

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 60904-2:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 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 Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

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 978-2-8322-6948-0

**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	6
4 Selection of reference device	8
4.1 General requirements	8
4.2 Additional requirements for single reference cell in a multi-cell package	8
4.3 Additional requirements for reference modules	9
4.4 Requirements for built-in shunt resistors	9
5 Temperature measurement.....	10
6 Electrical connections.....	10
7 Calibration.....	10
7.1 General requirements	10
7.2 Calibration value(s).....	10
7.3 Spectral responsivity.....	11
7.4 Temperature coefficients.....	11
7.5 Linearity.....	11
8 Documentation and report	11
8.1 General.....	11
8.2 Device documentation.....	11
8.3 Calibration report	12
9 Marking	12
10 Packaging	12
10.1 Recommended packaging for use in natural sunlight.....	12
10.2 Recommended packaging for use under solar simulators	13
10.3 Single cell package.....	13
11 Care of reference devices.....	13
12 Usage of reference devices	14
13 Calibration of secondary reference devices against a primary reference cell.....	14
13.1 General.....	14
13.2 Natural sunlight.....	15
13.3 Simulated sunlight	15
13.4 Test procedure.....	15
13.5 Additional measurements.....	17
13.5.1 Spectral responsivity	17
13.5.2 Temperature coefficient(s).....	17
13.5.3 Linearity	17
14 Calibration of working reference device against a secondary reference device	17
Bibliography.....	19
Figure 1 – Single cell package	7
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.

IEC 60904-2 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems. It is an International Standard.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2015. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) added calibration procedures for calibrating PV devices at maximum power by extending the respective Clauses 12 and 13;
- b) revised requirements for mandatory measurement of spectral responsivity, temperature coefficients and linearity, depending on usage and allowing some measurements on equivalent devices;
- c) revised requirements for built-in shunt resistor;
- d) added requirements for traceability of calibration explicitly.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
82/2127/FDIS	82/2151/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

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 document applies to photovoltaic (PV) reference devices that are used to measure the irradiance of natural or simulated sunlight for the purpose of quantifying the electrical performance of photovoltaic devices (cells, modules and arrays). It does not cover photovoltaic reference devices for use under concentrated sunlight.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. 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: Measurement 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: Photovoltaic reference 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: Classification of solar simulator characteristics*

IEC 60904-10, *Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linear dependence and linearity measurements*

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.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1

calibration traceability

<of a PV reference device> requirement for any PV reference device, to tie its calibration value to SI units in an unbroken and documented chain of calibration transfers including stated uncertainties

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

[SOURCE IEC 60904-4:2019, 3.6, modified – The term "traceability" has been replaced with "calibration traceability" and Note 1 to entry has been replaced.]

3.2

reference device

traceably calibrated photovoltaic device

Note 1 to entry: Normally used to measure natural or simulated solar irradiance or to set solar simulator irradiance levels for measuring the performance of other photovoltaic devices.

3.3

primary reference device

photovoltaic reference device with calibration based on a secondary standard for irradiance traceable to SI units as defined in IEC 60904-4

Note 1 to entry: Typically, a PV cell is used as a reference device for the measurement of natural or simulated solar irradiance.

Note 2 to entry: Primary references are normally used by calibration and testing laboratories to calibrate secondary references.

Note 3 to entry: Normally calibrated at periodic intervals.

3.4

secondary reference device

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

Note 1 to entry: Secondary references are normally used by calibration and testing laboratories to calibrate working references, but also for daily routine measurements, in industrial production and in monitoring.

Note 2 to entry: Normally calibrated at periodic intervals.

3.5

working reference device

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

Note 1 to entry: Working references are normally used for daily routine measurements, in industrial production and in monitoring.

Note 2 to entry: Normally calibrated at periodic intervals.

3.6

reference cell

reference device consisting of a single photovoltaic cell

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, electrical connections and protects the device. A typical sample is sketched in Figure 1.

Note 2 to entry: Normally the reference cells are also provided with a protective window and embedded in an encapsulant.

Note 3 to entry: Recommended use: as a laboratory primary, secondary and working reference.

Note 4 to entry: If the encapsulation system has been demonstrated to withstand long-term outdoor exposure, applying test levels according to the IEC 61215 series [1], such reference cells can also be suitable to be used as a monitoring device for long-term assessment of operational PV arrays.

Note 5 to entry: If the reference cell is provided with a protective window but without encapsulant, then it should only be used when measuring the performance of other PV devices using direct beam natural or simulated sunlight.

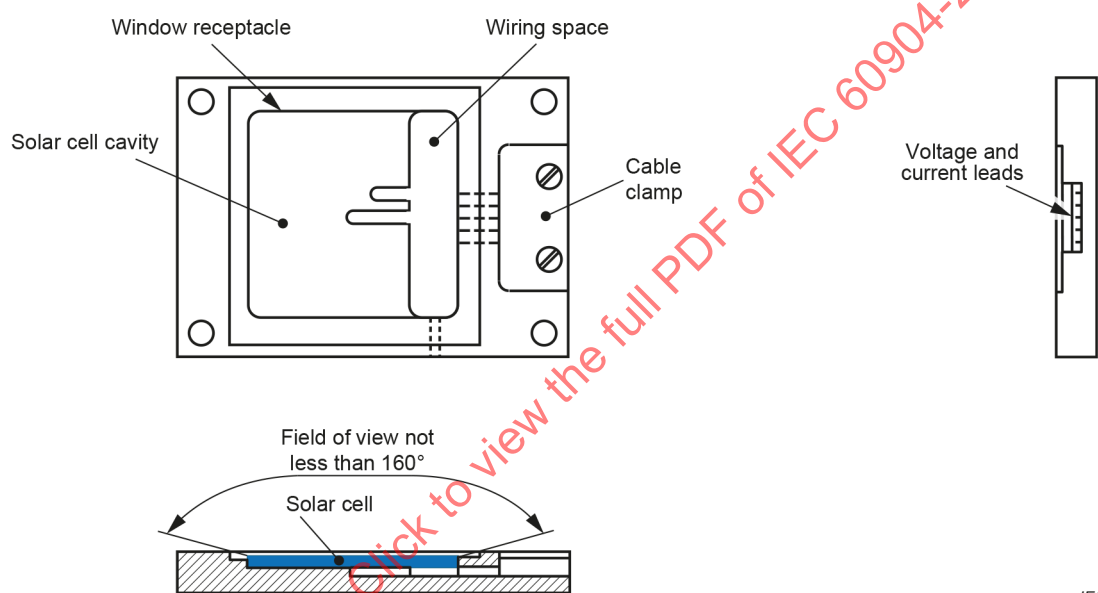


Figure 1 – Single cell package

3.7

single reference cell in a multi-cell package

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

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

3.8

reference module

reference device consisting of a photovoltaic module

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 solar simulator spatial non-uniformity, internal reflections, temperature distribution and spectral mismatch.

Note 2 to entry: As the diffuse component of natural sunlight and non-normal incidence of simulated sunlight interact with encapsulants and back sheets of a PV module and influence the amount of irradiance which a particular cell receives, it is recommended that reference devices used for measuring PV modules, sub-assemblies of PV modules and PV arrays be encapsulated matching the mechanical and optical features of the device under test.

3.9

built-in shunt resistor

resistor connected across the output terminals of photovoltaic devices including connection wiring

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.

Note 2 to entry: For details consult 4.4.

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 window 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 window.

Reference devices should be made using a PV technology that is known to be stable with time. In particular, the calibration value should not change after the reference device has been exposed to solar irradiation, device temperatures different from its calibration temperature and/or extended storage in the dark. The photovoltaic characteristics of a reference device shall be stable according to the requirements in Clause 11.

The reference device shall be constructed such that the photovoltaic performance parameters, in particular short-circuit current and maximum power, can be measured. The only exception are devices with a built-in shunt resistor, see 4.4.

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. For other cell arrangements, such as half-cut cells, an analogous configuration applies.

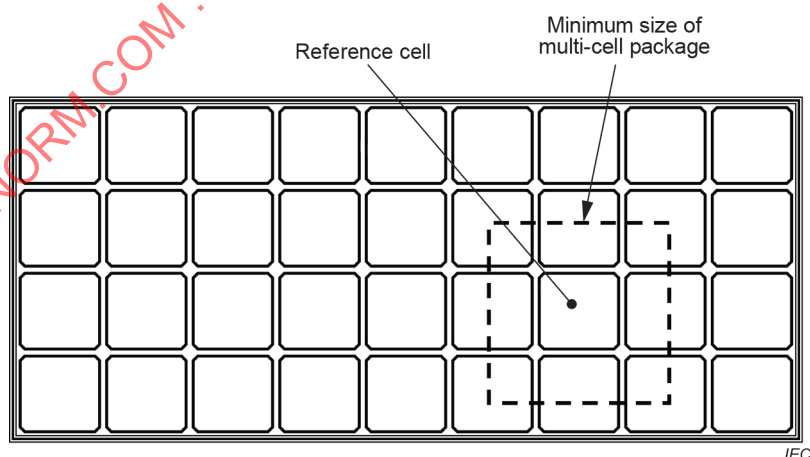


Figure 2 – Single reference cell in a multi-cell package

4.3 Additional requirements for reference modules

Additional requirements apply to reference modules.

a) Bypass diodes:

- general reference modules, which 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, which 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 should 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 should be matched to within ± 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 should be matched to within ± 1 %.

The matching of the individual cells is the responsibility of the manufacturer of the reference module, bearing in mind that matching can also be influenced by encapsulation or lamination. The cell matching need not be checked by the calibration laboratory. However, if I - V curves of the reference module indicate inconsistent response (i.e. obvious steps are noted in the I - V curve), this should be discussed between calibration laboratory and the client supplying the module before proceeding with calibration.

4.4 Requirements for built-in shunt resistors

The built-in shunt resistor (see 3.9) should be chosen such as to ensure that the reference device operates sufficiently near to short-circuit condition, meeting the requirement in Formula (1):

$$R_{\text{CAL}} < \frac{0,2 \times V_{\text{OC}}}{I_{\text{SC}}} \quad (1)$$

where

R_{CAL} is the built-in shunt resistor;

I_{SC} is the short-circuit current of the reference device at desired reference condition;

V_{OC} is the open circuit voltage of the reference device at desired reference condition.

The long-term stability of the built-in shunt resistor 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 built-in shunt resistor and stated with the dimension [V]. 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 can be strongly dependent on the built-in shunt resistor stability and temperature coefficient, respective values should be provided with the reference cell data sheet.

It is recommended that the shunt resistor be a removable 4-wire resistor, to allow for standard (current-based) measurements of spectral responsivity and periodic checking of the reference device stability by measuring an I - V curve in accordance with IEC 60904-1. However, the reproducibility of the electrical connection shall be maintained.

Formula (1) means that the measured output voltage of a shunted reference cell should be less than 20 % of its open circuit voltage. For typical crystalline silicon this equates to about 120 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. Temperature sensors and instrumentation shall have instrumental measurement uncertainty of 1 °C or less. The required uncertainty for temperature measurements for the cell junction shall be less than 2,0 °C for all reference devices.

6 Electrical connections

The electrical connections to reference cells without built-in shunt resistor shall consist of a four-wire contact system (Kelvin probe). Measurement errors due to voltage drops along the cell's contact bars and the package wiring shall be avoided.

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

7 Calibration

7.1 General requirements

Each calibration of a reference device shall be made with a calibration procedure that is traceable according to IEC 60904-4. Any measurement instrument used in the calibration procedure shall be an instrument with an unbroken traceability chain.

The laboratory performing the calibration of the reference device shall maintain a documented uncertainty analysis as well as documented repeatability and results from interlaboratory comparisons.

7.2 Calibration value(s)

Each reference device shall be calibrated in terms of its calibration value(s) at the desired reference conditions. Calibration values shall be reported together with the three main parameters of total irradiance, device junction temperature and spectral irradiance. The most common calibration conditions are standard test conditions (STC). A calibration at STC shall refer to a total irradiance of 1 000 W m⁻², a device junction temperature of 25 °C and the reference spectral irradiance distribution as defined in IEC 60904-3. Sometimes calibration is required at other conditions. A reference device can have multiple calibration values for different desired reference conditions. In particular, IEC 61853-1 [2]¹ requires the use of a reference device at a range of irradiances and temperatures and therefore the calibration at the respective conditions.

Methods for calibrating primary reference devices are included in IEC 60904-4. A procedure of calibrating secondary reference devices is described in Clause 13. The calibration of working reference devices is treated in Clause 14.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

7.3 Spectral responsivity

In general, the spectral responsivity at short-circuit current conditions of each reference device shall be measured in accordance with IEC 60904-8. For exceptions related to working references, see Clause 14.

7.4 Temperature coefficients

The determination of the temperature coefficient(s) of each reference device in accordance with IEC 60891 is in general optional but depending on usage might be mandatory, and in any case is strongly recommended. If the temperature coefficient(s) are determined, also their linear dependence in accordance with IEC 60904-10 shall be reported. For exceptions related to working references, see Clause 14.

7.5 Linearity

The determination of linearity in accordance with IEC 60904-10 is in general optional but depending on usage might be mandatory, and in any case is strongly recommended. For exceptions related to working references, see Clause 14.

8 Documentation and report

8.1 General

The information given in 8.2 and 8.3 shall be recorded for each reference device.

8.2 Device documentation

The data sheet shall be compiled by the manufacturer of the reference device and contain the following information:

- a) unique identification of the device;
- b) cell manufacturer and device manufacturer;
- c) material type;
- d) type of package;
- e) type and dimension of cell(s);
- f) circuit diagram, in particular of any connectors;
- g) type of temperature sensor (where applicable) and its uncertainty;
- h) shunt resistor type, nominal resistance and temperature coefficient (where applicable).

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

- i) manufacturer of module;
- j) model designation;
- k) serial number;
- l) cell technology;
- m) construction and dimensions of module;
- n) electrical circuit layout;
- o) presence or absence of bypass diodes and if present their number and type.

8.3 Calibration report

Each time a reference device is calibrated, the calibration report shall contain the following information:

- a) unique identification of the device;
- b) indication that the device has a built-in shunt resistor (where applicable);
- c) type (primary reference cell; secondary reference device, working reference device);
- d) calibration organization;
- e) site and date of calibration;
- f) method of calibration (refer to standard);
- g) identification of the reference device used for the calibration and its traceability according to IEC 60904-4;
- h) simulator type and classification (where applicable);
- i) calibration value(s) and corresponding reference conditions (total irradiance, device junction temperature, spectral irradiance); in case of calibration via current-voltage characteristics both short-circuit current and maximum power shall be reported, the open-circuit voltage should also be reported;
- j) spectral responsivity (where applicable);
- k) temperature coefficient of calibration value(s) as well as linear dependence (where applicable);
- l) linearity (where applicable);
- m) uncertainties for items i), j), k) and l);
- n) either the spectral mismatch correction value used in the measurement or an estimate of the uncertainty introduced by using an equivalent device;
- o) statement that measurements originate from an equivalent device and an identification of which measurements these are (where applicable);
- p) unique identification of the equivalent device(s) (where applicable).

For reference cells without fixed electrical connection to the cell, the following information shall be provided:

- q) illustration of type, shape and location of electrical contacts during calibration.

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

Reference cells used for measurements in solar 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° . In case of a protective window the optical properties of the latter have to be considered in determining the effective field of view of the photovoltaic cell. The field of view is particularly important for measurements under natural sunlight, whereas for usage on solar simulators with a limited range of angles of incidence, it is less critical.
- b) All surfaces in the package within the cell's field of view should be non-reflective, with a spectral absorptance 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 device under test, provided that the other recommendations 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 [3] or the World Photovoltaic Scale [4].

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 Usage of reference devices

Reference devices shall only be used at irradiances (± 10 %) and temperatures (± 5 °C) at which they were calibrated. For the ranges given, use of a simple correction according to established procedures provided in IEC 60891 with generic correction coefficients is acceptable, as long as the additional uncertainties introduced are taken into account.

The usage of reference devices outside the ranges given above requires the following in addition to the single calibration at one reference condition (normally STC):

- a) a separate calibration for each desired reference condition it is to be used at; or
- b) if to be used over a wider temperature range: a determination of the relevant temperature coefficient(s) according to IEC 60891 (and their linear dependence according to IEC 60904-10) and appropriate corrections for differences between the temperatures during usage and the calibration temperature; and/or
- c) if to be used over a wider irradiance range: a determination of the linearity (output versus irradiance) over the relevant irradiance range according to IEC 60904-10 and appropriate corrections for differences between the irradiance during usage and the calibration irradiance.

The reference device can be used in the ranges of conditions mentioned above around the additional reference conditions with a). Alternatively, it can be used with the calibration value of the original reference condition over a wider temperature range with b) or a wider irradiance range with c). If a usage over wider temperature and irradiance ranges is desired, b) and c) are both required.

13 Calibration of secondary reference devices against a primary reference cell

13.1 General

This Clause 13 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 procedure described is an example and other calibration procedures are acceptable as long as they meet the requirements of 7.1. In any case, the spectral mismatch between the primary reference cell and that of the secondary reference device under the irradiance used for the calibration shall be determined according to IEC 60904-7.

The primary reference cell is calibrated such that its output (short-circuit current or voltage across a built-in shunt resistor in case of shunted cell) can be used to determine the irradiance of the natural or simulated sunlight. The calibration value(s) of the secondary reference device can be determined by measuring:

- a) its output (short-circuit current or voltage across a built-in shunt resistor in case of a shunted device). This is the most common calibration if the secondary reference device is a cell;
- b) its current-voltage characteristics according to IEC 60904-1. This permits the calibration of the maximum power and of the short-circuit current. This is the most common calibration if the secondary reference device is a module.

For secondary reference devices with built-in shunt resistor only a) is applicable, as b) is not possible. For secondary reference devices without built-in shunt resistor, the choice of calibration depends on the intended use. For guidance on the use of short-circuit current or maximum power of a reference device refer to IEC TR 60904-14 [5].

The procedure can be applied using both natural and simulated sunlight according to the requirements in IEC 60904-1 with the restrictions given in 13.2 and 13.3.

13.2 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. For determining the contribution of diffuse irradiance, see IEC 60904-4;
- b) no observable cloud formations within 30° of the sun;
- c) total irradiance (sun + sky + ground reflection) not less than 800 W m⁻², as measured by the primary reference cell;
- d) geometric air mass between AM1 and AM2;
- e) radiation sufficiently stable so that the variation in reference cell output signal is less than ±0,5 % over the time taken for a measurement.

13.3 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 solar simulator shall be of Class AAA or better in accordance with IEC 60904-9 with the additional requirement that the non-uniformity of irradiance is less than ±1 % within the surface that includes the device to be calibrated and the primary reference device. For 13.1 a) the requirement of Class A with respect to temporal instability as defined in IEC 60904-9 need 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 spatial non-uniformity of less than ±1 % cannot be met for calibrating reference modules made from a series connection of cells, the solar simulator shall be class A for spatial non-uniformity and a detailed uncertainty analysis shall be provided.

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 solar simulator shall be of Class AAA in accordance with IEC 60904-9 with the additional requirement that the LTI of irradiance is less than ±1 %, where the LTI is with respect to the total time period needed for the measurements. A pulsed solar simulator can also be suitable if the repeatability of each pulse is better than 1 %.

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

13.4 Test procedure

13.4.1 Adjust the mount so that the devices are normal to the light source within ±5°:

- a) mount the primary reference cell and the secondary reference device co-planar within ±2° and in close proximity on the same mount (for simultaneous measurement), or
- b) mount the primary reference cell in the designated position (for consecutive measurement).

13.4.2 Control the cell temperature of both the primary reference cell to the temperature at which it was calibrated (normally (25 ± 2) °C) and the secondary reference device to the desired temperature for calibration (also normally (25 ± 2) °C). Where this is not practical, readings of output signal shall be subsequently corrected to the respective temperatures in accordance with IEC 60891.

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

13.4.4 Record simultaneous readings of:

- a) the output signal and temperature of the primary reference cell (for consecutive measurement) (only for measurements under simulated sunlight), or
- b) the output signal and temperature of both primary reference cell and secondary reference device (for simultaneous measurement and calibration according to 13.1 a)), or
- c) the output signal and temperature of primary reference cell as well as temperature and current-voltage characteristics of secondary reference device (for simultaneous measurement and calibration according to 13.1 b)).

13.4.5 Repeat step 13.4.4 a) or b) until at least five, or 13.4.4 c) until at least three successive sets of readings are obtained in which:

- for consecutive measurement: the output signals for the primary reference cell (corrected to the temperature at which it was calibrated (normally 25 ± 2 °C)) do not vary by more than $\pm 0,5$ %; then remove the primary reference cell and mount the secondary reference device in the same position and
 - a) repeat step 13.4.4 a) with the same constraints as for the primary reference cell (for calibration according to 13.1 a)), or
 - b) record temperature and current-voltage characteristics of secondary reference device (calibration according to 13.1 b));
- for simultaneous measurement: the ratio of the output signals (corrected for temperature and for spectral mismatch as required) does not vary by more than $\pm 0,5$ %.

13.4.6 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 13.4.4 and 13.4.5.

13.4.7 From the acceptable data, calculate the ratio of the output of the secondary reference device to the output of the primary reference cell.

13.4.8 To obtain the calibration value of the secondary reference device:

For calibration according to 13.1 a): multiply the calibration value of the primary reference cell by the calculated:

- a) ratio of the means of the output signals from secondary reference device to primary reference cell (for consecutive measurement), or
- b) mean of the ratios of output signals from secondary reference device to primary reference cell (for simultaneous measurement).

The output signals shall be corrected for amplification factors of measurement electronics.

For calibration according to 13.1 b): determine the current-voltage characteristics at the desired reference conditions according to IEC 60891 based on the irradiance measured with the primary reference cell; then determine the maximum power and the short-circuit current as well as the open-circuit voltage from each measured current-voltage characteristic according to IEC 60904-1 (for consecutive and simultaneous measurement). The calibration values are determined as the average of the respective parameters from all measured current-voltage characteristics.

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 shall be reported and their geometric average shall be used as the calibration value.

13.5 Additional measurements

13.5.1 Spectral responsivity

Measure the spectral responsivity of the secondary reference device, using the procedures specified in IEC 60904-8.

13.5.2 Temperature coefficient(s)

If required, measure the temperature coefficient(s) of short-circuit current and/or maximum power of the secondary reference device, using the procedures specified in IEC 60891.

13.5.3 Linearity

If required, measure the linearity of the secondary reference device output, using the procedures specified in IEC 60904-10.

14 Calibration of working reference device against a secondary reference device

For calibration of a working reference device against secondary reference device the above procedure (Clause 13) or other calibration procedures that meet the requirements in this document and in particular those of 7.1 may be applied. If the secondary reference has been calibrated according to 13.1 b) then its maximum power can be used as reference value. For guidance on the use of short-circuit current or maximum power of a reference device, refer to IEC TR 60904-14 [5].

Sometimes it is not required or possible (technically or economically) to perform all measurements on every single working reference device. Therefore, in some cases measurements can be made on equivalent devices as detailed below. For two devices to be equivalent, they shall be constructed using the same cell technology and encapsulation package. This includes the glass (type, thickness, texturing, and spectral transmission), anti-reflective coatings, encapsulant, and back sheet (type, colour, and spectral back-reflection).

The measurement of the calibration value(s) at all desired reference conditions shall be performed on every single working reference device.

The measurement of the spectral responsivity of the working reference device and the spectral mismatch correction can be omitted when the secondary reference and working reference are equivalent devices. The measurement of the spectral responsivity of the working reference device can also be omitted if the spectral responsivity of a device equivalent to the working reference device is used for spectral mismatch correction. In both cases additional contributions to uncertainty shall be considered explicitly.

The measurement of the temperature coefficient(s) of the working reference device can be omitted when the respective temperature coefficient(s) of an equivalent device is/are available.

The measurement of the linearity of the working reference device can be omitted when the respective linearity of an equivalent device is available and the calibration values of the two equivalent devices do not differ by more than 5 %.

When parameters (spectral responsivity, temperature coefficient(s) and linearity) determined on an equivalent device are used, specific additional contributions to measurement uncertainty shall be considered explicitly. An example is the usage of the spectral responsivity of the working reference device for spectral mismatch correction of a measurement of another PV device against the working reference device.

The report shall state clearly which measurements were made on the working reference device and which originate from an equivalent device. The equivalent devices shall be identified.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2023

Bibliography

- [1] IEC 61215 (all parts), *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*
- [2] IEC 61853-1, *Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating*
- [3] JIS C8910, *Primary reference solar cells*
- [4] C.R. Osterwald et al., "The World Photovoltaic Scale: an international reference cell calibration program", *Progress in Photovoltaics Research and Applications*, vol. 7, pp. 287-297, 1999
- [5] IEC TR 60904-14, *Photovoltaic devices – Part 14: Guidelines for production line measurements of single-junction PV module maximum power output and reporting at standard test conditions*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-2:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Termes et définitions	24
4 Sélection des dispositifs de référence	26
4.1 Exigences générales	26
4.2 Exigences supplémentaires pour une cellule de référence unique dans un boîtier multicellule	26
4.3 Exigences supplémentaires pour les modules de référence	27
4.4 Exigences pour les résistances de shunt intégrées	27
5 Mesurage de la température	28
6 Connexions électriques	28
7 Étalonnage	28
7.1 Exigences générales	28
7.2 Valeur(s) d'étalonnage	29
7.3 Sensibilité spectrale	29
7.4 Coefficients de température	29
7.5 Linéarité	29
8 Documentation et rapport	29
8.1 Généralités	29
8.2 Documentation du dispositif	30
8.3 Rapport d'étalonnage	30
9 Marquage	31
10 Conditionnement	31
10.1 Conditionnement recommandé pour l'utilisation en éclairage solaire naturel	31
10.2 Conditionnement recommandé pour l'utilisation avec simulateurs solaires	31
10.3 Boîtier pour cellule individuelle	31
11 Précautions relatives aux dispositifs de référence	32
12 Utilisation des dispositifs de référence	32
13 Étalonnage des dispositifs secondaires de référence par rapport à une cellule primaire de référence	33
13.1 Généralités	33
13.2 Éclairage solaire naturel	33
13.3 Éclairage solaire simulé	34
13.4 Procédure d'essai	34
13.5 Mesurages supplémentaires	36
13.5.1 Sensibilité spectrale	36
13.5.2 Coefficient(s) de température	36
13.5.3 Linéarité	36
14 Étalonnage du dispositif de travail de référence par rapport à un dispositif secondaire de référence	36
Bibliographie	38
Figure 1 – Boîtier d'une cellule individuelle	25
Figure 2 – Cellule de référence unique dans un boîtier multicellule	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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.

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

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2015. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) ajout de procédures d'étalonnage des dispositifs PV à la puissance maximale en développant les Articles 12 et 13) correspondants;

- b) révision des exigences applicables au mesurage obligatoire de la sensibilité spectrale, des coefficients de température et de la linéarité, en fonction de l'usage et en permettant certains mesurages sur des dispositifs équivalents;
- c) révision des exigences applicables aux résistances de shunt intégrées;
- d) ajout d'exigences pour la traçabilité de l'étalonnage de manière explicite.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
82/2127/FDIS	82/2151/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les directives ISO/IEC, Partie 1 et les directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

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 ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

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.

Le présent document s'applique aux dispositifs photovoltaïques (PV) de référence utilisés pour mesurer l'irradiance de la lumière solaire naturelle ou simulée afin de quantifier les performances électriques des dispositifs PV (cellules, modules et panneaux). Il ne couvre pas les dispositifs photovoltaïques de référence pour une utilisation sous éclairage solaire concentré.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. 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: Mesurage 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 énergétique spectral de référence*

IEC 60904-4, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 4: Dispositifs photovoltaïques 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: Classification des caractéristiques des simulateurs solaires*

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

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

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.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1

traçabilité de l'étalonnage

<d'un dispositif PV de référence> exigence, pour tout dispositif PV de référence, de lier sa valeur d'étalonnage en unités SI dans une chaîne ininterrompue et documentée de transferts d'étalonnage comprenant les incertitudes établies

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

[SOURCE IEC 60904-4:2019, 3.6, modifié – Le terme "traçabilité" a été remplacé par "traçabilité de l'étalonnage" et la Note 1 à l'article a été remplacée.]

3.2

dispositif de référence

dispositif photovoltaïque étalonné de manière traçable

Note 1 à l'article: Il est généralement utilisé pour mesurer l'irradiance solaire naturelle ou simulée ou pour régler les niveaux d'irradiance du simulateur solaire pour mesurer les performances d'autres dispositifs photovoltaïques.

3.3

dispositif primaire de référence

dispositif photovoltaïque de référence dont l'étalonnage est fondé sur un étalon secondaire pour l'irradiance traçable en unités SI, tel qu'il est défini dans l'IEC 60904-4

Note 1 à l'article: Généralement, une cellule PV est utilisée comme dispositif de référence pour le mesurage de l'irradiance solaire naturelle ou simulée.

Note 2 à l'article: Les références primaires sont généralement utilisées par les laboratoires d'étalonnage et d'essai pour étalonner des références secondaires.

Note 3 à l'article: Le dispositif de travail de référence est en principe étalonné périodiquement.

3.4

dispositif secondaire de référence

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

Note 1 à l'article: Les références secondaires sont généralement utilisées par les laboratoires d'étalonnage et d'essai pour étalonner des références de travail ainsi que pour effectuer des mesurages de routine quotidiens, dans la production industrielle et pendant les travaux de surveillance.

Note 2 à l'article: Le dispositif de travail de référence est en principe étalonné périodiquement.

3.5

dispositif de travail de référence

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

Note 1 à l'article: Les références de travail sont généralement utilisées pour les mesurages de routine quotidiens, dans la production industrielle et pendant les travaux de surveillance.

Note 2 à l'article: Le dispositif de travail de référence est en principe étalonné périodiquement.

3.6

cellule de référence

dispositif de référence constitué d'une seule cellule photovoltaïque

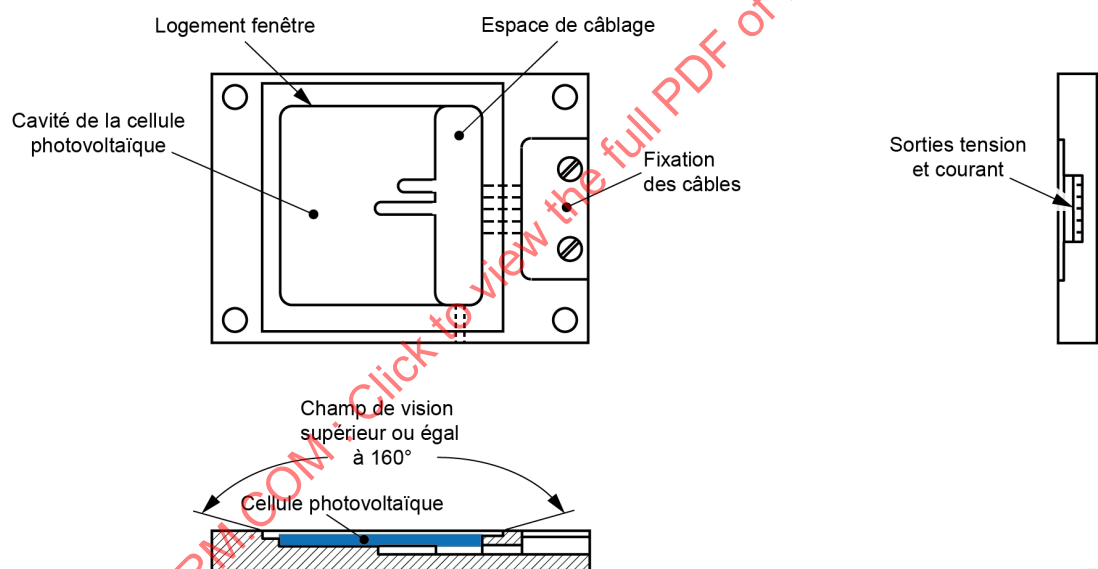
Note 1 à l'article: Pour des raisons pratiques, de telles cellules ont de petites surfaces, et sont généralement montées sur un support qui assure la reproductibilité du montage, de la commande thermique des connexions électriques, ainsi que la protection du dispositif. Un exemple type est esquissé à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

Note 2 à l'article: En règle générale, les cellules de référence sont également équipées d'une fenêtre de protection et sont intégrées dans un encapsulant.

Note 3 à l'article: Utilisation recommandée: comme référence primaire, secondaire ou de travail en laboratoire.

Note 4 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 la série IEC 61215 [1], de telles cellules de référence peuvent aussi convenir pour être utilisées comme dispositifs de surveillance pour une évaluation à long terme du fonctionnement de groupes photovoltaïques.

Note 5 à l'article: Lorsque la cellule de référence est équipée d'une fenêtre de protection, mais sans encapsulant, il convient de ne l'utiliser que pour mesurer les performances d'autres dispositifs PV en utilisant un faisceau direct de l'éclairement solaire naturel ou simulé.



IEC

Figure 1 – Boîtier d'une cellule individuelle

3.7

cellule de référence unique dans un boîtier multicellule

dispositif de référence constitué d'une cellule photovoltaïque unique montée dans un boîtier de sorte 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 PV à soumettre à l'essai

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

3.8

module de référence

dispositif de référence constitué d'un module photovoltaïque

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 réduire le plus possible les divergences dues à la non-uniformité spatiale du

simulateur solaire, aux réflexions internes, à la distribution de la température et à la désadaptation des réponses spectrales.

Note 2 à l'article: Étant donné que la composante diffuse de l'éclairement solaire naturel et le rayon incident non perpendiculaire de l'éclairement solaire simulé entrent en interaction avec les encapsulants et les feuilles arrière d'un module PV et influencent la quantité d'irradiance que reçoit une cellule particulière, il est recommandé que les dispositifs de référence utilisés pour mesurer les modules PV, les sous-ensembles de modules PV et les groupes PV soient encapsulés de manière à avoir les caractéristiques mécaniques et optiques du dispositif en essai.

3.9

résistance de shunt intégrée

résistance connectée aux bornes de sortie de dispositifs photovoltaïques y compris le câblage de connexion

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 une condition de court-circuit.

Note 2 à l'article: Pour des informations détaillées, se référer au 4.4.

4 Sélection des dispositifs de référence

4.1 Exigences générales

Suivant leur utilisation prévue, il est nécessaire que les dispositifs de référence satisfassent à des exigences différentes en matière de sensibilité spectrale, de construction mécanique, de propriétés optiques, de dimensions et de circuit électrique. La sensibilité spectrale du dispositif de référence, par exemple, est déterminée par la transmission d'une fenêtre de protection quelconque située devant le dispositif et par la sensibilité spectrale du dispositif lui-même. La sensibilité spectrale globale peut donc être adaptée en utilisant des filtres appropriés en tant que fenêtre de protection ou s'ajoutant à celle-ci.

Il convient de fabriquer les dispositifs de référence en utilisant une technologie PV dont la stabilité dans le temps est connue. En particulier, il convient que la valeur de l'étalonnage ne change pas après l'exposition du dispositif de référence à l'irradiation solaire, à des températures du dispositif différentes de sa température d'étalonnage et/ou à un stockage prolongé dans l'obscurité. Les caractéristiques photovoltaïques d'un dispositif de référence doivent être stables conformément aux exigences de l'Article 11.

Le dispositif de référence doit être construit de façon à pouvoir mesurer les paramètres photovoltaïques de performance, en particulier le courant de court-circuit et la puissance maximale. Les dispositifs équipés de résistances de shunt intégrées constituent la seule exception (voir 4.4).

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. Pour d'autres montages de cellules, tels que les demi cellules, une configuration analogue s'applique.

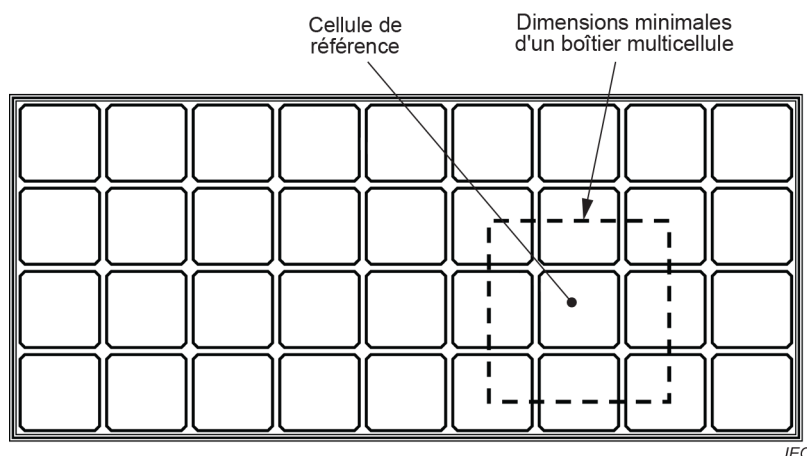


Figure 2 – Cellule de référence unique dans un boîtier multicellule

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 plage de types de modules et de configurations ne comportent pas de diodes de dérivation. La présence ou l'absence de diodes de dérivation doit être notée et prise en considération conjointement avec les conditions de mesure, en particulier la non-uniformité spatiale de l'irradiance sur le module pendant les mesurages;
- 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, il convient d'adapter celles-ci comme suit, selon l'utilisation prévue du module de référence:

- lorsque seul le courant de court-circuit du module de référence est utilisé, il convient d'adapter le courant de court-circuit des cellules individuelles à ± 1 % près;
- lorsque d'autres paramètres (tels que la puissance maximale) sont utilisés en plus ou exclusivement, il convient d'adapter à la fois le courant de court-circuit et le facteur de remplissage des cellules individuelles à ± 1 % près.

L'adaptation des cellules individuelles incombe au 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, lorsque des courbes $I-V$ du module de référence indiquent une réponse incohérente (c'est-à-dire si la courbe $I-V$ comporte manifestement des échelons), il convient que le laboratoire d'étalonnage et le client qui fournit le module examinent ce problème avant de procéder à l'étalonnage.

4.4 Exigences pour les résistances de shunt intégrées

Il convient de choisir la résistance de shunt intégrée (voir 3.9) de façon que le dispositif de référence fonctionne suffisamment près de la condition de court-circuit, en satisfaisant à l'exigence de la formule (1):

$$R_{\text{CAL}} < \frac{0,2 \times V_{\text{OC}}}{I_{\text{SC}}} \quad (1)$$

où

R_{CAL} est la résistance de shunt intégrée;

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

V_{OC} est la tension en circuit ouvert du dispositif de référence dans des conditions de référence souhaitées.

La stabilité à long terme de la résistance de shunt intégrée 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 intégrée et indiquées avec la dimension [V]. 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. Étant donné que l'incertitude d'étalonnage peut dépendre fortement de la stabilité de la résistance de shunt intégrée et du coefficient de température, il convient de fournir les valeurs respectives avec la fiche technique de la cellule de référence.

Il est recommandé que la résistance de shunt soit une résistance amovible à 4 bornes pour permettre des mesurages (du courant) normalisés de la sensibilité spectrale et un contrôle périodique de la stabilité du dispositif de référence en mesurant une courbe I - V conformément à l'IEC 60904-1. Toutefois, la reproductibilité de la connexion électrique doit être maintenue.

Il convient que la formule (1) signifie que la tension de sortie mesurée d'une cellule de référence shuntée est inférieure à 20 % de sa tension en circuit ouvert. Pour du silicium cristallin type, ceci équivaut à une sortie d'environ 120 mV.

5 Mesurage 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. Les capteurs de température et les instruments doivent avoir une incertitude de mesure instrumentale d'au plus 1 °C. L'incertitude exigée pour les mesurages de température de la jonction des cellules doit être inférieure à 2,0 °C pour tous les dispositifs de référence.

6 Connexions électriques

Les connexions électriques aux cellules de référence sans résistance de shunt intégrée doivent être constituées d'un système à contact à quatre bornes (montage de Kelvin). Les erreurs de mesure dues aux chutes de tension aux bornes de raccordement de la cellule et du câblage du boîtier doivent être évitées.

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

7 Étalonnage

7.1 Exigences générales

Chaque dispositif de référence doit être étalonné à l'aide d'une procédure d'étalonnage traçable selon l'IEC 60904-4. Tout appareil de mesure utilisé dans la procédure d'étalonnage doit être un appareil dont la chaîne de traçabilité est ininterrompue.

Le laboratoire qui réalise l'étalonnage du dispositif de référence doit consigner une analyse d'incertitude documentée ainsi que la répétabilité documentée et les résultats des comparaisons interlaboratoires.

7.2 Valeur(s) d'étalonnage

Chaque dispositif de référence doit être étalonné en fonction de valeur(s) d'étalonnage aux conditions de référence souhaitées. Les valeurs d'étalonnage doivent être consignées avec les trois principaux paramètres que sont l'irradiance totale, la température de jonction du dispositif et l'irradiance spectrale. Les conditions d'étalonnage les plus courantes sont les conditions normalisées d'essai (STC – *Standard Test Conditions*). Un étalonnage conforme aux STC doit se référer à une irradiance totale de $1\,000\text{ W m}^{-2}$, à une température de jonction du dispositif de 25 °C et à la distribution d'irradiance spectrale de référence telle que définie dans l'IEC 60904-3. L'étalonnage est parfois exigé dans d'autres conditions. Un dispositif de référence peut avoir plusieurs valeurs d'étalonnage pour différentes conditions de référence souhaitées. En particulier, l'IEC 61853-1 [2]¹ exige l'utilisation d'un dispositif de référence dans une plage d'irradiances et de températures, et donc la réalisation de l'étalonnage dans les conditions correspondantes.

Des méthodes d'étalonnage des dispositifs primaires de référence sont incluses dans l'IEC 60904-4. Une procédure d'étalonnage des dispositifs secondaires de référence est décrite à l'Article 13. L'étalonnage des dispositifs de travail de référence est traité dans l'Article 14.

7.3 Sensibilité spectrale

En règle générale, la sensibilité spectrale dans des conditions de courant de court-circuit de chaque dispositif de référence doit être mesurée conformément à l'IEC 60904-8. Pour les exceptions relatives aux références de travail, voir l'Article 14.

7.4 Coefficients de température

La détermination du ou des coefficients de température de chaque dispositif de référence conformément à l'IEC 60891 est en général facultative; toutefois selon l'utilisation, elle peut être obligatoire et, dans tous les cas, elle est fortement recommandée. Lorsque le ou les coefficients de température sont déterminés, leur dépendance linéaire conformément à l'IEC 60904-10 doit également être consignée. Pour les exceptions relatives aux références de travail, voir l'Article 14.

7.5 Linéarité

La détermination de la linéarité conformément à l'IEC 60904-10 est en général facultative; toutefois selon l'utilisation, elle peut être obligatoire et, dans tous les cas, elle est fortement recommandée. Pour les exceptions relatives aux références de travail, voir l'Article 14.

8 Documentation et rapport

8.1 Généralités

Les informations données en 8.2 et 8.3 doivent être consignées pour chaque dispositif de référence.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie

8.2 Documentation du dispositif

La fiche technique doit être établie par le fabricant du dispositif de référence et contenir les informations suivantes:

- a) identification unique du dispositif;
- b) fabricant de la cellule et fabricant du dispositif;
- c) type de matériau;
- d) type de boîtier;
- e) type et dimensions de la ou des cellules;
- f) schéma de circuit, en particulier de tout connecteur;
- g) type de capteur de température (le cas échéant) et son incertitude;
- h) type de résistance de shunt, valeur nominale de la résistance et coefficient de température (le cas échéant).

Pour les modules de référence, les informations suivantes doivent être indiquées en plus:

- i) fabricant du module;
- j) désignation du modèle;
- k) numéro de série;
- l) technologie de cellule;
- m) construction et dimensions du module;
- n) implantation du circuit électrique;
- o) présence ou absence de diodes de dérivation et, si elles sont présentes, leur nombre et leur type.

8.3 Rapport d'étalonnage

Chaque fois qu'un dispositif de référence est étalonné, le rapport d'étalonnage doit contenir les informations suivantes:

- a) identification unique du dispositif;
- b) indication selon laquelle le dispositif a une résistance de shunt intégrée (le cas échéant);
- c) type (cellule primaire de référence, dispositif secondaire de référence, dispositif de travail de référence);
- d) organisme qui a effectué l'étalonnage;
- e) lieu et date d'étalonnage;
- f) méthode d'étalonnage (référence à la norme);
- g) identification du dispositif de référence utilisé pour l'étalonnage et sa traçabilité selon l'IEC 60904-4;
- h) type de simulateur et classification (le cas échéant);
- i) valeur(s) d'étalonnage et conditions de référence correspondantes (irradiance totale, température de jonction du dispositif, irradiance spectrale). En cas d'étalonnage selon les caractéristiques courant-tension, le courant de circuit et la puissance maximale doivent être consignés. Il convient également de consigner la tension en circuit ouvert;
- j) sensibilité spectrale (le cas échéant);
- k) coefficient de température de la ou des valeurs d'étalonnage ainsi que leur dépendance linéaire (le cas échéant);
- l) linéarité (le cas échéant);
- m) incertitudes relatives aux points i), j), k) et l);

- n) soit la valeur de correction de désadaptation des réponses spectrales utilisée dans le mesurage, soit une estimation de l'incertitude introduite en utilisant un dispositif équivalent;
- o) déclaration qui indique que les mesurages proviennent d'un dispositif équivalent et une identification des mesurages en question (le cas échéant);
- p) identification unique du ou des dispositifs équivalents (le cas échéant).

Pour les cellules de référence sans connexion électrique fixe à la cellule, les informations suivantes doivent être indiquées:

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

9 Marquage

Le dispositif de référence doit porter un numéro de série ou d'identification clair et indélébile pour référence à la fiche technique correspondante.

10 Conditionnement

10.1 Conditionnement recommandé pour l'utilisation en éclairage solaire naturel

Il convient que le dispositif de référence utilisé pour le mesurage en éclairage solaire naturel ait la même réponse face à la distribution géométrique du rayonnement incident que le dispositif en essai (cellules, sous-ensembles de cellules, modules). Étant donné que les encapsulants et les feuilles arrière répondent à une composante diffuse de l'éclairage solaire naturel, il est recommandé que les cellules de référence utilisées pour mesurer les modules soient incluses dans un boîtier multicellule (voir Figure 2) qui simule les paramètres optiques voisins d'un module.

Dans ce cas, le châssis, le système d'encapsulation, la forme, les dimensions et l'espacement des cellules qui entourent la cellule de référence doivent être les mêmes que dans le module à soumettre à l'essai. Les cellules environnantes peuvent être des cellules réelles ou factices qui ont les mêmes propriétés optiques. La ligne en pointillés de la Figure 2 indique les dimensions minimales acceptables du boîtier multicellule pour un essai en extérieur.

10.2 Conditionnement recommandé pour l'utilisation avec simulateurs solaires

Dans certains simulateurs solaires qui permettent des réflexions multiples de lumière en direction ou en provenance du dispositif en essai, l'irradiance dans le plan d'essai peut être différente selon que le dispositif en essai est présent ou non. Aussi, afin de mesurer avec exactitude l'irradiance lorsque le dispositif en essai est en place, il convient de conditionner les dispositifs de référence utilisés dans ces simulateurs solaires de la même manière que le dispositif en essai, de façon que les modifications d'irradiance dues à des réflexions multiples soient les mêmes pour le dispositif de référence et le dispositif en essai.

Les cellules de référence utilisées pour les mesurages dans des simulateurs solaires conçus pour réduire le plus possible les erreurs dues à une réflexion multiple de la lumière peuvent être placées sous boîtier individuel ou, lorsqu'elles ne sont pas prévues pour une utilisation au quotidien peuvent être montées dans l'état non conditionné sur un bloc régulé en température.

En variante, les exigences données pour les cellules de référence utilisées en éclairage solaire naturel peuvent être suivies.

10.3 Boîtier pour cellule individuelle

Dans le cas où un boîtier pour cellule individuelle est utilisé, les recommandations suivantes sont émises: