفی با یکای $A/W.m^{-2}$ می‌شود. به منظور تعیین پاسخ طیفی همان‌گونه که در استاندارد IEC/TS 61836 تعریف شده است، نیاز به تقسیم نتایج بر سطح افزاره تحت آزمون است در حالی‌که دومین نوع اندازه‌گیری، به طور مستقیم پاسخ طیفی با یکای A/W را نتیجه می‌دهد.

به منظور تعیین جریان خروجی افزاره، بهتر است نور بایاس و نور تک‌فام به طور یکنواخت به تمام سطح افزاره بتابد. مهم است تمام سطح افزاره به طور موثر نوردهی شود، زیرا اگر نور به طور مستقیم بر روی سطح فعال نتابد ممکن است در سیگنال اندازه‌گیری شده تاثیر بگذارد. اگر پاسخ طیفی برای محاسبه تصحیح عدم هماهنگی طیفی مطابق با استاندارد IEC 60904-7 استفاده شود، بهتر است سطح نوردهی در حین اندازه‌گیری پاسخ طیفی با اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ یکسان باشد. سطح نوردهی معمولا کل سطح افزاره است، در غیر این‌صورت بهتر است سطح نوردهی را توسط روزنه‌ای[1] به طور مناسب محدود کرد.

در صورتی که سطح افزاره از اندازه پرتوهای مربوط بزرگ‌تر باشد، بهتر است سراسر سطح افزاره به طور مناسب روبش شود تا نوردهی یکنواخت باشد. اگر سطح توسط هر دو پرتو روبش شود، روبش همزمان با نور بایاس بهتر است همیشه ناحیه‌ای بزرگ‌تر از نور تک‌فام را نوردهی کند.

دمای افزاره بهتر است کنترل شود.

چگالی جریان افزاره تحت آزمون در هر طول‌موج بر تابش‌های مربوط تقسیم می‌شود تا پاسخ طیفی را ارائه کند.

$$s(\lambda) = I_{SC}(\lambda) / E(\lambda) / A \qquad (۱)$$

که در آن:

$s(\lambda)$ پاسخ طیفی افزاره تحت آزمون در طول‌موج λ است؛

$I_{sc}(\lambda)$ جریان اتصال کوتاه افزاره تحت آزمون در طول‌موج λ است؛

1- Aperture

$E(\lambda)$ تابش منبع نور در طول‌موج λ است؛

A سطح افزاره تحت آزمون است.

سطح افزاره تحت آزمون باید در گزارش آزمون نوشته شود.

همچنین، ممکن است جریان اتصال کوتاه $I_{sc}(\lambda)$ و توان تابشی فرودی $P(\lambda)$ بر روی افزاره اندازه‌گیری شود و سپس پاسخ طیفی از رابطه زیر تعیین شود:

$$s(\lambda) = I_{SC}(\lambda) / P(\lambda) \qquad (۲)$$

که در آن:

$I_{sc}(\lambda)$ جریان اتصال کوتاه افزاره تحت آمون در طول‌موج λ است؛

$P(\lambda)$ توان تابشی فرودی بر روی افزاره در طول‌موج λ است.

تعیین $P(\lambda)$ نیاز به اندازه‌گیری سطح افزاره تحت آزمون دارد. این سطح باید در گزارش آزمون نوشته شود.

در عمل (به بندهای ۷ و ۹ مراجعه شود) سیگنال کوچک مدوله شده ناشی از نور تک‌فام بر روی سیگنال بایاس بزرگ‌تر ناشی از نور بایاس سفید بر هم نهاده می‌شود. در چنین حالتی، مقادیر ارزیابی شده به صورت تفاضلی مورد بررسی قرار می‌گیرند و پاسخ طیفی تفاضلی (DSR) وابسته به طول‌موج $\tilde{s}(\lambda, E)$ برای تابش نور بایاس خاص E تعیین می‌شود. اگر افزاره خطی باشد، پاسخ طیفی در شرایط استاندارد $s(\lambda)|_{STC}$ برابر با پاسخ طیفی تفاضلی خواهد بود. اگر از غیرخطی بودن چشم‌پوشی شود، استفاده از پاسخ طیفی تفاضلی در سطح نور بایاس خاص ممکن است. برای مثال، اگر پاسخ طیفی تفاضلی یا عامل عدم هماهنگی طیفی حاصل در محدوده سطوح نور بایاسی، بین ٪ ۵ تا ٪ ۱۱۰ جریان اتصال کوتاه را در شرایط آزمون استاندارد ، I_{sc}، تولید می‌کنند، ثابت باشد، پاسخ طیفی تفاضلی با سطح بایاس ٪ ۱۰۰ شرایط آزمون استاندارد ممکن است استفاده شود. در تمام حالت‌های دیگر، پاسخ طیفی تفاضلی باید در مقدار مناسب تابش بایاس اندازه‌گیری شود و پاسخ طیفی برآیند محاسبه شود یا تابش نور بایاس خاص E_0 باید از $\tilde{s}(\lambda, E_0) \approx s(\lambda)|_{STC}$ به دست آید.

۶ دستگاه‌ها

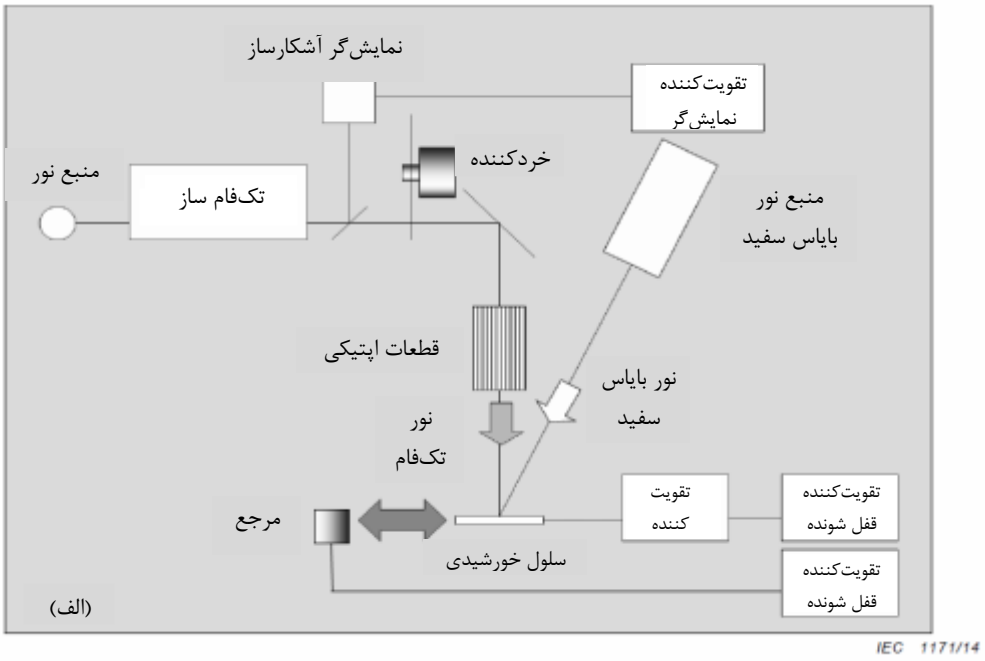
۶-۱ کلیات

سامانه اندازه‌گیری پاسخ طیفی متشکل از منبع نور پیوسته (خردشده یا خردنشده) یا تک‌فام پالسی، مجموعه شکافنده اختیاری پرتو با نمایش‌گر آشکارساز، سکوی نگهدارنده افزاره برای نگه داشتن افزاره تحت آزمون، افزاره مرجع، مجموعه نور بایاس دلخواه و تجهیزات اندازه‌گیری الکتریکی است.

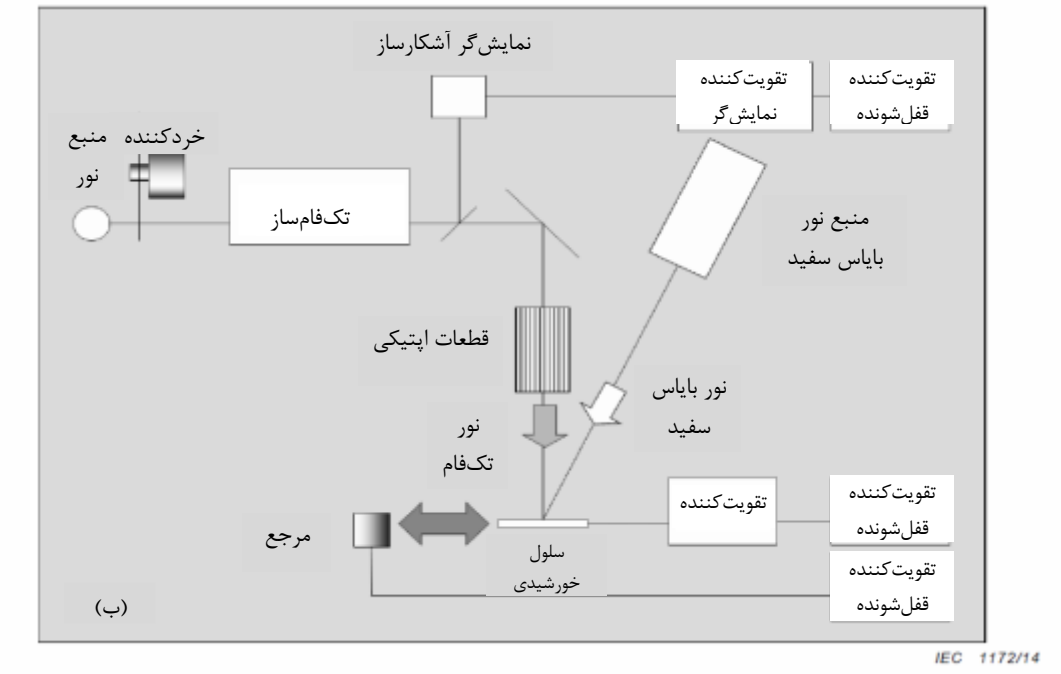
شکل‌های (۱-الف و ۱-ب) و (۲-الف و ۲-ب) مثال‌هایی از چیدمان‌های آزمون برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی سلول خورشیدی را نشان می‌دهد.

در صورت استفاده از خرد کننده[1] اپتیکی (شکل‌های ۱ و ۲) باید مراقب بود که هیچ نور بایاس بازتاب شده‌ای از خرد کننده اپتیکی به صفحه آزمون نرسد.

1- Chopper



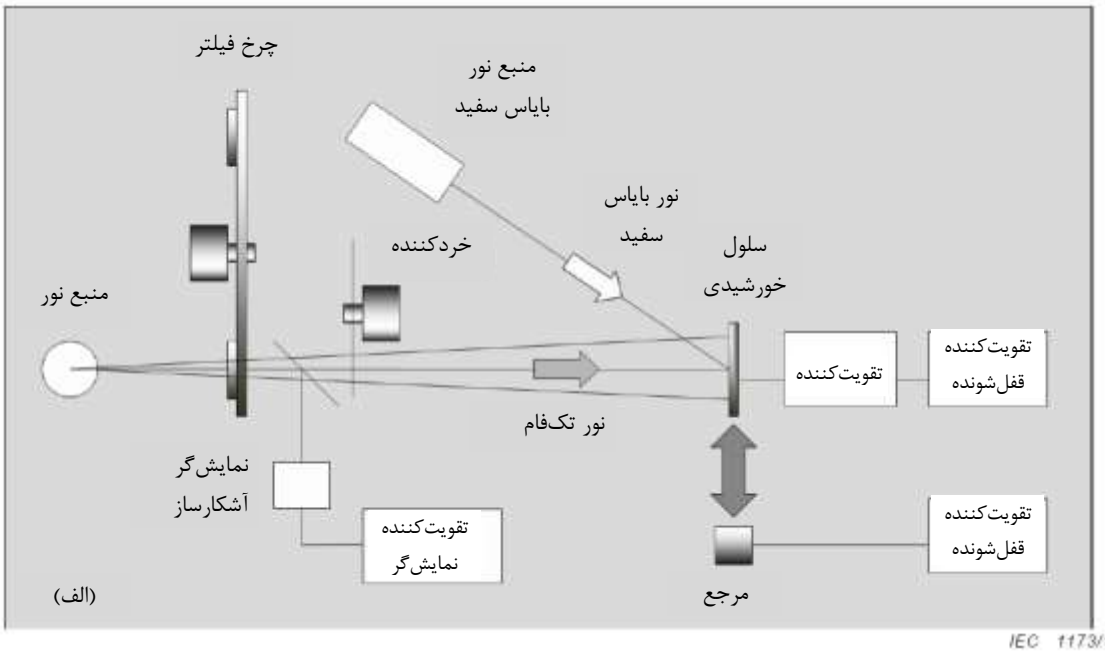
شکل ۱-الف- تک‌فام‌ساز پیش از خردکننده



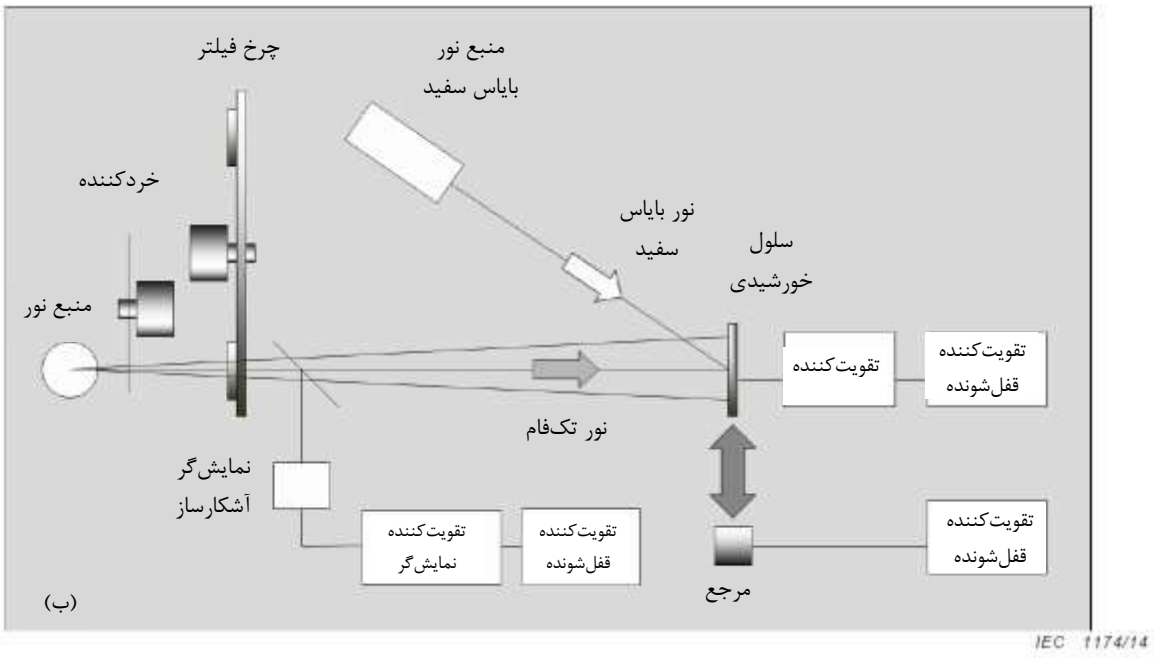
شکل ۱-ب- خردکننده پیش از تک‌فام‌ساز

شکل ۱- مثالی از نمودار بلوکی تجهیزات اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی با استفاده از منبع نور پیوسته و تک‌فام‌ساز توری پراش[1]

1- Grating monochromator



شکل ۲-الف- فیلتر پیش از خردکننده



شکل ۲-ب- خردکننده پیش از فیلتر

شکل ۲- مثالی از نمودار بلوکی تجهیزات اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی با استفاده از منبع نور پیوسته و فیلترهای میان‌گذر

۶-۲ منبع نور تک‌فام

نور تک‌فام معمولا توسط منبع نور و تک‌فام ساز (برای مثال توری پراش) یا چرخ فیلتر[1] با فیلترهای میان‌گذر تولید می‌شود. برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی در بازه بین ۳۰۰ nm و ۱ ۲۰۰ nm، پهنای باند (پهنای کامل در نصف بیشینه، FWHM[2]) نور تک‌فام بهتر است از ۲۰ nm فراتر نرود. در بازه‌های تا و خود ۳ ۰۰۰ nm، پهنای باند بهتر است از ۵۰ nm فراتر نرود.

پهنای باند نور تک‌فام بهتر است مطابق ساختار ریز تغییرات در پاسخ طیفی افزاره تحت آزمون، انتخاب شود. به طور نوعی، پهنای باند (FWHM) ۱۰ nm تا ۱۵ nm برای سلول‌های سیلیکون کریستالی یا سلول‌های خورشیدی لایه نازک انتخاب می‌شود.

نوسان نور موقتی ناشی از لامپ استفاده شده برای تولید نور تک‌فام و منبع تغذیه آن باید کمتر از ٪ ۲ باشد. بهتر است یکنواختی فضایی نور تک‌فام در صفحه آزمون که مطابق با استاندارد IEC 60904-9 تعیین شده است از ٪ ۲ ± بهتر باشد. غیریکنواختی فضایی به ویژه مربوط است به اینکه افزاره مرجع و افزاره تحت آزمون از سطح یا شکل خود منحرف شوند. این موضوع باید در محاسبه عدم قطعیت در نظر گرفته شود. مرجع و افزاره تحت آزمون معمولا به طور متوالی در همان موقعیت با منبع نور پایدار اندازه‌گیری می‌شوند و فقط اگر دو اندازه مختلف باشد غیریکنواختی وجود دارد. برای نوردهی یکنواخت سطح بزرگ، مرجع و افزاره تحت آزمون ممکن است در کنار هم قرار گرفته و هم‌زمان اندازه‌گیری شوند بنابراین اثر نوسانات موقتی منبع نور از بین می‌رود. در عوض، چیدمان تقسیم پرتو می‌تواند صفحات آزمون نوردهی شده یکنواختی برای افزاره‌های آزمون و مرجع فراهم کند.

یادآوری- این همانند تعریف شبیه‌ساز کلاس A در استاندارد IEC 60904-9 است.

۶-۳ نگهدارنده افزاره فتوولتائیک و کنترل دما

نگهدارنده افزاره فتوولتائیک بهتر است قابلیت ایجاد اتصالات الکتریکی به افزاره تحت آزمون با هدایت الکتریکی خوب و کنترل دمای افزاره تحت آزمون و افزاره مرجع را فراهم کند. دمای افزاره مرجع و افزاره تحت آزمون باید با درستی ۱± °C و تکرارپذیری ۰٫۵± °C اندازه‌گیری یا کنترل شود. یکنواختی دمای افزاره مرجع و افزاره تحت آزمون بهتر است در محدوده ۲± °C باشد. اگر دمای افزاره مرجع بیش از ۲ °C از دمایی که در آن کالیبره شده است اختلاف داشته باشد، مقدار کالیبراسیون باید به دمای اندازه‌گیری‌شده تنظیم شود.

یادآوری- اختلاف دمای بین کالیبراسیون و استفاده افزاره مرجع برای اندازه گیری معمولا بیشترین تاثیر خود را نزدیک لبه باند افزاره مرجع خواهد داشت.

1- Filter wheel
2- Full Width at Half Maximum

۶-۴ اتصالات افزاره فتوولتائیک

بهتر است از اتصال چهار نقطه (اتصالات کلوین، برای مثال اتصالات مجزا برای جریان و ولتاژ) به افزاره تحت آزمون به منظور اندازه‌گیری ولتاژ سلول در حین اندازه‌گیری پاسخ طیفی استفاده شود. اتصالات باید طوری طراحی شود که مانع کنترل دمای افزاره تحت آزمون نشوند، به خصوص در حالتی که تمام اتصالات سلول‌ها بر روی وجه پشتی[1] است.

یادآوری- اگر افزاره تحت آزمون دارای مقاومت شنت کم باشند، اندازه‌گیری درست ولتاژ سلول، اهمیت ویژه‌ای دارد.

۶-۵ نور بایاس

برای اغلب افزاره‌های فتوولتائیک، کافی است از لامپ‌های تنگستن یا آرایه‌های لامپ برای تولید نور بایاس با تابش ثابت استفاده شود. بایاس نور بهتر است تمام سطح افزاره تحت آزمون را نوردهی کند. غیریکنواختی فضایی (همانطور که در استاندارد IEC 60904-9 تعریف شده است) نور بایاس اعمال شده در صفحه آزمون، بهتر است متناظر با کلاس C، کمتر از ٪ ۱۰ باشد. یک رویکرد روبش امکان‌پذیر، در بند ۵ شرح داده شده است.

۶-۶ اندازه‌گیری‌های DC

الف- ولتاژها و جریان‌ها باید به ترتیب با درستی ٪ ۰٫۲± ولتاژ مدار باز یا جریان اتصال کوتاه اندازه‌گیری شوند. ولتاژها و جریان‌ها باید با استفاده از سرسیم‌های مستقل از پایانه‌های آزمونه (چهار (۴) سرسیم)، که تا حد امکان کوتاه شده‌اند، اندازه‌گیری شوند. اگر افزاره تحت آزمون، سلول ساده باشد، بهتر است اتصال ۴ سیم از شینه‌ها شروع شود.

روش اتصال برای سلول‌ها بهتر است با دقت ارزیابی شود، زیرا ممکن است شرایط اتصال کوتاه سلول به علت تلفات مقاومتی تغییر کند. به خاطر این اثر، ممکن است تفاوت‌هایی در پاسخ طیفی رخ دهد.

ب- جریان‌های اتصال کوتاه در نور بایاس بهتر است در ولتاژ صفر اندازه‌گیری شوند. به طور معمول می‌توان از مبدل‌های جریان به ولتاژ (تقویت‌کننده امپدانس انتقالی[2]) استفاده کرد. در عوض، مقاومت شنت خارجی می‌تواند همراه با یک منبع ولتاژ بایاس متغیر استفاده شود تا افت ولتاژ دو سر آن را خنثی کند. اگر افت ولتاژ دو سر افزاره تحت آزمون کمتر از ٪ ۳ مقدار V_{OC} آن باشد بایاس ولتاژ متغیر می‌تواند حذف شود.

یادآوری- برای سلول خورشیدی سیلیکون کریستالی، این معمولا متناظر با ولتاژ بایاس کمتر از ۲۰ mV است.

1- Back side
2- Transimpedance amplifier

۶-۷ اندازه‌گیری‌های AC در حضور نور بایاس

اگر پاسخ طیفی علاوه بر نور بایاس، با استفاده از نور تک‌فام خردشده اندازه‌گیری شود، جریان جایگزین تولید شده تک‌فام، با استفاده از تقویت‌کننده قفل‌شونده یا تجهیزات معادل باید از جریان حالت ثابت تولید شده توسط نور بایاس جدا شود. همان‌طور که در بالا گفته شد، بهتر است یک مبدل IV یا مقاومت شنت خارجی انتخاب شود، طوری که ولتاژ دو سر افزاره آزمون کمتر از ٪ ۳ ولتاژ مدار باز باشد. باید مراقب بود تا اطمینان حاصل شود که افزاره اندازه‌گیری یا تقویت‌کننده، با جریان DC ایجاد شده توسط نور بایاس، اشباع نشود. بسامد خرد کردن نور باید در گزارش آزمون گنجانده شود.

بهتر است بسامد خرد کننده‌ای انتخاب شود که زمان چرخه، طولانی‌تر از ثابت زمانی افزاره تحت آزمون باشد. علاوه بر این، بسامد خرد کننده بهتر است طوری انتخاب شود که با بسامد برق و یا هارمونیک‌های آن منطبق نشود.

ولتاژ دو سر سلول را به مقدار دلخواه (یا صفر ولت برای شرایط اتصال کوتاه یا ولتاژ دلخواه) تنظیم کنید.

۶-۸ افزاره مرجع

تابندگی یا توان نور تک‌فام می‌تواند توسط افزاره مرجع از قبیل رادیومترهای گرمایی، فتودیودهای کالیبره شده و افزاره‌های فتوولتائیک اندازه‌گیری شود. فتودیودهای سیلیکونی را می‌توان برای بازه طول‌موج ۳۰۰ nm تا ۱ ۱۰۰ nm استفاده کرد. فتودیودهای Ge، فتودیودهای InGaAs یا سایر افزاره‌ها با شکاف باند کمتر و آشکارسازهای گرمایی می‌توانند در بازه طول‌موج طولانی‌تر استفاده شوند. افزاره‌های تحت آزمون که دارای پاسخ طیفی در بازه طول‌موج گسترده‌ای هستند، ممکن است از دو یا چندین افزاره مرجع مختلف برای پوشش این بازه گسترده استفاده نمایند.

یادآوری- به طور کلی آشکارسازهای گرمایی ممکن است مناسب نباشند، چرا که دارای ثابت‌های زمانی طولانی‌تر از زمان چرخه نور خردشده هستند.

در مواردی که برای بسط بازه طول‌موج سامانه اندازه‌گیری، بیش از یک افزاره مرجع مورد استفاده قرار گیرد، باید مراقبت ویژه‌ای برای جلوگیری از تاثیر عوامل مصنوعی[1] در توان در ناحیه طول‌موج هم‌پوشانی افزاره‌های مرجع اتخاذ گردد.

۷ اندازه‌گیری پاسخ طیفی با استفاده از منبع نور ثابت

۷-۱ روش کلی با توری پراش تک‌فام ساز یا چرخ فیلتر

اگر منبع نور به طور موقت پایدار باشد، در مرحله اول، افزاره مرجع در تمام طول‌موج‌های مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود. در مرحله دوم، افزاره مرجع با افزاره فتوولتائیک تحت آزمون جایگزین می‌شود.

1- Artefacts

اگر توزیع فضایی نور، یکنواخت باشد افزاره مرجع و افزاره فتوولتائیک را می‌توان کنار هم قرار داد و به طور هم‌زمان اندازه‌گیری کرد. سایر مقررات زیربند ۷-۲ و زیربند ۷-۳ همچنان در این حالت اعمال می‌شود.

یادآوری- همانند چیدمان تقسیم پرتو که دو سطح نوردهی یکنواخت را ایجاد می‌کند (به زیربند ۶-۲ مراجعه شود).

۷-۲ اندازه‌گیری افزاره مرجع برای چیدمان کالیبراسیون

۷-۲-۱ افزاره مرجع را در سامانه اندازه‌گیری پاسخ طیفی نصب کنید. آن را به دستگاه اندازه‌گیری وصل نمایید. ولتاژ بایاس آن را به شرایط مورد استفاده در کالیبراسیون آن تنظیم کنید.

۷-۲-۲ دمای افزاره مرجع را در ۲۵ °C یا دمای ذکر شده در گواهی کالیبراسیون آن تنظیم کنید و در بازه دمای توصیه شده برای افزاره مرجع نگهداری کنید.

۷-۲-۳ پرتو نور تک‌فام را به اندازه مناسب برای اندازه‌گیری هر دو افزاره مرجع و افزاره تحت آزمون تنظیم کنید.

نوردهی موثر کل سطح افزاره مهم است، زیرا نوری که به طور مستقیم بر روی سطح فعال نمی‌تابد نیز ممکن است در سیگنال اندازه‌گیری شده تاثیر بگذارد. اگر پاسخ طیفی برای محاسبه تصحیح عدم هماهنگی طیفی طبق استاندارد IEC 60904-7 مورد استفاده قرار گیرد، بهتر است سطح نوردهی شده در حین اندازه‌گیری پاسخ طیفی با سطح نوردهی شده در حین اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ یکسان باشد. معمولا این سطح، شامل کل سطح افزاره است. در غیر این‌صورت، بهتر است توسط روزنه‌ای به طور مناسب تعیین شود.

در صورتی که سطح افزاره از اندازه پرتوهای مربوط بزرگ‌تر باشد، بهتر است سراسر سطح افزاره به طور مناسب روبش شود تا نوردهی یکنواخت باشد. اگر سطح توسط هر دو پرتو روبش شود، روبش همزمان با نور بایاس بهتر است همیشه ناحیه‌ای بزرگتر از نور تک‌فام را نوردهی کند.

اگر افزاره تحت آزمون در مقایسه با افزاره مرجع دارای اندازه متفاوتی باشد، باید بسیار مراقب بود. در این حالت، بهتر است مساحت افزاره بزرگ‌تر، (به ویژه اگر تابش پرتو نور یکنواخت نباشد) با اندازه‌گیری سطح افزاره کوچک‌تر در چند موقعیت نگاشته شود. غیریکنواختی فضایی نور تک‌فام باید به صراحت در تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری نهایی مورد توجه قرار گیرد.

۷-۲-۴ نور بایاس القایی جریان DC، $I_{ref,DC}$، افزاره مرجع باید دارای همان مقدار در حین کالیبراسیون خود (معمولا نور بایاس کم برای سلول‌های خورشیدی مرجع و نور بدون بایاس برای فتودیودهای مرجع) باشد.

۷-۲-۵ خروجی $I_{ref}(\lambda, I_{ref,DC})$ افزاره مرجع را به عنوان تابعی از طول‌موج تحت نوردهی تک‌فام اندازه‌گیری کنید. برای محاسبه تابش نور تک‌فام، پاسخ طیفی تفاضلی افزاره مرجع در سطح جریان بایاس $I_{ref,DC}$، همان‌طور که در زیربند ۷-۲-۴ تنظیم شده است، باید استفاده شود.

در صورت اندازه‌گیری هم‌زمان تحت یک پرتو نور یکنواخت، اندازه‌گیری مرجع همراه با افزاره تحت آزمون در زیربند ۷-۳-۳ خواهد بود. توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌ها را با موقعیت‌های افزاره مرجع و تحت آزمون معکوس تکرار کنید و به طور مناسب میانگین نتایج را بگیرید. در هر صورت غیریکنواختی فضایی نور تک‌فام باید به صراحت در تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری نهایی مورد توجه قرار گیرد.

۷-۳ اندازه‌گیری افزاره تحت آزمون

۷-۳-۱ افزاره تحت آزمون را در سامانه اندازه‌گیری پاسخ طیفی نصب کنید. آن را به دستگاه اندازه‌گیری متصل کنید. ولتاژ بایاس دو سر افزاره تحت آزمون را طوری تنظیم کنید که متناظر با شرایط اتصال کوتاه یا ولتاژ خاص مورد نیاز آن باشد.

۷-۳-۲ دمای افزاره را در ۲۵ °C یا دمای مورد نیاز تنظیم کنید و در بازه ۱± °C نگه دارید.

چنانچه این کار برای ساختار سلول معکوس یا افزاره با سطح بزرگ امکان پذیر نباشد، انحراف از دما بهتر است در گزارش آزمون نوشته شود.

۷-۳-۳ خروجی وابسته به طول‌موج کامل، $I(\lambda, I_{\mathrm{bias}}(\mathrm{E}))$، را دست کم تحت پنج تابش مختلف نور بایاس، E، اندازه‌گیری کنید که این تابش‌ها موجب ایجاد جریان‌های اتصال کوتاه در بازه ٪ ۵ تا ٪ ۱۱۰ جریان اتصال کوتاه افزاره تحت شرایط آزمون استاندارد در نور بایاس می‌شود. معمولا $I(\lambda, I_{\mathrm{bias}}(E))$ با تقویت‌کننده قفل‌شونده و $I_{\mathrm{bias}}(E)$ با مولتی‌متر در حالت DC اندازه‌گیری می‌شود.

در صورت استفاده از رویکرد روبش شرح داده شده در بند ۵ ، جریان اتصال کوتاه باید در طول مسیر روبش میانگین گرفته شود.

۷-۳-۴ اگر نمایش‌گر آشکارساز استفاده شود اصلاحات مناسب برای نوسانات تابش نور باید اعمال شود. اگر هیچ نمایش‌گر آشکارسازی استفاده نشود، پایداری نور را برای تمام طول‌موج‌ها در طول زمان هر دو اندازه‌گیری افزاره مرجع و افزاره تحت آزمون تایید کنید و تغییر آن را در تجزیه و تحلیل عدم قطعیت قرار دهید.

۷-۴ محاسبه پاسخ طیفی

۷-۴-۱ پاسخ طیفی تفاضلی $\tilde{s}(\lambda, I_{\mathrm{bias}}(E))$ را برای هر طول‌موج و هر تنظیم نور بایاس تعیین کنید:

$$\tilde{s}(\lambda, I_{\mathrm{bias}}(E)) = \frac{I(\lambda, I_{\mathrm{bias}}(E))}{I_{\mathrm{ref}}(\lambda, I_{\mathrm{ref,\,DC}})} \cdot \tilde{s}_{\mathrm{ref}}(\lambda, I_{\mathrm{ref,\,DC}}) \qquad (۳)$$

که در آن $\tilde{s}_{\mathrm{ref}}(\lambda, I_{\mathrm{ref,\,DC}})$ پاسخ طیفی تفاضلی داده شده افزاره مرجع است.

۷-۴-۲ پاسخ تفاضلی $\tilde{s}(I_{\mathrm{bias}})$ برای هر تنظیم نور بایاس را با انتگرال‌گیری روی تمام طول‌موج‌ها تعیین کنید:

$$\tilde{s}(I_{\text{bias}}) = \frac{\int_0^\infty \tilde{s}(\lambda, I_{\text{bias}}(E)) \cdot E_{\text{AM1.5G}}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty E_{\text{AM1.5G}}(\lambda) d\lambda} \quad (۴)$$

که در آن $E_{\text{AM1.5G}}(\lambda)$، توزیع تابش طیفی مرجع تعریف شده در استاندارد IEC 60904-3 است.

یادآوری- تابش E_{bias} در حین اندازه گیری معلوم نیست، اما پس از آن، تابش موثر AM1.5G می‌تواند از $E_{\text{bias}} = \int_0^{I_{\text{bias}}} \frac{1}{\tilde{s}(I)} dI$ محاسبه شود.

۷-۴-۳ پاسخ $s(I_{\text{STC}})$ افزاره را تحت شرایط آزمون استاندارد به صورت زیر محاسبه کنید:

$$s(I_{\text{STC}}) = \frac{I_{\text{STC}}}{\int_0^{I_{\text{STC}}} \frac{1}{\tilde{s}(I_{\text{bias}})} dI_{\text{bias}}} \quad (۵)$$

که در آن I_{STC} با ارزیابی تکراری انتگرال در مخرج تا زمانیکه برابر با $1\,000\ \text{W.m}^{-2}$ شود تعیین می‌شود.

از پاسخ تفاضلی در پایین‌ترین سطح بایاس برای برون‌یابی به $I_{\text{bias}} = 0$ استفاده کنید. پایین‌ترین سطح بایاس بهتر است حدود $50\ \text{W/m}^2$ باشد.

۷-۴-۴ سپس پاسخ طیفی $s(\lambda, I_{\text{STC}})$ افزاره تحت شرایط آزمون استاندارد را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$s(\lambda, I_{\text{STC}}) = \frac{I_{\text{STC}}}{\int_0^{I_{\text{STC}}} \frac{1}{\tilde{s}(\lambda, I_{\text{bias}})} dI_{\text{bias}}} \quad (۶)$$

این پاسخ طیفی می‌تواند برای محاسبه عامل عدم هماهنگی طیفی استفاده شود.

۷-۴-۵ در صورت نیاز، پاسخ طیفی ممکن است به صورت تابعی از طول‌موج توسط روش‌های مناسب (مانند خطی یا اسپلاین) درون‌یابی شود. تخمینی از عدم قطعیت باید برای روش اجرایی ارائه شود.

۷-۵ ساده‌سازی‌ها

۷-۵-۱ اگر اندازه‌گیری‌های توصیف شده در زیربند ۷-۳ نتواند در همه تابش‌های نور بایاس و در تمام طول‌موج‌ها انجام شود، تابش نور بایاس E_0 را که در آن پاسخ طیفی تفاضلی با پاسخ طیفی افزاره تحت آزمون برابر است با استفاده از روش زیر تعیین کنید. پاسخ طیفی تفاضلی $\tilde{s}(\lambda, I_{\text{bias}}(E))$ با پهنای گام ۲۰۰ nm (برای مثال برای سیلیکون کریستالی در ۳ تا ۵ طول‌موج مختلف λ_i) یا دست‌کم در یک طول‌موج λ_1 نزدیک به حداکثر پاسخ طیفی را در ۳ تا ۵ تابش نور بایاس مختلف E اندازه‌گیری کنید. تابش‌های نور بایاس باید منجر به جریان‌های بایاس I_{bias} در بازه تقریبا ٪ ۵ تا ٪ ۱۱۰ $I_{\text{STC,approx}}$ تقریبی افزاره تحت آزمون شود. پاسخ و سطح نور بایاس E_0 که در آن پاسخ تفاضلی اندازه‌گیری شده $\tilde{s}(I_{\text{bias}}(E))$ برابر با پاسخ

طیفی محاسبه‌شده $s(I_{\mathrm{STC,approx}})$ مطابق با فرمول زیربند ۷-۴ است را محاسبه کنید. پاسخ طیفی تفاضلی را در این تابش نور بایاس اندازه‌گیری کنید.

یادآوری- $I_{\mathrm{STC,approx}}$ می‌تواند با شبیه‌ساز خورشیدی بدون تصحیح عدم هماهنگی طیفی اندازه‌گیری شود.

۷-۵-۲ اگر اندازه‌گیری‌های شرح داده شده در زیربند ۷-۵-۱ را نتوان انجام داد، در این‌صورت تابش نور بایاس E_0 که در آن پاسخ طیفی تفاضلی برابر با پاسخ طیفی افزاره تحت آزمون همراه با نور سفید به جای نور تک‌فام است را با استفاده از روش اجرایی زیر تعیین کنید. پاسخ نور سفید تفاضلی $\tilde{s}(I_{\mathrm{bias}}(E))$ را در ۳ تا ۵ تابش نور بایاس مختلف E اندازه‌گیری کنید. این تابش‌های نور بایاس باید منجر به جریان‌های بایاس I_{bias} شود که در بازه تقریبا ٪ ۵ تا ٪ ۱۱۰ مقدار $I_{\mathrm{STC,approx}}$ تقریبی افزاره تحت آزمون است. پاسخ را مطابق زیر محاسبه کنید:

$$s(I_{\mathrm{STC,approx}}) = \frac{I_{\mathrm{STC,approx}}}{\int_0^{I_{\mathrm{STC,approx}}} \frac{1}{\tilde{s}(I_{\mathrm{bias}})} dI_{\mathrm{bias}}} \qquad (۷)$$

سطح نور بایاس E_0 که در آن پاسخ نور سفید تفاضلی اندازه‌گیری شده $\tilde{s}(I_{\mathrm{bias}})$ برابر با پاسخ نور سفید $s(I_{\mathrm{STC,approx}})$ است را شناسایی کنید. اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی را در این تابش نور بایاس انجام دهید.

برای پاسخ نور سفید توصیه می‌شود از نور سفید با هماهنگی طیفی دست‌کم کلاس B (همان‌طور که در استاندارد IEC 60904-9 تعریف شده است) نسبت به توزیع تابش خورشیدی طیف مرجع که در استاندارد IEC 60904-3 تعریف شده است، استفاده شود.

۷-۵-۳ اگر نتوان از روش‌هایی که در بالا توضیح داده شد استفاده کرد، در این‌صورت از سطح نور بایاسی که تقریبا $I_{\mathrm{STC,approx}}$ ٪ ۳۰ تا $I_{\mathrm{STC,approx}}$ ٪ ۴۰ جریان اتصال کوتاه تولید می‌کند، استفاده کنید. پاسخ طیفی تفاضلی اندازه‌گیری شده برابر پاسخ طیفی در شرایط آزمون استاندارد فرض می‌شود.

۷-۵-۴ در صورت عدم امکان، از نور بایاسی استفاده کنید که حداقل ٪ ۱۰ مقدار I_{SC} را ایجاد کند و اگر تابش نور بایاس، (الف) به ٪ ۵۰ کاهش یابد و (ب) ٪ ۵۰ افزایش یابد، جریان تولید شده تک‌فام در افزاره تحت آزمون به صورت تابعی از طول‌موج، بیش از ٪ ۲ تغییر نکند. در صورت تغییر بیشتر، بهتر است دو اندازه‌گیری دیگر در گزارش گنجانده شود.

۸ اندازه‌گیری پاسخ طیفی تحت نور پالسی

۸-۱ دستگاه تکمیلی

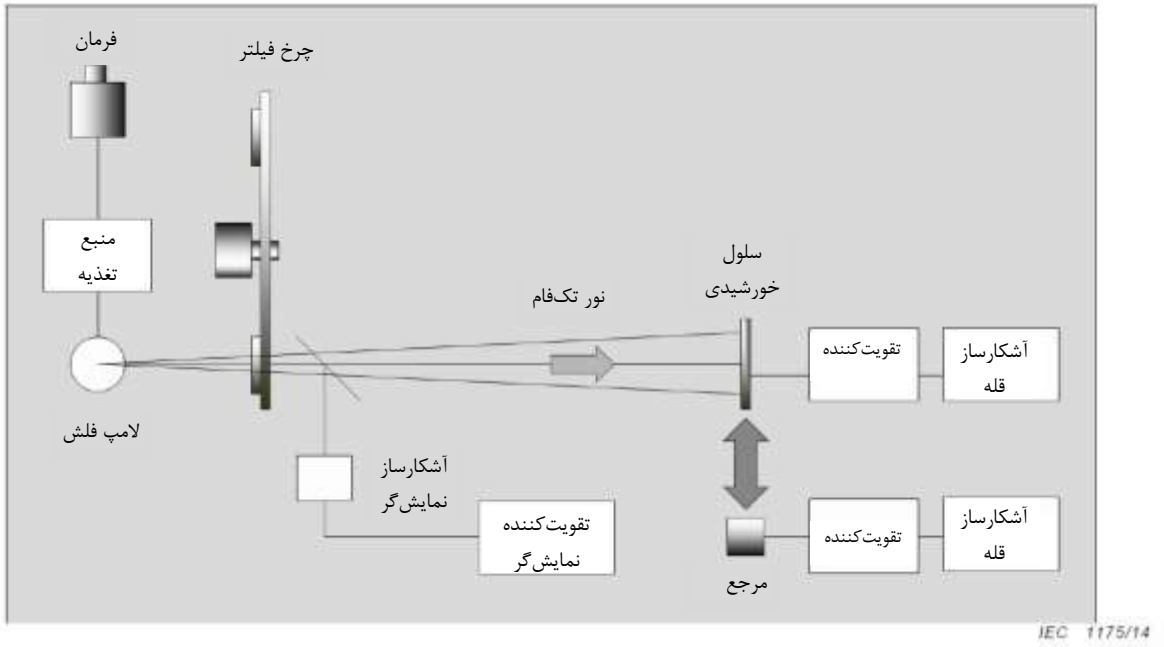
الف- منبع نور پالسی، مانند لامپ فلش زنون ترکیبی با فیلترهای تداخلی[1].

ب- برای نصب تجربی، که خواندن افزاره تحت آزمون و افزاره مرجع به صورت هم‌زمان انجام می‌شود، نمایش‌گر نیاز نیست.

پ- جمع‌آوری داده سریع برای اندازه‌گیری شکل پالس کامل سیگنال‌های خروجی از افزاره مرجع، افزاره مورد آزمون و نمایش‌گر (در صورت لزوم) برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی نیاز به استفاده از نور تک فام پالسی دارد.

۸-۲ روش آزمون

مثالی از چیدمان آزمون برای سامانه اندازه‌گیری پاسخ طیف خورشیدی پالسی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمودار بلوکی نمونه‌ای از ابزار اندازه‌گیری پاسخ طیفی با استفاده از منبع نور پالسی و فیلترهای میان‌گذر

1- Interference

صرف‌نظر از تغییر منبع نور و سامانه جمع‌آوری داده‌ها، روش اندازه‌گیری در زیربند ۷-۲ و زیربند ۷-۳ ارائه شده است، به استثنای این که در این روش نیازی به نور بایاس تکمیلی نیست.

روش نور پالسی نمی‌تواند در مورد افزاره‌های تحت آزمونی که دارای زمان پاسخ‌دهی آهسته‌تر از طول پالس در شرایط عملیاتی داده شده می‌باشد، استفاده شود. بنابراین باید تایید شود که نسبت جریان‌های اتصال کوتاه افزاره تحت آزمون و مرجع در طول تغییر تابش پالس نور تک‌فام، ثابت است. در غیر این‌صورت، ممکن است یکی از دو افزاره برای اندازه‌گیری‌های پالسی مناسب نباشد.

۹ اندازه‌گیری مدول‌های اتصال سری

۹-۱ کلیات

هنگامی که پاسخ طیفی یک جزء سلول در یک مدول فتوولتائیک اتصال سری اندازه‌گیری می‌شود، روش زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سلول در مدول مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد و پس از آن به عنوان سلول هدف ارجاع داده می‌شود.

۹-۲ دستگاه تکمیلی

منبع نور بایاس تکمیلی، که کل سطح مدول، یا یکی از رشته‌های مدول که توسط دیود میان‌گذر تقسیم می‌شود، را نوردهی کند.

۹-۳ روش آزمون

۹-۳-۱ مدول را در سامانه اندازه‌گیری پاسخ طیفی نصب کنید. آن را به ابزار اندازه‌گیری متصل کنید.

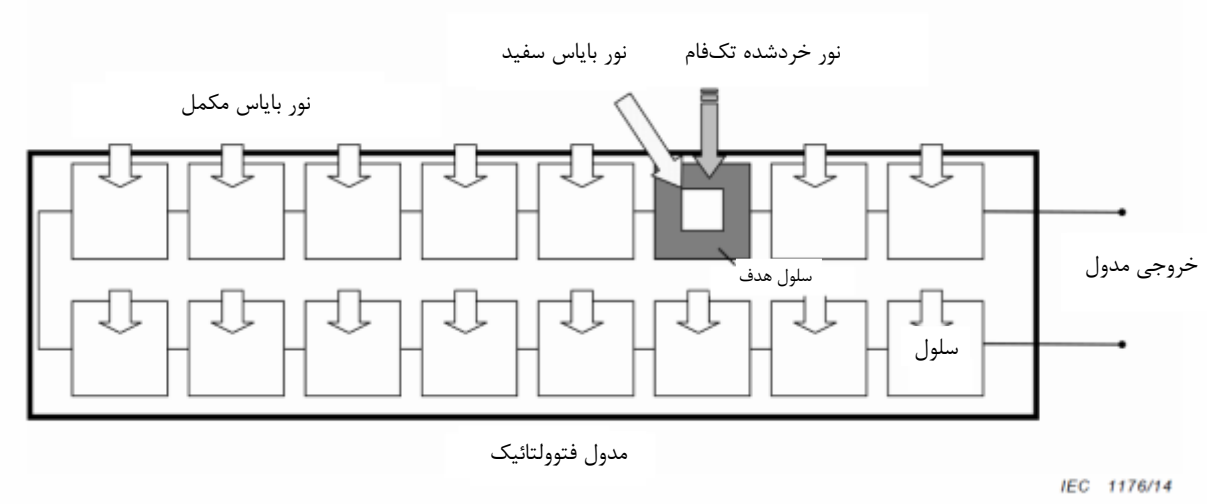
۹-۳-۲ در حین اندازه‌گیری‌ها، سلول هدف باید در ۲۵ °C (یا دمای دیگر) با درستی ۱ °C ± و تکرارپذیری ۰٫۵ °C ± نگه داشته شود. سایر قسمت‌های مدول باید در تعادل گرمایی با درستی ۱ °C ± و تکرارپذیری ۰٫۵ °C ± نگه داشته شود.

۹-۳-۳ نور بایاس مکمل را روی تمام سلول‌های مدول اعمال کنید و از منحنی I-V، مقدار $I_1(V)$ مدول را اندازه‌گیری کنید. سپس سلول هدف را از نور بایاس مکمل سایه کنید و نور بایاس سفید را به آن اعمال کنید. تابش نور بایاس سفید و نور بایاس مکمل باید طوری انتخاب شود که جریان خروجی مدول توسط جریان فوتونی سلول هدف محدود شود (شکل ۴)، یعنی نور بایاس سفید به علاوه نور تک‌فام، جریان فوتونی کمتری در سلول هدف نسبت به بدترین سلول در مابقی رشته‌ها یا مدول برای نور بایاس اعمال شده، تولید می‌کند. اگر مدار مدول به وسیله دیودهای میان‌گذر به چند رشته تقسیم شود، به جای استفاده از نور بایاس مکمل (شکل ۵)، سلول‌های داخل رشته(ها) و بدون سلول هدف سایه انداخته می‌شوند. از منحنی I-V، مقدار $I_2(V)$ مدول (شکل ۶) را اندازه‌گیری کنید. ناحیه ولتاژ پایین که در شکل ۶ با خط‌چین نشان داده

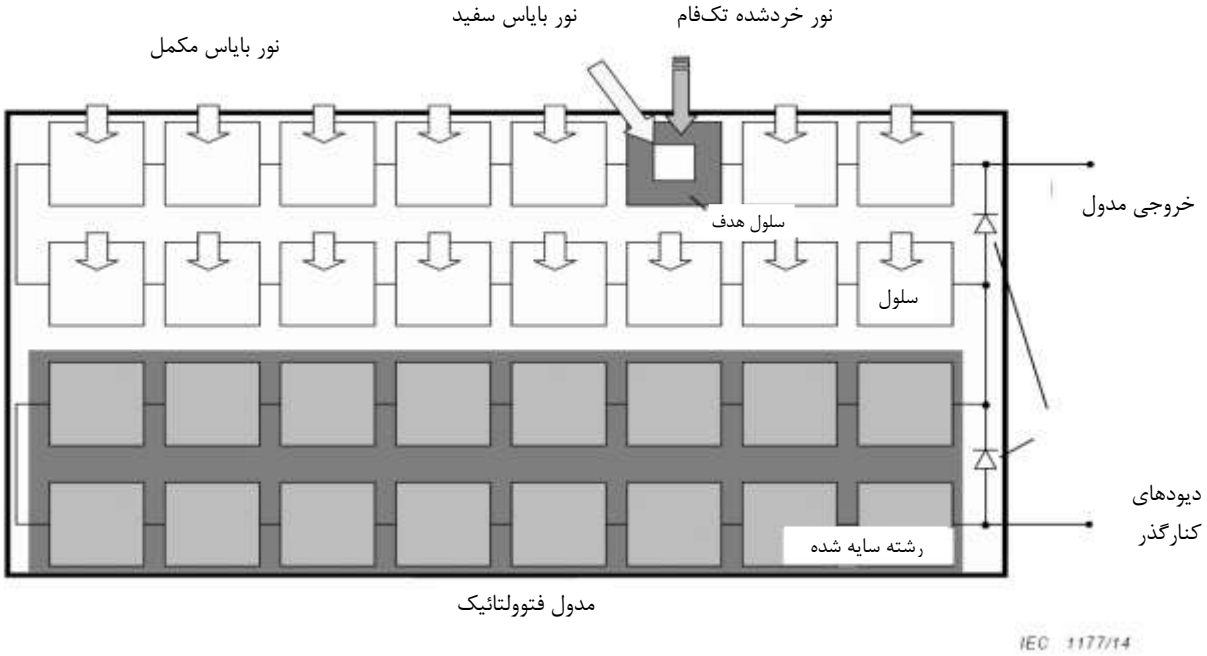
شده است لازم نیست اندازه‌گیری شود، زیرا فقط $I_2(V)$ اطراف نقطه B در شکل لازم است از روش اجرایی زیر پیروی کند.

به عنوان راهنما برای تنظیم سلول هدف برای محدود کردن جریان خروجی کل مدول، توصیه می‌شود که تابش متوسط سلول هدف، کوچک‌تر از سایر سلول‌ها و حداقل ۵۰ $W{\cdot}m^{-2}$ باشد. برای مثال، اگر نور بایاس ۵۰ $W{\cdot}m^{-2}$ بر روی کل سطح سلول هدف اعمال شود، تابش متوسط نور بایاس مکمل بیشتر از ۱۰۰ $W{\cdot}m^{-2}$ توصیه می‌شود. اگر نور بایاس ۱ ۰۰۰ $W{\cdot}m^{-2}$ بر روی یک دهم سطح سلول هدف اعمال شود، تابش متوسط نور بایاس ۱۰۰ $W{\cdot}m^{-2}$ است. در این حالت، تابش متوسط نور بایاس مکمل بزرگ‌تر از ۱۵۰ $W{\cdot}m^{-2}$ توصیه می‌شود.

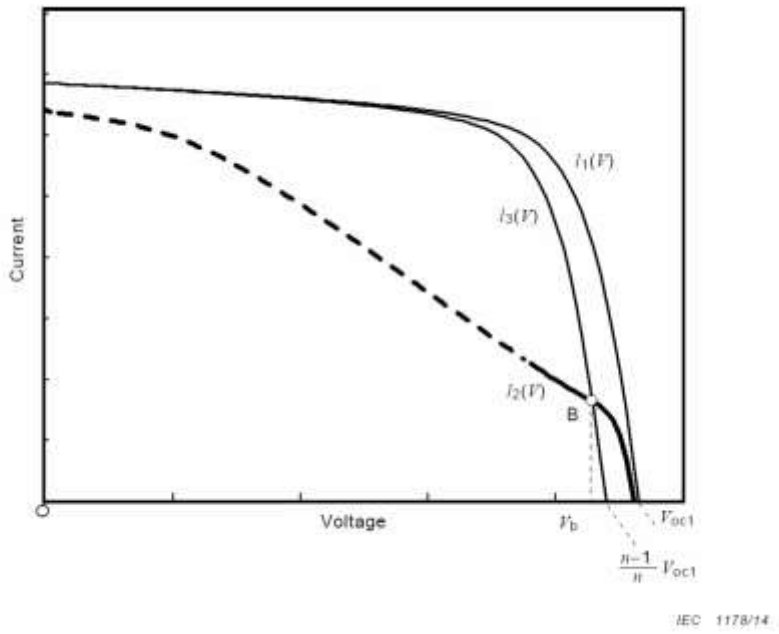
اندازه‌گیری ناحیه کم-ولتاژ $I_2(V)$، که در شکل ۵ با خطچین نشان داده شده است ، ولتاژ منفی بالا به سلول هدف اعمال می‌کند، زیرا جریان خروجی مدول توسط سلول هدف محدود می‌شود. هنگام اعمال ولتاژ منفی بالا باید مراقب باشید که عملکرد سلول هدف برخی از مواد ممکن است به طور دائمی آسیب ببینند.



شکل ۴- مثالی از چیدمان اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی سلول هدف در یک مدول فتوولتائیک، که در آن نور بایاس مکمل به تمام سلول‌ها در مدول به غیر از سلول هدف اعمال می‌شود



شکل ۵- مثالی از چیدمان اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری پاسخ طیفی تفاضلی سلول هدف در یک مدول فتوولتائیک، که در آن نور بایاس مکمل به تمام سلول‌ها در رشته مدول به غیر از سلول هدف اعمال می‌شود



شکل ۶- تعیین ولتاژ بایاس Vb برای تنظیم ولتاژ دو سر سلول هدف به شرایط اتصال کوتاه (به زیربند ۹-۳ مراجعه شود)

۹-۳-۴ به منظور تنظیم ولتاژ دو سر سلول هدف به شرایط اتصال کوتاه (ولتاژ بایاس صفر) ولتاژ بایاس V_b را اعمال کنید که به صورت زیر تعیین می‌شود. در ابتدا، از روی منحنی I-V کل، مقدار $I_3(V)$ سلول‌ها غیر از سلول هدف را تحت نور مکمل از حاصل‌ضرب $I_1(V)$ در $(n\text{-}1)/n$ برابر ولتاژ از طریق فرمول (۸) محاسبه کنید.

$$I_3(V) = I_1(\frac{n}{n-1}V) \qquad (۸)$$

که در آن، n تعداد سلول‌های جزئی مدول است که تحت نور بایاس مکمل هنگام اندازه‌گیری $I_1(V)$ می‌باشد. سپس V_b، به صورت مقدار ولتاژ تقاطع نمودار (B در شکل ۶) از $I_2(V)$ و $I_3(V)$ تعیین می‌شود. منحنی‌های I-V ممکن است به منظور پیدا کردن تقاطع درون‌یابی شوند. ولتاژ بایاس را به مدول اعمال کنید که بهتر است ولتاژ دو سر سلول هدف روی صفر تنظیم شود. توجه داشته باشید اعمال V_{oc1} ضرب در $(n\text{-}1)/n$ به مدول، باعث می‌شود که ولتاژ سلول هدف به آرامی بایاس مستقیم شود. اگر پاسخ طیفی افزاره به ولتاژ بایاس بستگی نداشته باشد این شرایط نیز قابل پذیرش است.

۹-۳-۵ جریان‌های افزاره تحت آزمون و پایش‌گر نور (در صورت لزوم) را به عنوان تابعی از طول‌موج اندازه‌گیری کنید.

۹-۴ محاسبه پاسخ طیفی

پاسخ طیفی را با توجه به بند ۷ تعیین کنید.

۱۰ گزارش

پس از اتمام روش اجرایی، گزارش تصدیق شده‌ای از اندازه‌گیری‌های پاسخ طیفی باید توسط کارگزار آزمون مطابق با روش‌های اجرایی استاندارد ISO/IEC 17025 تهیه شود. هر گواهی یا گزارش آزمون باید حداقل اطلاعات زیر را داشته باشد:

الف- عنوان؛

ب- نام و نشانی آزمایشگاه آزمون و محلی که کالیبراسیون یا آزمون انجام شده است؛

پ- شناسه‌گذاری منحصربه‌فرد هر صفحه گواهی‌نامه یا گزارش؛

ت- نام یا نشانی مشتری، در صورت لزوم؛

ث- شرح و شناسایی اقلام کالیبره‌شده یا آزمون‌شده؛

ج- تعیین مشخصات و شرایط اقلام کالیبراسیون یا آزمون،

چ- تاریخ دریافت اقلام آزمون و تاریخ(های) کالیبراسیون یا آزمون، در صورت لزوم؛

ح- شناسایی روش کالیبراسیون یا آزمون استفاده‌شده؛

خ- ارجاع به روش نمونه‌برداری، در صورت مربوط بودن؛

د- هر گونه انحراف، اضافه یا حذف کردن از روش کالیبراسیون یا آزمون و هر اطلاعات دیگری مربوط به کالیبراسیون یا آزمون خاص، مانند شرایط محیطی؛

ذ- نوع منبع نور تک‌فام و پهنای باند آن (FWHM)؛

ر- سطح نور بایاس و ولتاژ افزاره آزمون؛

ز- دمای افزاره آزمون و انحراف آن؛

س- دمای افزاره مرجع و انحراف آن از دمای کالیبراسیون؛

ش- سطوح نور تک‌فام یا جریان تولیدشده در افزاره تحت آزمون توسط نور تک‌فام؛

ص- مساحت افزاره تحت آزمون، در صورت مربوط بودن؛

ض- بسامد خرد کردن نور تک‌فام (در صورت کاربرد)؛

ط- اندازه‌گیری‌ها، بازبینی ها و نتایج استخراج شده پاسخ طیفی به صورت تابعی از طول‌موج؛

ظ- توضیح عدم قطعیت تخمین شده نتیجه کالیبراسیون یا آزمون (در صورت مربوط بودن)؛

ع- امضاء و عنوان، یا شناسه معادل شخص (اشخاص) مسئول محتوای گواهینامه یا گزارش، و تاریخ صدور؛

غ- در صورت مربوط بودن، توضیح اینکه نتایج فقط مربوط به اقلام کالیبره‌شده یا آزمون‌شده، است؛

ف- توضیح این که گواهینامه یا گزارش نباید به صورت ناقص و بدون تاییدیه کتبی آزمایشگاه تکثیر شود.