

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Photovoltaic devices –

Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices

Dispositifs photovoltaïques –

Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2015



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic devices –
Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices**

**Dispositifs photovoltaïques –
Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-2184-6

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references.....	5
3 Terms and definitions	5
4 Selection of reference device	7
4.1 General requirements	7
4.2 Additional requirements for single reference cell in a multi-cell package	8
4.3 Additional requirements for reference modules	8
4.4 Requirements for built-in shunt resistors	8
5 Temperature measurement	9
6 Electrical connections	9
7 Calibration.....	9
8 Report.....	10
9 Marking	11
10 Packaging	11
10.1 Recommended packaging for use in natural sunlight.....	11
10.2 Recommended packaging for use under solar simulators	11
10.3 Single cell package	11
11 Care of reference devices	12
12 Calibration of secondary reference devices against a primary reference cell	12
12.1 General.....	12
12.2 Natural sunlight.....	12
12.3 Simulated sunlight.....	13
12.4 Test procedure.....	13
13 Calibration of working reference device against a secondary reference device	14
Bibliography	15
Figure 1 – Single-cell package	6
Figure 2 – Single reference cell in a multi-cell package.....	8

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60904-2 has been prepared by IEC Technical Committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 2007. It constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- addition of a test procedure in simulated sunlight of subsequent measurement of primary and secondary reference device;
- definition of standard test conditions;
- reduction of allowed diffuse component for secondary reference cell calibration to 20 %.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
82/893/FDIS	82/918/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 60904 series, published under the general title *Photovoltaic devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2015

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices

1 Scope

This part of IEC 60904 gives requirements for the classification, selection, packaging, marking, calibration and care of photovoltaic reference devices.

This standard covers photovoltaic reference devices used to determine the electrical performance of photovoltaic cells, modules and arrays under natural and simulated sunlight. It does not cover photovoltaic reference devices for use under concentrated sunlight.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60891, *Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics*

IEC 60904-1, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics*

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

IEC 60904-4, *Photovoltaic devices – Part 4: Reference solar devices – Procedures for establishing calibration traceability*

IEC 60904-5, *Photovoltaic devices – Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method*

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

IEC 60904-8, *Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device*

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

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

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC TS 61836 and the following apply.

3.1

calibration traceability

traceability as defined in IEC 60904-4

Note 1 to entry: Photovoltaic reference devices are distinguished by their position in a chain of calibration traceability.

3.2

primary reference device

photovoltaic reference device whose calibration is based on a radiometer or standard detector or standard light source traceable to SI units as defined in IEC 60904-4

3.3

secondary reference device

photovoltaic reference device calibrated in natural or simulated sunlight against a primary reference device

3.4

working reference device

photovoltaic reference device calibrated in natural or simulated sunlight against a secondary reference device

3.5

reference devices

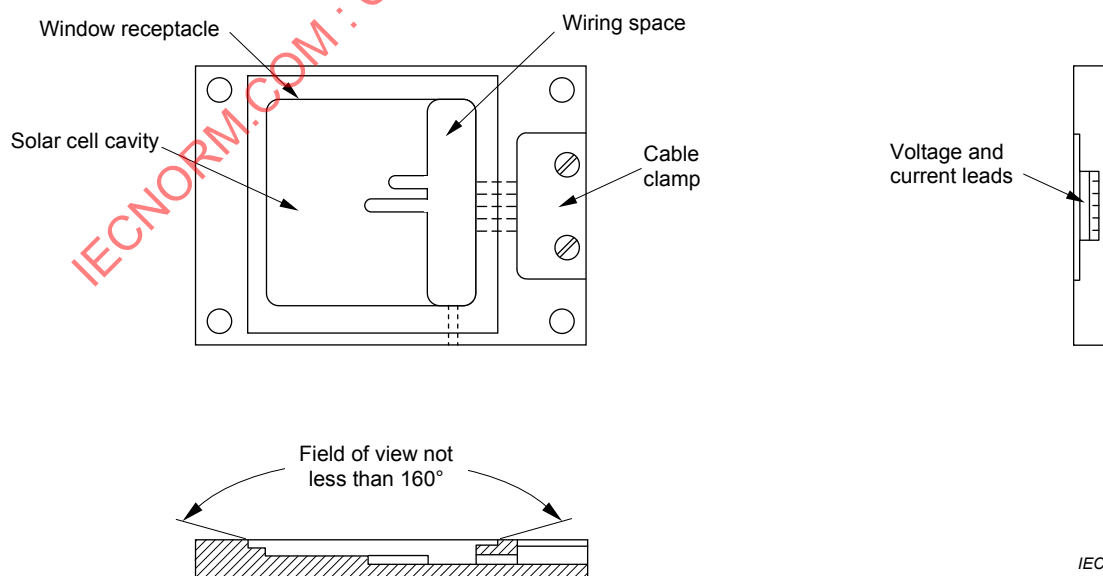
specially calibrated photovoltaic devices which are used to measure natural or simulated irradiance or to set simulator irradiance levels for measuring the performance of other photovoltaic devices

3.6

reference cell

single photovoltaic cell used primarily for transfer of calibration values

Note 1 to entry: For practical reasons, such cells are small in surface area, and are usually mounted on a fixture which ensures reproducibility in mounting, thermal control and electrical connections. A typical sample is sketched in Figure 1.



IEC

Figure 1 – Single-cell package

3.6.1

reference cell with protective cover but without encapsulant

photovoltaic reference cell similar to 3.6, but provided with a protective cover

Note 1 to entry: Recommended use: as a laboratory primary, secondary and working reference, in particular when measuring the performance of other photovoltaic devices using solar simulators or natural sunlight with direct beam only.

3.6.2

encapsulated reference cell

photovoltaic reference cell similar to 3.6, but encapsulated in a protective assembly so as to withstand short-term outdoor exposure

Note 1 to entry: Recommended use: as a laboratory primary, secondary and working reference, in particular when measurements of the performance of other photovoltaic devices under natural sunlight are performed.

Note 2 to entry: If the encapsulation system has been demonstrated to withstand long-term outdoor exposure, applying test levels according to IEC 61215, such reference cells may also be suitable to be used as a monitoring device for long-term assessment of operational photovoltaic arrays.

3.7

multi-cell reference devices

photovoltaic device consisting of several photovoltaic cells

Note 1 to entry: Recommended use: as the diffuse component of natural sunlight and non-normal incidence of simulated sunlight interact with encapsulants and back sheets of a module and influence the amount of irradiance which a particular cell receives, it is recommended that reference devices used for measuring sub-assemblies of modules and arrays be encapsulated in a multi-cell package, matching the mechanical and optical features of the test specimen (module, sub-assemblies of modules, arrays) so as to respond to variations in the geometrical distribution of the incident radiation in the same way as the test specimen.

3.8

single reference cell in a multi-cell package

single photovoltaic cell mounted in such a package that frame, encapsulation system, shape, size and spacing of the cells surrounding it are the same as in the module to be tested

Note 1 to entry: The surrounding cells may be real or dummies that have the same optical properties.

3.9

reference module

photovoltaic module consisting of the encapsulation of a series and/or parallel connection of photovoltaic cells

Note 1 to entry: Recommended use: for measuring other modules in order to achieve correspondence of dimensions, mechanical construction, optical properties and electrical circuitry of the reference module and test module, so as to minimize discrepancies due to simulator non-uniformity, internal reflections or temperature distribution.

3.10 built-in shunt resistors

resistor connected across the output terminals of photovoltaic devices

Note 1 to entry: The resistor shunts the output of the photovoltaic device providing an output voltage to be measured and avoiding user-provided means of establishing short circuit condition.

4 Selection of reference device

4.1 General requirements

Depending on their intended use, reference devices need to meet different requirements in terms of their spectral responsivity, mechanical construction, optical properties, dimensions and electrical circuit. The spectral responsivity of the reference device, for example, is determined by the transmission of any protective cover in front of the device and the spectral responsivity of the device itself. Therefore the overall spectral responsivity can be adapted by using suitable filters as or in addition to the protective cover.

A reference device shall meet the following requirements:

- a) photovoltaic characteristics shall be stable according to the requirements in Clause 11;

- b) the output signal of the reference device shall vary linearly with irradiance, as defined in IEC 60904-10, over the range of interest.

4.2 Additional requirements for single reference cell in a multi-cell package

The dotted line in Figure 2 indicates the minimum acceptable size of a multi-cell package.

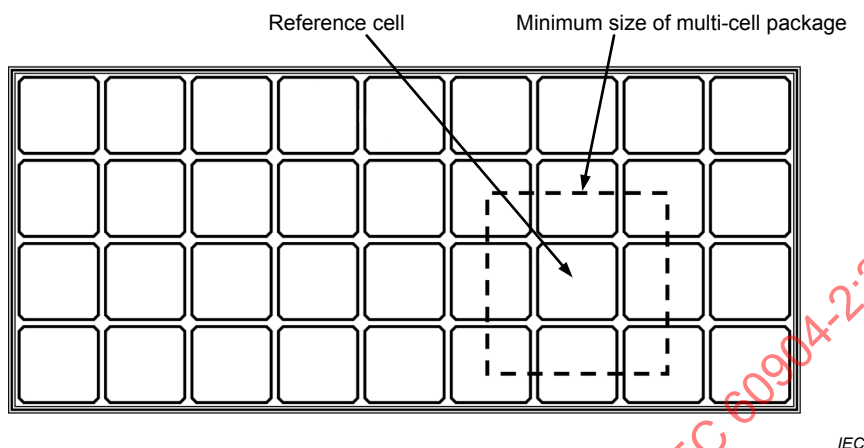


Figure 2 – Single reference cell in a multi-cell package

4.3 Additional requirements for reference modules

Additional requirements apply to reference modules.

a) Bypass diodes:

- general reference modules, that are used to measure a range of module types and geometries, should not contain bypass diodes. The presence or absence of bypass diodes shall be noted and considered in conjunction with the measurement conditions, in particular spatial non-uniformity of the irradiance on the module during measurement;
- for reference modules, that are intended to be matched to the module under test, the number, type and connection of bypass diodes (if present) shall match those in the module under test.

b) If they are made from discrete cells, these shall be matched as follows depending on the intended use of the reference module:

- if only the short circuit current of the reference module will be used the short circuit current of the individual cells shall be matched to within $\pm 1\%$;
- if other parameters (such as maximum power) are used additionally or exclusively, both the short circuit current and the fill factor of the individual cells shall be matched to within $\pm 1\%$.

The matching of the individual cells is the responsibility of the manufacturer of the reference module, bearing in mind that matching may also be influenced by encapsulation or lamination. The cell matching needs not be checked by the calibration laboratory. However, if I-V curves of the reference module indicate inconsistent response (i.e. steps are noted in the I-V curve), the I-V curve should be measured under light that is known to be uniform (e.g. natural sunlight) to determine whether there is evidence that the cells within the module are matched within 1 %. If the module exhibits evidence of $> 1\%$ mismatch between cells, the module shall not be used as reference module.

4.4 Requirements for built-in shunt resistors

The resistor shall be chosen such as to ensure that the reference device operates sufficiently near to short-circuit condition, meeting the requirement:

$$I_{SC} \times R_{CAL} < 0,03 \times V_{OC} \quad (1)$$

where

R_{CAL} is the shunt resistor;

I_{SC} is the short circuit current of the reference device at reference conditions;

V_{OC} is the open circuit voltage at reference conditions.

If a shunted reference cell does not meet the requirement of formula (1), it shall only be used at irradiances ($\pm 5\%$) and temperatures ($\pm 2\text{ °C}$) at which it was calibrated.

The long-term stability of such resistors shall also meet the stability requirements of the reference device. Calibration values of such reference devices shall be measured as the voltage drop across the shunt resistor and stated with the dimension [V] at standard test conditions (see Clause 7). The temperature coefficient of the built-in shunt resistor is part of the temperature coefficient of the calibration value of the reference device. As the uncertainty in the calibration may be strongly dependent on the shunt resistor stability and temperature coefficient, respective values should be provided with the reference cell data sheet.

If a shunted reference cell is to be used for low irradiance measurements, either a dedicated cell can be constructed with the restriction of formula (1), where the short circuit current is considered at the desired low irradiance rather than at STC. Alternatively a shunted cell can have a larger shunt resistor, but requires a separate calibration for each irradiance and temperature it is to be used at.

It is recommended that the shunt resistor be a removable 4-wire resistor, to allow for periodic checking of the reference device stability by taking an I-V curve per IEC 60904-1.

Formula (1) means that the measured output voltage of a shunted reference cell shall be less than 3 % of its open circuit voltage. For typical crystalline Silicon this equates to about 20 mV output.

5 Temperature measurement

Means shall be provided for determining the reference cell temperature or, for reference modules, the equivalent cell temperature (ECT), according to IEC 60904-5. The required uncertainty for temperature measurements shall be less than $\pm 2,0\text{ °C}$ for all reference devices. A minimum accuracy of $\pm 1,0\text{ °C}$ for the temperature sensor is suggested to achieve this uncertainty in the temperature measurement.

6 Electrical connections

The electrical connections to reference cells shall consist of a four-wire contact system (Kelvin probe). Care shall be taken to avoid measurement errors due to voltage drops along the cell's contact bars and the package wiring.

The electrical connections to the reference module shall be designed to meet the requirements of IEC 60904-1.

7 Calibration

Each reference device shall be calibrated in terms of its calibration value at the desired reference conditions, normally standard test conditions (STC) ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 25 °C device temperature with the reference spectral irradiance distribution as defined in IEC 60904-3).

Methods for calibrating primary reference devices are included in IEC 60904-4. A method of calibrating secondary reference devices is described in Clause 12. The calibration of working reference devices is treated in Clause 13.

The spectral responsivity at short-circuit current conditions of each reference device shall be measured in accordance with IEC 60904-8. If for reference modules this cannot be measured directly, it shall be deduced from measurements made on representative encapsulated photovoltaic cells.

The temperature coefficient of each reference device shall be measured in accordance with IEC 60891.

8 Report

Each time a reference device is calibrated, the following information shall be recorded on a data sheet:

- Identification number
- Type (primary reference cell; secondary reference device, working reference device)
- Cell manufacturer
- Material type
- Type of package
- Type and dimension of cell(s)
- Circuit diagram, in particular of any connectors
- Calibration organization
- Site and date of calibration
- Method of calibration (refer to standard)
- Radiometer or standard lamp characteristics (where applicable)
- Primary reference cell identification (where applicable)
- Simulator characteristics (where applicable)
- Type of temperature sensor (where applicable)
- Spectral responsivity
- Temperature coefficient of calibration value
- Calibration value at reference conditions
- Reference conditions
- Estimated uncertainty
- Shunt resistor nominal resistance and temperature coefficient (where applicable)
- Either the mismatch correction value used in the measurement or an estimate of the uncertainty introduced by using the mismatched reference device.

For reference cells without fixed electrical connection to the cell, the following information shall be recorded on the data sheet:

- Illustration of type, shape and location of electrical contacts during calibration.

For reference modules, the following information shall be recorded in addition on the data sheet:

- manufacturer
- model designation
- serial number

- cell technology
- construction and dimensions of module
- electrical circuit layout
- presence or absence of bypass diodes and if present their number and type.

9 Marking

The reference device shall carry a clear, indelible serial or identification number for cross-reference to its data sheet.

10 Packaging

10.1 Recommended packaging for use in natural sunlight

The reference device used for measurement in natural sunlight should respond to variations in the geometrical distribution of the incident radiation in the same way as the test specimens (cells, sub-assemblies of cells, modules). As encapsulants and back sheets respond to the diffuse component of natural sunlight, it is recommended that reference cells used for measuring modules be enclosed in a multi-cell package (see Figure 2), simulating the neighbouring optical parameters of a module.

In this case, the frame, the encapsulation system, the shape, and the size and spacing of the cells surrounding the reference cell shall be the same as in the module to be tested. The surrounding cells may be real or dummies that have the same optical properties. The dotted line in Figure 2 indicates the minimum acceptable size of the multi-cell package for outdoor testing.

10.2 Recommended packaging for use under solar simulators

In some simulators which allow multiple reflections of light to and from the test specimen, the irradiance in the test plane may change depending on whether or not the test specimen is present. Therefore, in order to measure accurately the irradiance that will be present when the test specimen is in place, the reference devices used in such simulators shall be packaged in the same way as the test specimen, so that the change in irradiance due to multiple reflections is the same for both the reference device and the test specimen.

Reference cells used for measurements in simulators designed to minimize any error from multi-reflected light may be packaged singly or, if not intended for day-to-day use, mounted in the unpackaged state on a temperature controlled block.

Alternatively, the requirements given for reference cells for use in natural sunlight may be followed.

10.3 Single cell package

If a single cell package is used, the following recommendations are made:

- a) The field of view should be at least 160°.
- b) All surfaces in the package within the cell's field of view should be non-reflective, with an absorption of at least 0,95 in the cell's wavelength responsivity band.
- c) The material used for bonding the cell to the holder should be resistant to degradation, either electrically or optically. Its physical characteristics should remain stable over the entire period of intended use.
- d) The use of a protective window is recommended. If encapsulated, the space between the window and the cell should be filled with a stable encapsulant. Both the protective window and the encapsulant should be transparent over the wavelength range in which the PV

reference device has a non-zero spectral responsivity. The refractive index of the encapsulant should be similar (within 10 %) to that of the window to minimize errors due to the internal reflection of light. The transparency, homogeneity and adhesion of the encapsulant should not be adversely affected by ultra-violet light and operational temperatures.

- e) The protective window may embody a filter to match the spectral responsivity of the reference cell to that of the test specimen, provided that the other requirements of d) are met.

Figure 1 shows an example of a suitable single cell package. Other suitable single cell packages can be found in JIS C8910 or the World Photovoltaic Scale (see Bibliography).

11 Care of reference devices

It is recommended that reference devices be recalibrated on an annual basis.

The window of a packaged reference device shall be kept clean and scratch-free.

Uncovered reference cells shall be preserved against damage, contamination and degradation.

A reference device exhibiting any defect which might impair its function shall not be used.

The calibration value of a reference device might change systematically as a function of time for successive calibrations. If the calibration value of a reference device has changed by more than 1 % with respect to its previous calibration or by more than 5 % of its initial calibration, it shall not be used as a reference device.

12 Calibration of secondary reference devices against a primary reference cell

12.1 General

This Clause describes a procedure for calibrating a secondary reference device in natural or simulated sunlight against a primary reference cell whose calibration is traceable to SI units according to IEC 60904-4. The spectral responsivity mismatch between the primary reference cell and that of the secondary reference device under the illumination used for the calibration shall be determined according to IEC 60904-7. If the spectral mismatch correction is less than 1 %, the mismatch correction may be omitted.

The procedure can be applied using both natural and simulated sunlight according to the requirements in IEC 60904-1 with the following restrictions.

12.2 Natural sunlight

Calibration in natural sunlight shall be carried out under the following conditions:

- a) Clear, sunny weather, with the diffuse irradiance not greater than 20 % of the global irradiance.
- b) No observable cloud formations.
- c) Total irradiance (sun + sky + ground reflection) not less than $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, as measured by the primary reference cell.
- d) Air mass between AM1 and AM2.
- e) Radiation sufficiently stable so that the variation in reference cell output signal is less than $\pm 0,5 \%$ over the time taken for a measurement.

12.3 Simulated sunlight

The simulated sunlight for calibration can either be continuous or pulsed. Normally the primary reference cell and the secondary reference device are positioned side by side and measured simultaneously. In this case the simulator shall be of Class AAA in accordance with IEC 60904-9 with the additional requirement that the non-uniformity of irradiance is less than $\pm 1\%$ within the surface that includes the device to be calibrated and the primary reference device. The requirement of class A with respect to temporal instability as defined in IEC 60904-9 needs only be met for the short term instability (STI) as the long term instability (LTI) is not relevant in this case. In case that the primary and secondary reference device are of the same or similar size (ratio of active areas between 0,5 and 2,0), an additional measurement shall be taken exchanging their positions. A valid result is only obtained if both measurements agree within the measurement uncertainty.

If the requirement of non-uniformity of less than $\pm 1\%$ cannot be met for calibrating reference modules made from a series connection of cells, the simulator shall be class A for spatial non-uniformity and a detailed uncertainty analysis shall be provided taking into account mismatch in short-circuit current of the individual cells.

In the special case that the primary reference cell and the secondary reference device are of the same or similar size (ratio of active areas between 0,5 and 2,0) and that the continuous simulated sunlight is stable, the two devices can be placed in the same position one after the other and measured consecutively. In this case the simulator shall be of Class AAA in accordance with IEC 60904-9 with the additional requirement that the LTI of irradiance is less than $\pm 1\%$, where the LTI is with respect to the total time period needed for the measurements. A pulsed solar simulator may also be suitable if the repeatability of each pulse is better than 1 %. This shall be recorded using a suitable monitor cell.

In any case a detailed measurement uncertainty analysis considering both, spatial and temporal non-uniformity of the simulated sunlight needs to be provided, considering the specifics of the chosen measurement strategy.

12.4 Test procedure

12.4.1 Before the initial calibration, measure the spectral responsivity and temperature coefficient of short circuit current of the secondary reference device, using the procedures specified in IEC 60904-8 and IEC 60891, respectively. Whenever a change in the calibration value at the reference conditions of more than 2 % with respect to this initial calibration is detected, the measurements of spectral responsivity and temperature coefficient shall be repeated.

12.4.2 Adjust the mount so that the devices are normal to the light source within $\pm 5^\circ$.

- Mount the primary reference cell and the secondary reference device co-planar within $\pm 1^\circ$ and in close proximity on the same mount (for simultaneous measurement).
- Mount the primary reference cell in the designated position (for consecutive measurement).

12.4.3 Control the cell temperature of both the primary reference cell and the secondary reference device at $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$. Where this is not practical, readings of output signal shall be subsequently corrected to 25°C in accordance with IEC 60891.

12.4.4 The spectral mismatch shall be corrected according to IEC 60904-7. Appropriate measurements of the spectral irradiance shall be recorded.

12.4.5 Record simultaneous readings of the output signal and temperature:

- of both primary reference cell and secondary reference device (for simultaneous measurement),
- of the primary reference cell, (for consecutive measurement).

12.4.6 Repeat step 12.4.5 until five successive sets of readings are obtained in which:

- the ratio of the output signals (corrected to 25 °C and for spectral mismatch as required) does not vary by more than $\pm 0,5 \%$ (for simultaneous measurement),
- the output signals for the primary reference cell (corrected to 25 °C and for spectral mismatch as required) do not vary by more than $\pm 0,5 \%$; then remove primary reference cell and mount the secondary reference device in the same position and repeat step 12.4.5 with the same constraints as for the primary reference cell (for consecutive measurement).

12.4.7 If the primary reference cell and the secondary reference device are of the same or similar size (ratio of active areas between 0,5 and 2,0) and are measured simultaneously, exchange the position between the primary reference cell and the secondary reference device and repeat steps 12.4.5 and 12.4.6.

12.4.8 When calibrating in natural sunlight, steps 12.4.2 to 12.4.6, inclusive, shall be performed at least twice a day on at least three separate days.

12.4.9 From the acceptable data, calculate the ratio:

$$\frac{\text{Output signal of secondary reference device at } 25^{\circ}\text{C}}{\text{Output signal of primary reference cell at } 25^{\circ}\text{C}}$$

12.4.10 Multiply the calibration value of the primary reference cell by the calculated:

- mean of the ratios (for simultaneous measurement);
- ratio of the means of the output signals (for consecutive measurement),

to obtain the calibration value of the secondary reference device. If measurements have been taken with the positions of the primary reference cell and the secondary reference device exchanged, calculate the calibration value for both cases. The results are only valid if both agree within the measurement uncertainty. Both values are to be reported and their geometric average is to be used as the calibration value.

13 Calibration of working reference device against a secondary reference device

For calibration of a working reference device against secondary reference device the above procedure may be applied, omitting the spectral mismatch correction if the secondary and working reference are of the same material and construction, otherwise the same procedure as described in Clause 12 should be applied.

Bibliography

JIS C8910, *Primary reference solar cells*

C.R. Osterwald, S. Anevsky, K. Bücher, A.K. Barua, P. Chaudhuri, J. Dubard, K. Emery, B. Hansen, D. King, J. Metzdorf, F. Nagamine, R. Shimokawa, Y.X. Wang, T. Witchen, W. Zaaiman, A. Zastrow, and J. Zhang, "The World Photovoltaic Scale: An International Reference Cell Calibration Program", *Progress in Photovoltaics Research and Applications*, vol. 7, pp. 287-297, 1999

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2015

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
1 Domaine d'application.....	19
2 Références normatives	19
3 Termes et définitions	20
4 Sélection des dispositifs de référence	22
4.1 Exigences générales	22
4.2 Exigences supplémentaires pour une cellule de référence unique dans un boîtier multicellule	22
4.3 Exigences supplémentaires pour les modules de référence	23
4.4 Exigences pour les résistances de shunt intégrées	23
5 Mesure de la température	24
6 Connexions électriques.....	24
7 Etalonnage	24
8 Rapport	25
9 Marquage	26
10 Conditionnement	26
10.1 Conditionnement recommandé pour l'utilisation en rayonnement lumineux solaire naturel	26
10.2 Conditionnement recommandé pour l'utilisation avec simulateurs solaires	26
10.3 Boîtier pour cellule individuelle	26
11 Précautions relatives aux dispositifs de référence	27
12 Étalonnage des dispositifs secondaires de référence par rapport à une cellule primaire de référence.....	27
12.1 Généralités	27
12.2 Rayonnement lumineux solaire naturel	27
12.3 Rayonnement lumineux solaire simulé	28
12.4 Procédure d'essai	28
13 Etalonnage du dispositif de travail de référence par rapport à un dispositif secondaire de référence	29
Bibliographie	30
Figure 1 – Boîtier d'une cellule individuelle.....	21
Figure 2 – Cellule de référence unique dans un boîtier multicellule	22

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs
photovoltaïques de référence

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60904-2 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette troisième édition annule et remplace la seconde édition, publiée en 2007, dont elle constitue une révision technique.

Par rapport à l'édition précédente, les modifications techniques majeures sont les suivantes:

- ajout d'une procédure d'essai en rayonnement lumineux solaire simulé d'une mesure suivante de dispositifs primaires et secondaires de référence;
- définition des conditions normalisées d'essai;

- diminution de la composante diffuse autorisée pour l'étalonnage à 20 % de la cellule secondaire de référence.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/893/FDIS	82/918/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60904, publiées sous le titre général *Dispositifs photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2015

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60904 donne les exigences relatives à la classification, à la sélection, au conditionnement, au marquage, à l'étalonnage et aux précautions d'utilisation des dispositifs photovoltaïques de référence.

La présente norme couvre les dispositifs photovoltaïques de référence utilisés pour déterminer les performances électriques des cellules, modules et panneaux photovoltaïques sous rayonnement lumineux solaire naturel et simulé. Elle ne couvre pas les dispositifs photovoltaïques de référence pour une utilisation sous rayonnement lumineux solaire concentré.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60891, *Dispositifs photovoltaïques – Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées*

IEC 60904-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1: Mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

IEC 60904-3, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence*

IEC 60904-4, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 4: Dispositifs solaires de référence – Procédures pour établir la traçabilité de l'étalonnage*

IEC 60904-5, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 5: Détermination de la température de cellule équivalente (ECT) des dispositifs photovoltaïques (PV) par la méthode de la tension en circuit ouvert*

IEC 60904-7, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques*

IEC 60904-8, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 8: Mesure de la sensibilité spectrale d'un dispositif photovoltaïque (PV)*

IEC 60904-9, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires*

IEC 60904-10, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*
(disponible en anglais uniquement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC TS 61836, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

traçabilité de l'étalonnage

traçabilité comme définie dans l'IEC 60904-4

Note 1 à l'article: Les dispositifs photovoltaïques de référence se distinguent par leur position dans une chaîne de traçabilité de l'étalonnage.

3.2

dispositif primaire de référence

dispositif photovoltaïque de référence dont l'étalonnage est basé sur un radiomètre, sur un détecteur normalisé ou sur une source de rayonnement lumineux normalisée traçable en unités SI, comme défini dans l'IEC 60904-4

3.3

dispositif secondaire de référence

dispositif photovoltaïque de référence étalonné en rayonnement lumineux solaire naturel ou simulé par rapport à un dispositif primaire de référence

3.4

dispositif de travail de référence

dispositif photovoltaïque de référence étalonné en rayonnement lumineux solaire naturel ou simulé par rapport à un dispositif secondaire de référence

3.5

dispositifs de référence

dispositifs photovoltaïques étalonnés spécifiquement utilisés pour mesurer l'éclairement naturel ou simulé ou pour régler les niveaux d'éclairement du simulateur pour mesurer les performances d'autres dispositifs photovoltaïques

3.6

cellule de référence

cellule photovoltaïque unique utilisée essentiellement pour fournir des valeurs d'étalonnage

Note 1 à l'article: Pour des raisons pratiques, de telles cellules ont de petites surfaces, et sont généralement montées sur un support qui assure la reproductibilité du montage, de la commande thermique et des connexions électriques. Un exemple type est esquissé à la Figure 1.

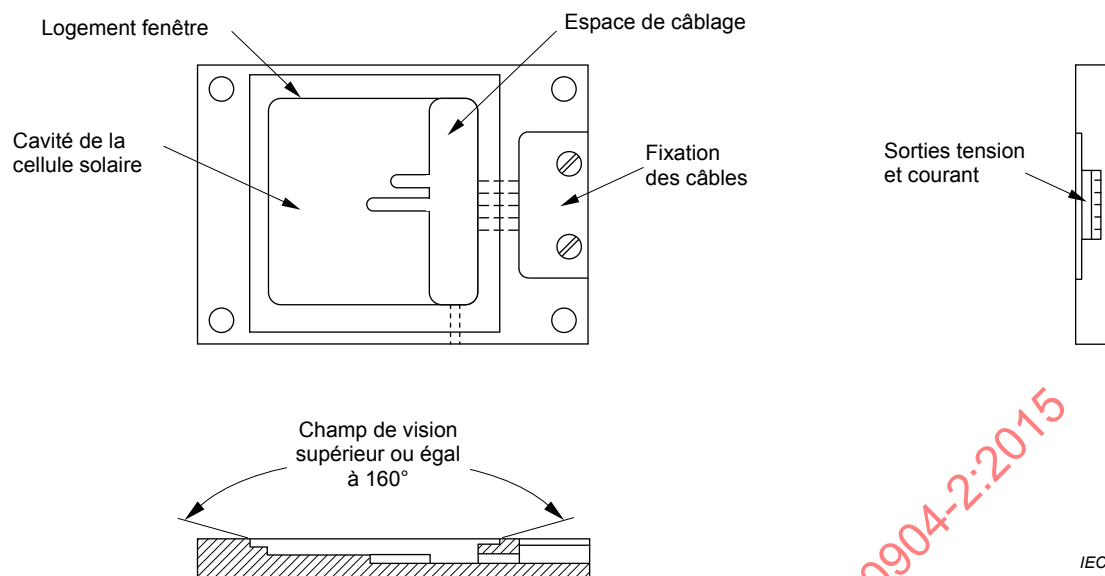


Figure 1 – Boîtier d'une cellule individuelle

3.6.1

cellule de référence avec couvercle de protection, mais sans encapsulant

cellule photovoltaïque de référence similaire à 3.6, mais équipée d'un couvercle de protection

Note 1 à l'article: Utilisation recommandée: comme référence de travail primaire et secondaire de laboratoire, en particulier lors des mesures des performances d'autres dispositifs photovoltaïques en utilisant des simulateurs solaires ou un rayonnement lumineux solaire naturel avec un rayonnement direct seulement.

3.6.2

cellule de référence encapsulée

cellule photovoltaïque de référence similaire à 3.6, mais encapsulée dans un assemblage de protection permettant de résister à une exposition extérieure de courte durée

Note 1 à l'article: Utilisation recommandée: comme référence de travail primaire et secondaire de laboratoire, en particulier lors des mesures des performances d'autres dispositifs photovoltaïques en rayonnement lumineux solaire naturel.

Note 2 à l'article: S'il a été démontré que le système d'encapsulation résiste à une exposition extérieure de longue durée, en appliquant les niveaux d'essai de l'IEC 61215, de telles cellules de référence peuvent aussi convenir pour être utilisées comme dispositifs de surveillance pour une évaluation à long terme du fonctionnement de panneaux photovoltaïques.

3.7

dispositifs multicellules de référence

dispositif photovoltaïque constitué de plusieurs cellules photovoltaïques

Note 1 à l'article: Utilisation recommandée: comme la composante diffuse du rayonnement lumineux solaire naturel et le rayon incident non perpendiculaire du rayonnement lumineux solaire simulé entrent en interaction avec les encapsulants et les plaques arrière d'un module et influencent la quantité d'éclairement que reçoit une cellule particulière, il est recommandé que les dispositifs de référence utilisés pour mesurer les sous-ensembles de modules et de panneaux soient encapsulés dans un boîtier multicellule, dont les caractéristiques optiques et mécaniques correspondent à celles du spécimen d'essai (modules, sous-ensembles de modules, panneaux) afin de répondre aux variations de la distribution géométrique du rayonnement incident de la même façon que le spécimen d'essai.

3.8

cellule de référence unique dans un boîtier multicellule

cellule photovoltaïque unique montée dans un boîtier tel que le châssis, le système d'encapsulation, la forme, les dimensions et l'espacement des cellules l'entourant soient les mêmes que dans le module à soumettre à essai

Note 1 à l'article: Les cellules environnantes peuvent être des cellules réelles ou factices ayant les mêmes propriétés optiques.

3.9

module de référence

module photovoltaïque constitué de l'encapsulation de cellules photovoltaïques connectées en parallèle et/ou en série

Note 1 à l'article: Utilisation recommandée: pour mesurer d'autres modules afin d'obtenir une correspondance des dimensions, de la construction mécanique, des propriétés optiques et des circuits électriques du module de référence et du module d'essai, de façon à minimiser les divergences dues à la non-uniformité du simulateur, les réflexions internes ou la distribution de la température.

3.10

résistances de shunt intégrées

résistance connectée aux bornes de sortie de dispositifs photovoltaïques

Note 1 à l'article: La résistance shunte la sortie du dispositif photovoltaïque pour délivrer une tension de sortie à mesurer et éviter que des moyens fournis par l'utilisateur établissent un état de court-circuit.

4 Sélection des dispositifs de référence

4.1 Exigences générales

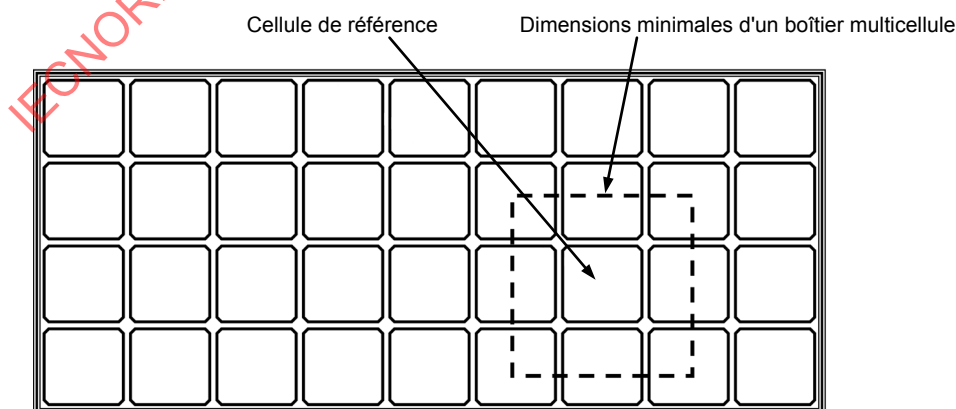
Suivant leur utilisation prévue, les dispositifs de référence nécessitent de répondre à des exigences différentes en termes de réponse spectrale, de construction mécanique, de propriétés optiques, de dimensions et de circuit électrique. La réponse spectrale du dispositif de référence, par exemple, est déterminée par la transmission d'un couvercle de protection quelconque situé devant le dispositif et par la réponse spectrale du dispositif lui-même. La réponse spectrale globale peut donc être adaptée en utilisant des filtres appropriés en tant que couvercle de protection ou s'ajoutant à celui-ci.

Un dispositif de référence doit répondre aux exigences suivantes:

- a) ses caractéristiques photovoltaïques doivent être stables conformément aux exigences de l'Article 11;
- b) le signal de sortie du dispositif de référence doit varier linéairement avec l'éclairement sur la plage concernée, comme défini dans l'IEC 60904-10.

4.2 Exigences supplémentaires pour une cellule de référence unique dans un boîtier multicellule

La ligne en pointillés de la Figure 2 indique les dimensions minimales acceptables d'un boîtier multicellule.



IEC

Figure 2 – Cellule de référence unique dans un boîtier multicellule

4.3 Exigences supplémentaires pour les modules de référence

Des exigences supplémentaires s'appliquent aux modules de référence:

a) Diodes de dérivation:

- il convient que des modules de référence généraux utilisés pour mesurer une gamme de types de modules et de géométries ne comportent pas de diodes de dérivation. La présence ou l'absence de diodes de dérivation doit être notée et prise en compte conjointement avec les conditions de mesure, en particulier la non-uniformité spatiale de l'éclairement sur le module pendant les mesures;
- pour les modules de référence destinés à correspondre au module en essai, le nombre, le type et la connexion des diodes de dérivation (le cas échéant) doivent correspondre à ceux du module en essai.

b) S'ils sont constitués de cellules discrètes, elles doivent être adaptées comme suit, selon l'utilisation prévue du module de référence:

- si seul le courant de court-circuit du module de référence est utilisé, le courant de court-circuit des cellules individuelles doit être adapté à moins de $\pm 1\%$;
- si d'autres paramètres (tels que la puissance maximale) sont utilisés en plus ou exclusivement, à la fois le courant de court-circuit et le facteur de remplissage des cellules individuelles doivent être adaptés à moins de $\pm 1\%$.

L'adaptation des cellules individuelles est de la responsabilité du fabricant des modules de référence, en gardant à l'esprit que l'adaptation peut également être influencée par l'encapsulation ou la stratification. Il n'est pas nécessaire que le laboratoire d'étalonnage vérifie l'adaptation des cellules. Toutefois, si des courbes I-V du module de référence indiquent une réponse incohérente (c'est-à-dire si la courbe I-V comporte des échelons), il convient que la courbe I-V soit mesurée sous un rayonnement lumineux connu pour être uniforme (par exemple un rayonnement lumineux solaire naturel) pour déterminer si les cellules à l'intérieur du module sont adaptées à $\pm 1\%$. Si l'on constate que des cellules du module diffèrent de plus de 1% , le module ne doit pas être utilisé comme module de référence.

4.4 Exigences pour les résistances de shunt intégrées

La résistance doit être choisie de telle façon que le dispositif de référence fonctionne suffisamment près de l'état de court-circuit, en satisfaisant à l'exigence suivante:

$$I_{SC} \times R_{CAL} < 0,03 \times V_{OC} \quad (1)$$

où

R_{CAL} est la résistance de shunt;

I_{SC} est le courant de court-circuit du dispositif de référence dans les conditions de référence;

V_{OC} est la tension en circuit ouvert dans les conditions de référence.

Si une cellule de référence de shunt ne remplit pas les exigences de la formule (1), elle ne doit être utilisée que pour des éclairements ($\pm 5\%$) et des températures ($\pm 2\text{ °C}$) auxquels elle a été étalonnée.

La stabilité à long terme d'une telle résistance doit également satisfaire aux exigences de stabilité du dispositif de référence. Les valeurs d'étalonnage de tels dispositifs de référence doivent être mesurées avec la chute de tension apparaissant aux bornes de la résistance de shunt et indiquées avec la dimension [V] dans les conditions normalisées d'essai (voir l'Article 7). Le coefficient de température de la résistance de shunt intégrée est une partie du coefficient de température de la valeur d'étalonnage du dispositif de référence. Puisque l'incertitude d'étalonnage peut dépendre fortement de la stabilité de la résistance de shunt et du coefficient de température, il convient de fournir les valeurs respectives avec la fiche technique de la cellule de référence.

Si une cellule de référence shuntée doit être utilisée pour des mesures à faible éclairement, une cellule dédiée peut être réalisée avec la restriction de la formule (1), où le courant de court-circuit est considéré au faible éclairement désiré plutôt qu'aux conditions normalisées de référence (STC: Standard Test Conditions). En variante, une cellule shuntée peut comporter une résistance de shunt plus grande, mais elle nécessite un étalonnage séparé pour chaque éclairement et température auxquels elle doit être utilisée.

Il est recommandé que la résistance de shunt soit une résistance amovible à 4 bornes pour permettre un contrôle périodique de la stabilité du dispositif de référence en prenant une courbe I-V de l'IEC 60904-1.

La formule (1) signifie que la tension de sortie mesurée d'une cellule de référence shuntée doit être inférieure à 3 % de sa tension en circuit ouvert. Pour du silicium cristallin typique, ceci équivaut à une sortie d'environ 20 mV.

5 Mesure de la température

Des moyens doivent être fournis pour déterminer la température de la cellule de référence ou, pour les modules de référence, la température de cellule équivalente (ECT, Equivalent Cell Temperature), selon l'IEC 60904-5. L'incertitude exigée pour les mesures de température doit être inférieure à $\pm 2,0$ °C pour tous les dispositifs de référence. On suppose qu'une précision minimale de $\pm 1,0$ °C du capteur de température atteint cette incertitude pour la mesure de la température.

6 Connexions électriques

Les connexions électriques aux cellules de référence doivent être constituées d'un système à contact à quatre bornes (montage de Kelvin). On doit veiller à éviter les erreurs de mesure dues aux chutes de tension aux bornes de raccordement de la cellule et du câblage du boîtier.

Les connexions électriques du module de référence doivent être conçues pour satisfaire aux exigences de l'IEC 60904-1.

7 Etalonnage

Chaque dispositif de référence doit être étalonné en termes de valeur d'étalonnage aux conditions de référence souhaitées, normalement les conditions normalisées de référence (STC, Standard Test Conditions) ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, température du dispositif de 25 °C avec la distribution d'éclairement spectral de référence définie dans l'IEC 60904-3).

Des méthodes d'étalonnage des dispositifs primaires de référence sont incluses dans l'IEC 60904-4. Une méthode d'étalonnage des dispositifs secondaires de référence est décrite à l'Article 12. L'étalonnage des dispositifs de travail de référence est traité dans l'Article 13.

La réponse spectrale dans des conditions de courant de court-circuit de chaque dispositif de référence doit être mesurée conformément à l'IEC 60904-8. Si pour des modules de référence, celle-ci ne peut pas être mesurée directement, elle doit être déduite des mesures réalisées sur des cellules photovoltaïques encapsulées représentatives.

Le coefficient de température de chaque dispositif de référence doit être mesuré conformément à l'IEC 60891.

8 Rapport

Chaque fois qu'un dispositif de référence est étalonné, les renseignements suivants doivent être indiqués sur une fiche technique:

- Numéro d'identification
- Type (cellule primaire de référence, dispositif secondaire de référence, dispositif de travail de référence)
- Fabricant de la cellule
- Type de matériau
- Type de boîtier
- Type et dimensions de la ou des cellules
- Schéma de circuit, en particulier de tout connecteur
- Organisme ayant effectué l'étalonnage
- Lieu et date d'étalonnage
- Méthode d'étalonnage (référence à la norme)
- Radiomètre ou caractéristiques normalisées de la lampe (le cas échéant)
- Identification de la cellule primaire de référence (le cas échéant)
- Caractéristiques du simulateur (le cas échéant)
- Type de la sonde de température (le cas échéant)
- Réponse spectrale
- Coefficient de température de la valeur d'étalonnage
- Valeur d'étalonnage aux conditions de référence
- Conditions de référence
- Incertitude estimée
- Valeur nominale de la résistance de shunt et coefficient de température (le cas échéant)
- Soit la valeur de correction de désadaptation utilisée dans la mesure, soit une estimation de l'incertitude introduite en utilisant le dispositif de référence non adapté.

Pour les cellules de référence sans connexion électrique fixe à la cellule, les renseignements suivants doivent être indiqués sur la fiche technique:

- Illustration du type, de la forme et de l'emplacement des contacts électriques durant l'étalonnage.

Pour les modules de référence, les renseignements suivants doivent être indiqués en plus sur la fiche technique:

- constructeur
- désignation du modèle
- numéro de série
- technologie de la cellule
- construction et dimensions du module
- implantation du circuit électrique
- présence ou absence de diodes de dérivation et, si elles sont présentes, leur nombre et leur type.