IEC 60904-1-1

Edition 1.0 2017-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

Photovoltaic devices –
Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices

Dispositifs photovoltaïques –
Partie 1-1: Mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions

IEC 60904-1-1:2017-05(en-fr)

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2017 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 Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

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 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary
65 000 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 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary
65 000 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.

IEC 60904-1-1

Edition 1.0 2017-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

Photovoltaic devices –
Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices

Dispositifs photovoltaïques –
Partie 1-1: Mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-4338-1

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 3
1 Scope 5
2 Normative references 5
3 Terms and definitions 6
4 General considerations 6
5 General measurement requirements 7
6 Apparatus 7
6.1 General requirements for irradiance 7
6.1.1 General 7
6.1.2 Solar simulator with adjustable spectral irradiance 8
6.1.3 Solar simulator with fixed spectral irradiance 8
6.1.4 Natural sunlight 8
6.2 Reference devices 8
7 Measurement conditions 9
7.1 General considerations 9
7.2 Parameters 9
7.3 Measurement conditions 10
8 Measurement of current-voltage characteristics 11
8.1 Measurement with adjustable spectral irradiance 11
8.2 Measurement with fixed spectral irradiance and natural sunlight 11
9 Data analysis 11
10 Report 12
Bibliography 13

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

International Standard IEC 60904-1-1 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

FDIS	Report on voting
82/1254/FDIS	82/1272/RVD

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

This document 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "http://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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices

1 Scope

This part of IEC 60904 describes procedures for the measurement of the current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic devices in natural or simulated sunlight. It is applicable to single PV cells, sub-assemblies of such cells or entire PV modules. It is principally intended for non-concentrating devices, but parts may be applicable also to concentrating multi-junction PV devices. An essential prerequisite is the spectral responsivity of the multi-junction devices, whose measurement is covered by IEC 60904-8-1.

The requirements for measurement of current-voltage characteristics of single-junction PV devices are covered by IEC 60904-1 whereas this document describes the additional requirements for the measurement of current-voltage characteristics of multi-junction PV devices.

This document may be applicable to PV devices designed for use under concentrated irradiation if they are measured without the optics for concentration and irradiated using direct normal irradiance and a mismatch correction with respect to a direct normal reference spectral irradiance distribution is performed. The reference spectral irradiance distribution is provided in IEC 60904-3

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 60904-2, *Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices*

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 60904-7, *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*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

IEC 60904-8-1, *Photovoltaic devices – Part 8-1: Measurement of spectral responsivity of multi-junction photovoltaic (PV) devices*

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

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 terminological databases for use in standardization at the following addresses:

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

3.1
current limiting junction
junction in a multi-junction photovoltaic device in which under given illumination conditions the lowest photovoltaic current is generated

4 General considerations

The procedure for measurement of the current-voltage characteristics of single-junction PV devices is described in detail in IEC 60904-1. The procedure for measurement of the current-voltage characteristics of a multi-junction PV device is based on the same basic principles, but requires some additional elements, which are described herein.

This document describes the additional considerations, requirements and procedures for the measurement of the current-voltage characteristics of multi-junction PV devices based on the measurement principles of single-junction PV devices.

Therefore, the provisions in IEC 60904-1 are also valid for the measurement of multi-junction PV devices except where explicitly amended by this document.

Multi-junction PV devices consist of two or more series-connected junctions. In general it is only possible to determine the current-voltage characteristics of the entire device. However, it may be useful to quantify the photovoltaic current associated with each individual junction and excessive variation of current with voltage in the current-voltage characteristics between the short-circuit and maximum-power point that may indicate shunting of each junction. To understand the performance of a multi-junction device under different spectra it is helpful to characterize each junction within it.

Luminescent coupling may be present and influence the measurements. For example, light emitted from a GaInP cell may be absorbed and generate photovoltaic current in an underlying GaAs junction. Similarly, a photon emitted by a GaAs cell may be absorbed and generate photovoltaic current in an underlying Ge junction. For relatively high efficiency cells, the coupling between the cells in this way can cause non-negligible changes in measured current under some conditions. For details see bibliography.

For multi-junction PV devices which provide separate connections to each junction, the measurement of current-voltage characteristics of each single-junction is possible and follows the procedure for single-junction devices (IEC 60904-1) using the appropriate connections.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

5 General measurement requirements

The general requirements for the measurement of current-voltage characteristics of multi-junction PV devices are identical to those for single-junction devices given in IEC 60904-1.

Due to the series-connection of the junctions in a multi-junction device the measured current-voltage characteristics are a complex function of the photovoltaic currents generated in each of the junctions. Therefore the measurement conditions for multi-junction devices should strive to generate photovoltaic currents in each junction similar to those which would be generated in that junction under the reference spectral irradiance distribution. In general this can be achieved with a test spectral irradiance distribution close to the reference spectral irradiance distribution such as provided by natural sunlight under suitable conditions or with a solar simulator whose spectral irradiance is adjustable. However, measurement conditions will never be perfect and deviate from the reference conditions. This document sets limits to the permissible deviations for obtaining valid measurements. Smaller deviations are preferable, but may not be achievable in all cases. In any case the deviations of the measurement conditions from the reference conditions shall be accounted for in the analysis of measurement uncertainty.

The junction with the lowest generated photovoltaic current is referred to as the current-limiting junction. In any case the measurement conditions should be chosen such that the current-limiting junction under the test spectral irradiance distribution is the same as the one under the reference spectral irradiance distribution.

Additionally, but optionally, for a more complete characterization of the multi-junction device, measurements can be taken with each junction serving as the current-limiting junction. The resulting I-V curves are used to identify the photovoltaic current and effective shunting of that junction. For details see bibliography (Meusel *et al.*, 2002).

For these additional optional measurements a simulator with an adjustable spectral irradiance distribution is preferable. However, natural sunlight is in principle also suitable (using the variation of the spectral irradiance with air mass), but might be impracticable.

6 Apparatus

6.1 General requirements for irradiance

6.1.1 General

Solar simulators used to measure multi-junction devices shall be class AAA according to IEC 60904-9. For measurements made using natural sunlight the conditions should fulfil the same requirements. The spectral responsivity of the multi-junction devices might cover a wider wavelength range than that defined in IEC 60904-9 for determination of spectral match classification of the solar simulator. In that case add additional wavelength bands of 200 nm each until the entire wavelength range of spectral responsivity of the multi-junction device is covered. The simulator should fulfil for all wavelength bands the respective criterion for class A for spectral match as defined in IEC 60904-9.

The relative spectral irradiance of the test spectral irradiance distribution shall be measured with a spectroradiometer over the entire wavelength range of spectral responsivity of the multi-junction device. For measurements under natural sunlight the spectral irradiance shall be measured simultaneously with the measurements of the current-voltage characteristics of the test device. For simulated sunlight the spectral irradiance may also be measured before or after the measurement of the current-voltage characteristics. In this case the stability in time of the spectral irradiance of the simulated sunlight shall be considered in the uncertainty analysis. For pulsed solar simulators not only the repeatability from pulse to pulse, but also the stability of the spectral irradiance during a pulse and the spatial uniformity of spectral irradiance over the test plane shall be considered.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

6.1.2 Solar simulator with adjustable spectral irradiance

A solar simulator with adjustable spectral irradiance is preferred for the measurements of multi-junction devices. Such simulators are normally multi-source simulators or equipped with variable optical filters. In a multi-source simulator there should be at least one source for each junction in the multi-junction PV device, contributing mainly in the wavelength range where the respective junction responds. Alternatively, for simulators with a smaller number of sources (including single-source), the spectral irradiance can be changed by placing appropriate optical filters between the light source and the device under test. It might also be possible to vary the spectral irradiance by setting different power levels of single-source simulators.

6.1.3 Solar simulator with fixed spectral irradiance

Single-source solar simulators normally have a fixed spectral irradiance, but their total irradiance intensity can often be varied. However, the spectral irradiance might change with total irradiance intensity; therefore the former should be determined under settings identical to those used for the current-voltage measurement. Such simulators are only suitable for the measurement of multi-junction devices if they fulfil the requirements of 7.3.

6.1.4 Natural sunlight

Natural sunlight offers a restricted range of total and spectral irradiance. Variations depend on air mass and atmospheric conditions occurring either at different times during one day or at days in different seasons. However, in practical terms it will be difficult to systematically use these variations for the measurements. Nevertheless, natural sunlight under suitable conditions offers a spectral irradiance distribution closely matching the reference spectral irradiance distribution. When the requirements of 7.3 are met, natural sunlight is suitable for the measurement of multi-junction devices.

6.2 Reference devices

Reference devices fulfilling the requirements of IEC 60904-2 and 60904-4 shall be selected according to one of the following three possibilities:

a) *n* component reference devices each of which is matched in spectral responsivity to the respective junction in the *n*-junction PV device under test. The spectral responsivity is considered matched when the spectral mismatch correction (between the component reference device and the respective junction for the test spectral irradiance distribution and the reference spectral irradiance distribution) determined according to IEC 60904-7 is within ±1 %. This is the preferred choice when using adjustable solar simulators, as it makes the adjustment convenient and reduces the uncertainties introduced by the measurement of the spectral irradiance;

b) *n* component reference devices each of which approximates the spectral responsivity of the respective junction in the *n*-junction PV device under test. The spectral responsivity is considered approximated when the spectral mismatch correction (between the component reference device and the respective junction for the test spectral irradiance distribution and the reference spectral irradiance distribution) determined according to IEC 60904-7 is within ±5 %. This is the preferred choice in particular when using adjustable solar simulators, when matched component reference devices (see a) above) are not available. It preserves convenience at the expense of increased measurement uncertainty due to determination of the residual spectral mismatch;

c) a broadband reference device (such as a crystalline-Silicon) is the preferred choice for measurements under natural sunlight. In this case the spectral mismatch correction is small and the spectral irradiance can be determined with sufficient accuracy to limit contribution to measurement uncertainty.

While matched reference devices are preferable they might not be readily available, in particular for new or emerging multi-junction technologies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

Component reference devices can be made from standard reference devices (e.g. crystalline-Silicon) by addition of suitable optical filters to give a combined spectral responsivity matching the junctions in the multi-junction device. Alternatively such component reference devices could be of the same technology as the multi-junction device, but with the other junctions electrically disabled or with special electrical connections for each junction. In any case the stability of the component reference device has to be considered and appropriate handling and stabilisation procedures put into place.

Broadband reference devices have the advantage of being readily available, generally with a calibration uncertainty lower than that for component reference devices.

For any choice of reference device(s) a detailed measurement uncertainty calculation for the final results needs to be made, considering the calibration uncertainty of the reference device(s), the drift of the calibration value as well as the uncertainty in determining the measurement conditions with these reference devices.

Both broadband and component reference devices are single-junction devices. The use of multi-junction reference device (for example a multi-junction reference module) is not possible, as different measurement conditions might yield the same compound output of such a device. Therefore, adjusting the measurement conditions to yield the calibration value of such a multi-junction reference device does not guarantee the correct measurement conditions for the device under test.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

7 Measurement conditions

7.1 General considerations

The measurement conditions for current-voltage characteristics of multi-junction devices require more attention than for single-junction devices because the measurement results for multi-junction devices are more prone to effects due to measurement conditions deviating from the reference conditions.

The parameters calculated as described below shall adhere to the given limitations, which define the permissible measurement conditions. The calculated parameters shall also be reported with the measurement results as indicated in Clause 10.

A proper selection of measurement conditions avoids or minimizes the magnitude of the correction that shall be applied to the measured current-voltage characteristics (see Clause 9). In any case a detailed analysis of measurement uncertainties is required.

7.2 Parameters

The following quantities shall be calculated based on the measured spectral responsivity (IEC 60904-8 and IEC 60904-8-1) of each junction in the multi-junction device, on the spectral responsivity of the reference device(s) and on the test and reference spectra:

- the matching of the effective irradiance to the reference irradiance:

$$Z_{\mathrm{i}} = \frac{G_{\mathrm{ref}}}{G_{\mathrm{i,meas}} MM_{\mathrm{i}}} \tag{1}$$

where

i is the junction index;

Z_{i} is a matching factor for the *i*-th junction;

G_{ref} is the reference irradiance;

$G_{i,meas}$ is the irradiance as measured by the *i*-th reference device (in case of a single reference device this quantity is equal for each junction);

MM_i is the mismatch factor for the *i*-th junction with respect to the *i*-th reference device, the test and the reference spectral irradiance distributions, calculated according to IEC 60904-7.

Z shall be calculated for all junctions. This quantity essentially represents the match between the effective irradiance (IEC 60904-7) during measurement and the reference spectral irradiance distribution, considering spectral mismatch.

Furthermore the following quantities might be useful, but their calculation is optional:

- the current generated in each junction

$$j_i = A_i \int SR_i(\lambda) G(\lambda) d\lambda \tag{2}$$

where

j_i is the current of the *i*-th junction;

A_i is the active area of the junction;

SR_i is its absolute spectral responsivity;

G is the spectral irradiance (for both the reference irradiance G_{ref} as well as the irradiance G_{meas} under which the current-voltage characteristic was measured);

λ is the wavelength.

- the current-limiting junction

$$j_{lim} = \min(j_i) \tag{3}$$

- the current balance between junctions

$$Bal_{ij,i \neq j} = \frac{j_i}{j_j} \tag{4}$$

The calculation in formula (2) requires in general the absolute spectral responsivity. However, if the spectral responsivity of all junctions is known on the same relative scale, the calculations are nevertheless meaningful.

7.3 Measurement conditions

The following conditions shall be fulfilled during the measurements of current-voltage characteristics:

- the matching factor Z_i for all junctions is within 1,00 ± 0,03. The smaller the deviation from unity, the smaller the measurement uncertainty and the higher the quality of the measurement. Therefore a matching of 1,00 ± 0,01 should be targeted but might not be achievable in all cases.

Furthermore the following conditions should be met. Their determination is useful but not obligatory.

- the current-limiting junction under the test spectral irradiance distribution is the same as under the reference spectral irradiance distribution
- the current balance Bal_{ij} between all combinations of junctions agrees to within ±5 % under the test spectral irradiance distribution with respect to the reference spectral irradiance distribution. Better agreement is desirable for reducing measurement uncertainty.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

In any case an analysis of the measurement uncertainty arising from the residual deviation has to be made.

8 Measurement of current-voltage characteristics

8.1 Measurement with adjustable spectral irradiance

When the spectral irradiance is adjustable, the aim is to adjust the solar simulator such that the effective irradiance (see IEC 60904-7) equals the reference irradiance for all n junctions in the device under test, i.e. fulfilling the requirement for Z_i from 7.3. This is most conveniently achieved using n matched component reference devices. However, this can also be achieved with a broadband reference device calculating the Z_i based on the spectral irradiance of the test spectral irradiance distribution. Normally the latter is more difficult to measure and leads to larger measurement uncertainty. The use of n component reference devices approximating the spectral responsivity of the n junctions is a compromise between the two approaches.

In practice the spectral irradiance of the simulator is adjusted until the matching factors Z_i for all junctions meet the requirements of 7.3. Once the spectral irradiance is adjusted the current-voltage measurement on the multi-junction device is made.

Additionally, but optionally, the measurement should be repeated using different spectra that allow each junction of the device in turn to limit the photovoltaic current, so that the current-voltage characteristics will primarily reflect the performance of the limiting junction.

8.2 Measurement with fixed spectral irradiance and natural sunlight

The measurement is analogous to the case of single-junction PV devices.

For solar simulators the only adjustment is that of the total irradiance intensity (considering the associated variation of spectral irradiance). For measurements under natural sunlight the selection of suitable conditions is possible.

In both cases only measurements of the current-voltage characteristic of a multi-junction device, where the measurement conditions are in compliance with 7.3, are acceptable.

9 Data analysis

The measurements of current-voltage characteristics will have an uncertainty due to the range of allowed measurement conditions as per 7.3. All else being equal, the measurement uncertainty will be smaller the closer the measurement conditions are met.

In cases where the current-limiting junction is known, the measurement result can be improved by translating the measured current-voltage characteristic to the reference irradiance (i.e. correction for the deviation of Z_i from unity) for the current-limiting junction.

When the current-limiting junction is not known, no correction shall be made except in the following special case. When all Z_i deviate from unity in the same direction (e.g. Z_1 = 1,02 and Z_2 = 1,03 for a double-junction device) the I-V curve can be translated with the average Z (in the example Z = 1,025) such that for the corrected characteristics Z_1 = 0,995 and Z_2 = 1,005. This will reduce the overall uncertainty of the final result. No curve translations for temperature shall be made.

In absence of other provisions, IEC 60891 is used for the purpose of curve translation. The parameters required shall be determined according to IEC 60891 under experimental conditions close to the conditions used for measurement of the current-voltage characteristics to be corrected (in particular, with the same current-limiting junction). Any of the curve translation procedures described in IEC 60891 is permitted.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

10 Report

Following completion of the procedure, a certified report of the current-voltage measurements shall be prepared by the test agency. Each certificate or test report shall include at least the information as required by IEC 60904-1. Additionally the following shall be included (specified for each junction):

- Test spectral irradiance as function of wavelength (unique for all junctions);
- Matching factor Z_i;
- Mismatch factor MM_i;
- Measured irradiance $G_{i,meas}$ for each reference device;
- Uncertainty analysis considering the deviation of the measurement conditions from the reference conditions with respect to device under test.

Optionally the following should be included:

- Identification of which junction is current-limiting for both test and reference spectra;
- Current balance Bal_{ij} for all junctions.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

Bibliography

M. A. Steiner and J. F. Geisz, "Non-linear luminescent coupling in series-connected multijunction solar cells", *Appl. Phys. Lett.* 100, 251106,2012

S. R. Kurtz, K. Emery and J. M. Olson, "Methods for analysis of two-junction, two-terminal photovoltaic devices", *Proc. Of First WCPEC*, Hawaii,1994, pp. 1733-1737

M. Meusel, R. Adelhelm, F. Dimroth, A.W. Bett, and W. Warta, *Spectral Mismatch Correction and Spectrometric Characterization of Monolithic III-V Multi-Junction Solar Cells. Progress in Photovoltaics: Research and Applications,* 2002, 10(4): pp. 243-255

M. Pravettoni, A. Virtuani, K. Keller, M. Apolloni, and H. Müllejans, "Spectral mismatch effect to the open-circuit voltage in the indoor characterization of multi-junction thin-film photovoltaic modules", *Proc. 39th IEEE PVSC*, Tampa,2013, pp. 706-711

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 15
1 Domaine d'application 17
2 Références normatives 17
3 Termes et définitions 18
4 Considérations générales 18
5 Exigences générales de mesure 19
6 Matériel 19
6.1 Exigences générales relatives à l'éclairement (énergétique) 19
6.1.1 Généralités 19
6.1.2 Simulateur solaire à éclairement (énergétique) spectrique ajustable 20
6.1.3 Simulateur solaire à éclairement (énergétique) spectrique fixe 20
6.1.4 Éclairement solaire naturel 20
6.2 Dispositifs de référence 20
7 Conditions de mesure 21
7.1 Considérations générales 21
7.2 Paramètres 22
7.3 Conditions de mesure 23
8 Mesurage des caractéristiques courant-tension 23
8.1 Mesurage avec éclairement (énergétique) spectrique ajustable 23
8.2 Mesurage avec un éclairement (énergétique) spectrique fixe et un éclairement solaire naturel 24
9 Analyse des données 24
10 Rapport 24
Bibliographie 26

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-1: Mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions

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 60904-1-1 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

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

FDIS	Rapport de vote
82/1254/FDIS	82/1272/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

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 "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-1: Mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60904 décrit les procédures de mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques multijonctions sous éclairement solaire naturel ou simulé. Elle s'applique aux cellules PV simples, aux sous-assemblages de ce type de cellule ou à des modules PV complets. Elle concerne essentiellement les dispositifs qui ne sont pas à concentration, mais des parties peuvent également être appliquées aux dispositifs photovoltaïques multijonctions à concentration. La sensibilité spectrale des dispositifs multijonctions est une condition préalable indispensable, son mesurage étant couvert par l'IEC 60904-8-1.

Les exigences relatives au mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs PV à jonction unique sont couvertes par l'IEC 60904-1, alors que le présent document décrit les exigences supplémentaires relatives au mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs PV multijonctions.

Le présent document peut être applicable aux dispositifs PV conçus pour être utilisés sous une exposition énergétique concentrée, s'ils sont mesurés sans les éléments optiques de concentration et irradiés à l'aide d'un éclairement normal direct, et si une correction de désadaptation par rapport à une distribution spectrale de l'éclairement de référence normal direct est effectuée. La distribution spectrale de l'éclairement de référence est donnée dans l'IEC 60904-3.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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: Mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

IEC 60904-2, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence*

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

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

IEC 60904-8-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 8-1: Mesurage de la sensibilité spectrale des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions*

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

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 donnés dans 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 http://www.iso.org/obp

3.1
jonction à limitation en courant
jonction d'un dispositif photovoltaïque multijonction dans laquelle le courant photovoltaïque le plus faible est généré dans des conditions d'éclairage données

4 Considérations générales

La procédure de mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs PV à jonction unique est détaillée dans l'IEC 60904-1. La procédure de mesure des caractéristiques courant-tension d'un dispositif PV multijonction repose sur les mêmes principes de base, mais exige certains éléments supplémentaires, qui sont décrits ici.

Le présent document décrit les considérations, exigences et procédures supplémentaires relatives au mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs PV multijonctions reposant sur les principes de mesure des dispositifs PV à jonction unique.

Par conséquent, les dispositions de l'IEC 60904-1 sont également valables pour le mesurage des dispositifs PV multijonctions, sauf si elles sont explicitement amendées par le présent document.

Les dispositifs PV multijonctions sont composés d'au moins deux jonctions connectées en série. En règle générale, il est uniquement possible de déterminer les caractéristiques courant-tension de l'ensemble du dispositif. Toutefois, il peut s'avérer utile de quantifier le courant photovoltaïque associé à chaque jonction individuelle, ainsi que la variation excessive du courant en fonction de la tension dans les caractéristiques courant-tension entre le point de court-circuit et le point de puissance maximale qui peut indiquer le shunt de chaque jonction. Pour comprendre les performances d'un dispositif multijonction sous un angle différent, il est utile de caractériser chaque jonction qui le compose.

Le couplage luminescent peut être présent et avoir une incidence sur les mesurages. Par exemple, la lumière émise par une cellule GaInP peut être absorbée et générer un courant photovoltaïque dans une jonction GaAs sous-jacente. De la même manière, un photon émis par une cellule GaAs peut être absorbé et générer un courant photovoltaïque dans une jonction Ge sous-jacente. Pour les cellules présentant un rendement relativement élevé, le

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

couplage entre les cellules peut de cette manière engendrer des variations non négligeables du courant mesuré dans certaines conditions. Voir la bibliographie pour de plus amples informations.

Pour les dispositifs PV multijonctions assurant des connexions séparées à chaque jonction, le mesurage des caractéristiques courant-tension de chaque jonction est possible et suit la procédure des dispositifs à jonction unique (IEC 60904-1) utilisant les connexions appropriées.

5 Exigences générales de mesure

Les exigences générales de mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs PV multijonctions sont identiques à celles des dispositifs à jonction unique de l'IEC 60904-1.

Étant donné que les jonctions d'un dispositif multijonction sont connectées en série, les caractéristiques courant-tension mesurées sont une fonction complexe des courants photovoltaïques générés dans chacune des jonctions. Par conséquent, il convient que les conditions de mesure des dispositifs multijonctions s'efforcent de générer des courants photovoltaïques dans chaque jonction similaires à ceux qui auraient été générés dans ladite jonction sous la distribution spectrale de l'éclairement de référence. En règle générale, pour ce faire, une distribution spectrale de l'éclairement d'essai proche de la distribution spectrale de l'éclairement de référence peut être utilisée (celui fourni par un éclairement solaire naturel dans des conditions adaptées ou par un simulateur solaire dont l'éclairement (énergétique) spectrique est ajustable, par exemple). Toutefois, les conditions de mesure ne seront jamais parfaites et s'écarteront des conditions de référence. Le présent document définit les limites des écarts admissibles permettant d'obtenir des mesurages valables. De plus petits écarts sont préférables, mais peuvent ne pas être obtenus dans tous les cas. Dans tous les cas, les écarts des conditions de mesure par rapport aux conditions de référence doivent être pris en compte dans le cadre de l'analyse de l'incertitude de mesure.

La jonction dont le courant photovoltaïque généré est le plus faible est appelée "jonction à limitation en courant". Dans tous les cas, il convient de choisir les conditions de mesure de telle sorte que la jonction à limitation en courant sous la distribution spectrale de l'éclairement d'essai soit identique à celle sous la distribution spectrale de l'éclairement de référence.

De plus, pour caractériser les dispositifs multijonctions de manière plus exhaustive, les mesurages peuvent éventuellement être réalisés avec chaque jonction faisant office de jonction à limitation en courant. Les courbes I-V obtenues sont utilisées pour identifier le courant photovoltaïque et le shunt efficace de cette jonction. (Voir bibliographie, Meusel *et al.,* 2002)

Pour ces mesurages facultatifs supplémentaires, un simulateur équipé d'une distribution spectrale de l'éclairement ajustable est préférable. Toutefois, l'éclairement solaire naturel est en principe également adapté (utilisant la variation de l'éclairement (énergétique) spectrique en fonction de la masse d'air), mais peut se révéler impraticable.

6 Matériel

6.1 Exigences générales relatives à l'éclairement (énergétique)

6.1.1 Généralités

Les simulateurs solaires utilisés pour mesurer les dispositifs multijonctions doivent être de classe AAA conformément à l'IEC 60904-9. Pour les mesurages réalisés sous un éclairement solaire naturel, il convient que les conditions satisfassent aux mêmes exigences. La sensibilité spectrale des dispositifs multijonctions peut couvrir une plage de longueurs d'onde plus étendue que celle définie dans l'IEC 60904-9 pour déterminer la classification de l'égalisation spectrale du simulateur solaire. Dans ce cas, il y a lieu d'ajouter des bandes de

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

longueurs d'onde supplémentaires de 200 nm chacune, jusqu'à couvrir la totalité de la plage de longueurs d'onde de sensibilité spectrale du dispositif multijonction. Il convient que le simulateur réponde, pour toutes les bandes de longueurs d'onde, au critère correspondant à la classe A concernant l'égalisation spectrale telle que définie dans l'IEC 60904-9.

L'éclairement (énergétique) spectrique relatif de la distribution spectrale de l'éclairement d'essai doit être mesuré à l'aide d'un spectroradiomètre sur la totalité de la plage de longueurs d'onde de sensibilité spectrale du dispositif multijonction. Pour les mesurages sous un éclairement solaire naturel, l'éclairement (énergétique) spectrique doit être mesuré en même temps que les caractéristiques courant-tension du dispositif d'essai. Pour l'éclairement solaire simulé, l'éclairement (énergétique) spectrique peut également être mesuré avant ou après les caractéristiques courant-tension. Dans ce cas, la stabilité dans le temps de l'éclairement (énergétique) spectrique de l'éclairement solaire simulé doit être prise en compte dans l'analyse d'incertitude. Pour les simulateurs solaires en impulsions, non seulement la répétabilité d'une impulsion à l'autre, mais également la stabilité de l'éclairement (énergétique) spectrique lors d'une impulsion et l'uniformité spatiale de l'éclairement (énergétique) spectrique sur le plan d'essai doivent être prises en compte.

6.1.2 Simulateur solaire à éclairement (énergétique) spectrique ajustable

Un simulateur solaire à éclairement (énergétique) spectrique ajustable est préférable pour mesurer les dispositifs multijonctions. Il s'agit en principe de simulateurs multisources ou équipés de filtres optiques variables. Il convient qu'un simulateur multisource comporte au moins une source par jonction du dispositif PV multijonction, participant essentiellement à la plage de longueurs d'onde dans laquelle la jonction respective répond. En variante, pour les simulateurs équipés d'un nombre moins important de sources (y compris les sources uniques), l'éclairement (énergétique) spectrique peut être modifié en plaçant des filtres optiques appropriés entre la source de lumière et le dispositif en essai. Il peut également être possible de faire varier l'éclairement (énergétique) spectrique en définissant les différents niveaux de puissance des simulateurs à source unique.

6.1.3 Simulateur solaire à éclairement (énergétique) spectrique fixe

L'éclairement (énergétique) spectrique des simulateurs solaires à source unique est en général fixe, mais l'intensité de leur éclairement total peut souvent varier. Toutefois, l'éclairement (énergétique) spectrique peut varier en fonction de l'intensité d'éclairement total. Par conséquent, il convient de déterminer cette dernière selon des réglages identiques à ceux utilisés pour le mesurage de courant-tension. Ces simulateurs sont uniquement adaptés au mesurage des dispositifs multijonctions s'ils satisfont aux exigences de 7.3.

6.1.4 Éclairement solaire naturel

L'éclairement solaire naturel assure une plage restreinte d'éclairement total et d'éclairement (énergétique) spectrique. Les variations dépendent de la masse d'air et des conditions atmosphériques à différents moments de la journée ou selon les jours de différentes saisons. Toutefois, dans la pratique, il est difficile d'utiliser systématiquement ces variations pour les mesurages. Néanmoins, l'éclairement solaire naturel dans des conditions adaptées permet une répartition d'éclairement (énergétique) spectrique proche de la distribution spectrale de l'éclairement de référence. Si les exigences de 7.3 sont satisfaites, l'éclairement solaire naturel est adapté au mesurage des dispositifs multijonctions.

6.2 Dispositifs de référence

Les dispositifs de référence satisfaisant aux exigences de l'IEC 60904-2 et de l'IEC 60904-4 doivent être choisis en fonction de l'une des trois possibilités ci-dessous:

a) dispositifs de référence à *n* composants, chacun d'eux étant adapté dans une sensibilité spectrale à la jonction respective du dispositif PV en essai à *n* jonctions. La sensibilité spectrale est considérée comme étant adaptée lorsque la correction de désadaptation des réponses spectrales (entre le dispositif de référence du composant et la jonction respective de la distribution spectrale de l'éclairement d'essai et de la distribution

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

spectrale de l'éclairement de référence) déterminée conformément à l'IEC 60904-7 se situe dans les limites de ±1 %. Il s'agit du choix préférentiel en cas d'utilisation de simulateurs solaires ajustables, l'ajustement devenant pratique et les incertitudes liées à la mesure de l'éclairement (énergétique) spectrique étant réduite;.

b) dispositifs de référence à *n* composants, chacun d'eux permettant d'approximer la sensibilité spectrale de la jonction respective du dispositif PV en essai à *n* jonctions. La sensibilité spectrale est considérée comme étant approximée lorsque la correction de désadaptation des réponses spectrales (entre le dispositif de référence du composant et la jonction respective de la distribution spectrale de l'éclairement d'essai et de la distribution spectrale de l'éclairement de référence) déterminée conformément à l'IEC 60904-7 se situe dans les limites de ±5 %. Il s'agit du choix préférentiel, en particulier si des simulateurs solaires ajustables sont utilisés lorsque les dispositifs de référence de composant adaptés (voir a) ci-dessus) ne sont pas disponibles. Il permet de conserver l'aspect pratique au détriment de l'augmentation de l'incertitude de mesure en raison de la détermination de la désadaptation résiduelle des réponses spectrales;

c) un dispositif de référence à large bande (au silicium cristallin, par exemple) est le choix préférentiel pour les mesurages réalisés sous éclairement solaire naturel. Dans ce cas, la correction de désadaptation des réponses spectrales est faible et l'éclairement (énergétique) spectrique peut être déterminé selon une exactitude suffisante pour limiter la contribution à l'incertitude de mesure.

Même si les dispositifs de référence adaptés sont préférables, ils peuvent ne pas être aisément disponibles, en particulier pour les nouvelles technologies ou les technologies multijonctions émergentes.

Les dispositifs de référence de composant peuvent être fabriqués à partir de dispositifs de référence normalisés (au silicium cristallin, par exemple) en ajoutant des filtres optiques adaptés afin que la sensibilité spectrale soit adaptée aux jonctions dans le dispositif multijonction. En variante, la technologie de ces dispositifs de référence de composant peut être la même que celle du dispositif multijonction, les autres jonctions étant toutefois désactivées d'un point de vue électrique ou comportant des connexions électriques spéciales pour chaque jonction. Dans tous les cas, la stabilité du dispositif de référence de composant doit être prise en compte et des procédures appropriées de manipulation et de stabilisation mises en place.

Les dispositifs de référence à large bande présentent l'avantage d'être aisément disponibles, en général avec une incertitude d'étalonnage inférieure à celle des dispositifs de référence de composant.

Quel que soit le choix du ou des dispositifs de référence, un calcul détaillé de l'incertitude de mesure doit être réalisé pour obtenir les résultats finaux, en tenant compte de l'incertitude d'étalonnage du ou des dispositifs de référence, du décalage de la valeur d'étalonnage et de l'incertitude liée à la détermination des conditions de mesure avec ces dispositifs de référence.

Les dispositifs de référence à large de bande et de composant sont des dispositifs à jonction unique. L'utilisation du dispositif de référence multijonction (un module de référence multijonction, par exemple) n'est pas possible, des conditions de mesure différentes pouvant donner le même résultat composé de ce type de dispositif. Par conséquent, l'ajustement des conditions de mesure pour donner la valeur d'étalonnage de ce type de dispositif de référence ne garantit pas les conditions de mesure correctes du dispositif en essai.

7 Conditions de mesure

7.1 Considérations générales

Les conditions de mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs multijonctions exigent une plus grande attention que celles des dispositifs à jonction unique. En effet, les

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017

résultats de mesure des dispositifs multijonctions sont plus sensibles aux effets liés aux conditions de mesure s'écartant des conditions de référence.

Les paramètres calculés comme indiqué ci-après doivent respecter les limitations données, qui définissent les conditions de mesure possibles. Ils doivent également être consignés avec les résultats de mesure (voir l'Article 10).

Un choix judicieux des conditions de mesure permet d'éviter ou de limiter le plus possible l'ampleur des corrections qui doivent être appliquées aux caractéristiques courant-tension mesurées (voir l'Article 9). Dans tous les cas, une analyse détaillée des incertitudes de mesure est exigée.

7.2 Paramètres

Les grandeurs suivantes doivent être calculées en s'appuyant sur la sensibilité spectrale mesurée (IEC 60904-8 et IEC 60904-8-1) de chaque jonction du dispositif multijonction, sur la sensibilité spectrale du ou des dispositifs de référence et sur la distribution spectrale de l'éclairement d'essai et la distribution spectrale de l'éclairement de référence:

- l'adaptation de l'éclairement effectif à l'éclairement de référence:

$$Z_{\mathrm{i}} = \frac{G_{\mathrm{ref}}}{G_{\mathrm{i,meas}} MM_{\mathrm{i}}} \tag{1}$$

où

i est l'indice de jonction;

Z_{i} est un facteur d'adaptation pour la $i^{\text{ème}}$ jonction;

G_{ref} est l'éclairement de référence;

$G_{\mathrm{i,meas}}$ est l'éclairement mesuré par le $i^{\text{ème}}$ dispositif de référence (dans le cas d'un seul dispositif de référence, cette grandeur est égale pour chaque jonction);

MM_{i} est le facteur de désadaptation pour la $i^{\text{ème}}$ jonction par rapport au $i^{\text{ème}}$ dispositif de référence, à la distribution spectrale de l'éclairement d'essai et à la distribution spectrale de l'éclairement de référence, calculé selon l'IEC 60904-7.

Z doit être calculé pour toutes les jonctions. Cette grandeur représente essentiellement l'adaptation entre l'éclairement effectif (IEC 60904-7) lors du mesurage et la distribution spectrale de l'éclairement de référence, en tenant compte de la désadaptation des réponses spectrales.

De plus, les grandeurs suivantes peuvent s'avérer utiles, mais leur calcul est facultatif:

- le courant généré dans chaque jonction

$$j_{\mathrm{i}} = A_i \int SR_{\mathrm{i}}(\lambda) G(\lambda) d\lambda \tag{2}$$

où

j_{i} est le courant de la $i^{\text{ème}}$ jonction;

A_i est la zone active de la jonction;

SR_{i} est la sensibilité spectrale absolue;

G est l'éclairement (énergétique) spectrique (tant pour l'éclairement de référence G_{ref} que pour l'éclairement G_{meas} sous lequel la caractéristique courant-tension a été mesurée);

λ est la longueur d'onde.

- la jonction à limitation en courant

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-1-1:2017