

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60904-7

Edition 3.0 2008-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

K

ICS 27.160

ISBN 978-2-88910-324-9

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope and object.....	5
2 Normative references	5
3 Description of method.....	6
4 Apparatus.....	7
5 Determination of spectral response	7
6 Determination of test spectrum	7
7 Determination of the spectral mismatch factor	8
8 Report	9
Bibliography.....	10

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

**Part 7: Computation of the spectral mismatch correction
for measurements of photovoltaic 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60904-7 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

FDIS	Report on voting
82/540/FDIS	82/547/RVD

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

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1998. It constitutes a technical revision. The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- the title has been modified in order to better reflect the purpose of the standard (changed from "mismatch error" to "mismatch correction");

- formulae are now accompanied by explanatory text;
- Clause 3 “Description of method” now describes when it is necessary to use the method and when it may not be needed. It describes what data must be collected before the mismatch correction can be calculated;
- Clauses 4, 5 and 6 have added;
- the formula for the mismatch correction has been corrected.

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

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

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

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

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices

1 Scope and object

This part of IEC 60904 describes the procedure for correcting the bias error introduced in the testing of a photovoltaic device, caused by the mismatch between the test spectrum and the reference spectrum and by the mismatch between the spectral responses (SR) of the reference cell and of the test specimen. The procedure applies only to photovoltaic devices linear in SR as defined in IEC 60904-10. This procedure is valid for single junction devices but the principle may be extended to cover multijunction devices.

The purpose of this standard is to give guidelines for the correction of measurement bias, should there be a mismatch between both the test spectrum and the reference spectrum and between the reference device SR and the test specimen SR.

Since a PV device has a wavelength-dependent response, its performance is significantly affected by the spectral distribution of the incident radiation, which in natural sunlight varies with several factors such as location, weather, time of year, time of day, orientation of the receiving surface, etc., and with a simulator varies with its type and conditions. If the irradiance is measured with a thermopile-type radiometer (that is not spectrally selective) or with a reference solar cell, the spectral irradiance distribution of the incoming light must be known to make the necessary corrections to obtain the performance of the PV device under the reference solar spectral distribution defined in IEC 60904-3.

If a reference PV device or a thermopile type detector is used to measure the irradiance then, following the procedure given in this standard, it is possible to calculate the spectral mismatch correction necessary to obtain the short-circuit current of the test PV device under the reference solar spectral irradiance distribution included in Table 1 of IEC 60904-3 or any other reference spectrum. If the reference PV device has the same relative spectral response as the test PV device then the reference device automatically takes into account deviations of the real light spectral distribution from the standard spectral distribution, and no further correction of spectral bias errors is necessary. In this case, location and weather conditions are not critical when the reference device method is used for outdoor performance measurements provided both reference cell and test PV device have the same relative spectral response. Also, for identical relative SR's, the spectral classification of the simulator is not critical for indoor measurements.

If the performance of a PV device is measured using a known spectral irradiance distribution, its short-circuit current at any other spectral irradiance distribution can be computed using the spectral response of the PV test device.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices*

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

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

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

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

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

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

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

IEC 61646, *Thin film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

3 Description of method

For many PV devices, the shape of the I-V characteristic depends on the short-circuit current and the device temperature, but not on the spectrum used to generate the short-circuit current. For these devices, the correction of spectrum mismatch or spectral response mismatch is possible using the following procedure. For other devices, a measurement of the I-V characteristic shall be done using a light source with the appropriate spectrum.

A correction is not necessary if either the test spectrum is identical to the reference spectrum (see IEC 60904-3) or if the test specimen's relative spectral response is identical to the reference cell relative spectral response. In this case, the reading as obtained from the reference cell specifies which intensity at the reference spectrum will generate the same short-circuit current in the test device as the test spectrum.

If there is a mismatch between both spectra and spectral responses then a mismatch correction should be calculated.

Due to the mismatch in spectra and spectral responses, the reading of the reference cell (see IEC 60904-2) does not give the intensity of the reference spectrum that generates the short-circuit current as measured for the test device. One must determine the effective irradiance of the reference spectrum that generates the same short-circuit current in the test device as generated by the test spectrum at the measured irradiance G_{meas} .

$$G_{\text{eff at ref spectrum}} = MM \times G_{\text{meas}} \quad (1)$$

where G_{meas} is the irradiance as measured by the reference device with its specific spectral response $S_{\text{ref}}(\lambda)$ and MM is the spectral mismatch factor as determined in Clause 7.

For a measurement to be referred to the reference spectral irradiance, two correction methods are possible:

- a) If possible, adjust the simulator intensity so that the effective irradiance as determined by equation (1) equals the reference irradiance G_{ref} (e.g. 1 000 W/m² for STC, as defined in IEC 61215 and IEC 61646). That is to say that the simulator intensity as measured by the reference cell using its calibration value given for the reference spectrum has to be set to

$$G_{\text{meas}} = G_{\text{ref}} / MM \quad (2)$$

Thus, the inverse mismatch factor $1/MM$ gives the degree by which the simulator intensity has to be adjusted, if the device is linear (see IEC 60904-10). Now, the simulator spectrum at this irradiance with its actual simulator spectrum generates the same short-circuit current as the reference spectrum at the reference intensity. Proceed to measure the I-V characteristic per IEC 60904-1.

- b) Otherwise, measure the I-V characteristic using the given simulator intensity. Determine the effective irradiance at the reference spectrum using equation (1). Then transfer the I-V characteristic to the reference irradiance using IEC 60891 with the effective irradiance determined from equation (1).

Method a) is preferred for simulated sunlight (see IEC 60904-9), as the actual measurement is performed at the correct short-circuit current, minimising non-linearity errors. Method b) is usually chosen for outdoor measurements, if the light intensity cannot be easily controlled.

4 Apparatus

4.1 Spectral response measurement set up according to IEC 60904-8.

4.2 Apparatus for measurement of PV current voltage characteristics according to IEC 60904-1.

4.3 Spectroradiometer capable of measuring the spectral irradiance in the test plane in a spectral range exceeding that of the spectral responses of the reference and test devices.

NOTE 1 For example spectroradiometer measurements are described in CIE 63 (1984).

NOTE 2 The input head of the spectroradiometer and the test device should have a similar field of view with a similar dependency of the solid angle.

5 Determination of spectral response

5.1 The relative spectral response of the test specimen shall be measured according to IEC 60904-8.

5.2 If not available from the calibration documents, the relative spectral response of the reference device shall be measured according to IEC 60904-8.

6 Determination of test spectrum

6.1 Mount the input head of the spectroradiometer in the position where the test device will subsequently be mounted, or as close as possible to that location. It shall be mounted coplanar to the test specimen within $\pm 2^\circ$.

6.2 Record the spectrum of the light source. For simulator measurements, steps of 2 nm or less with 2-5 nm bandwidths are recommended. For outdoor spectra, steps and bandwidth of up to 10 nm are allowable. Verify that the total irradiance does not vary by more than $\pm 2\%$ during this measurement. If necessary, apply a linear intensity correction to all measurement points with respect to the actual total irradiance. Alternatively, several scans can be taken, they shall agree within $\pm 2\%$. Then determine the average relative spectrum.

6.3 If the acquisition time for a full spectrum is larger than the acquisition time for the I-V characteristic, or if the light source is not spectrally stable over time (e.g. flash simulators or natural sunlight), special care must be given to determine the correct test spectrum.

NOTE 1 A pulsed simulator may not be spectrally stable during the I-V measurement period. Also, at the rising and falling edge of the pulse, the spectrum may be different from the spectrum during the designated measurement time. Therefore, it may not be correct to measure the spectrum with an integration time including the rise and tail of the pulse.

NOTE 2 Outdoor spectra may not be stable due to changes in the atmospheric conditions.

7 Determination of the spectral mismatch factor

Determine the spectral mismatch factor from

$$MM = \frac{\int E_{\text{ref}}(\lambda) S_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{meas}}(\lambda) S_{\text{sample}}(\lambda) d\lambda}{\int E_{\text{meas}}(\lambda) S_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{ref}}(\lambda) S_{\text{sample}}(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

where

$E_{\text{ref}}(\lambda)$ is the irradiance per unit bandwidth at a particular wavelength λ , of the reference spectral irradiance distribution, for example as given in IEC 60904-3;

$E_{\text{meas}}(\lambda)$ is the irradiance per unit bandwidth at a particular wavelength λ , of the spectral irradiance distribution of the incoming light at the time of measurement;

$S_{\text{ref}}(\lambda)$ is the spectral response of the reference PV device;

$S_{\text{sample}}(\lambda)$ is the spectral response of the test PV device.

All integrals must be performed in the full spectral range where the reference device and the sample are spectrally sensitive.

NOTE 1 The spectral irradiance distributions and the spectral responses can be given on an absolute or relative scale.

NOTE 2 Due to the irregular shape of the solar and simulator spectra, spectral responses should be interpolated to the wavelength points of the spectral irradiance measurements, not vice versa.

NOTE 3 Equation 3 is valid for single junction devices, but may be used for multi-junction devices. For multi-junction devices, the calculation must be performed for each junction in the device, using its spectral response including the spectral filtering caused by the junctions above the junction under consideration. The test report should specify the mismatch factors and the relative current generation of the individual junctions.

NOTE 4 The integral boundaries should be the boundary wavelengths of the SR.

In the case, that absolute spectra and absolute spectral responses are used for the analysis, Equation 3 can be interpreted as

$$MM = \frac{I_{\text{sc,ref,E}_{\text{ref}}} I_{\text{sc,sample,E}_{\text{meas}}}}{I_{\text{sc,ref,E}_{\text{meas}}} I_{\text{sc,sample,E}_{\text{ref}}}} \quad (4)$$

where

$I_{\text{sc, sample, E}_{\text{ref}}}$ is the short-circuit current of the test sample under the reference spectrum;

$I_{\text{sc, ref, E}_{\text{ref}}}$ is the short-circuit current of the reference device under the reference spectrum;

$I_{\text{sc, sample, E}_{\text{meas}}}$ is the short-circuit current of the test sample under the measured spectrum;

$I_{\text{sc, ref, E}_{\text{meas}}}$ is the short-circuit current of the reference device under the measured spectrum

because $I_{\text{sc}} = \int E(\lambda) S(\lambda) d\lambda$

8 Report

The following information should be given in the test report according to IEC 60904-1.

- a) If the spectral mismatch is used for the irradiance correction of a measurement based on IEC 60904-1 or another relevant standard, the calculated spectral mismatch factor, the identification of the test device and the reference device, as well their spectral responses according to their test report (IEC 60904-8), the test spectrum and the reference spectrum should all be included in the test report, along with the method used to calculate the integrals.

If the reference device and the device under test are of different dimensions (area), the dimensions should be specified in the test report.

- b) If a matched reference device is used and no mismatch correction is applied, the identification of the test device and the reference device, as well as the spectral responses of reference and test devices according to their test report (IEC 60904-8) should be included in the test report.

If the reference device and the device under test are of different dimensions (area), the dimensions should be specified in the test report.

If the spectral response of the device under test cannot be measured, the test report should include the criteria used to define the equivalency of the spectral responses.

Bibliography

CIE 63:1984, *The Spectroradiometric Measurement of Light Sources*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	13
1 Domaine d'application et objet.....	15
2 Références normatives.....	15
3 Description de la méthode.....	16
4 Appareillage.....	17
5 Détermination de la réponse spectrale.....	17
6 Détermination du spectre pour l'essai.....	18
7 Détermination du facteur de désadaptation des réponses spectrales.....	18
8 Rapport.....	19
Bibliographie.....	20

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La présente Norme internationale CEI 60904-7 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/540/FDIS	82/547/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.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1998. Cette édition constitue une révision technique. Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- le titre a été modifié pour mieux indiquer l'objectif de la norme (« calcul de l'erreur » changé en « calcul de la correction »);
- les formules sont maintenant accompagnées par des explications;
- l'Article 3 « Description de la méthode » décrit maintenant quand il faut utiliser la méthode et quand elle n'est pas nécessaire. Il décrit quelles des données il faut avoir avant que le calcul de la correction puisse se faire;
- les Articles 4, 5 et 6 ont été ajoutés;
- la formule pour le calcul de la correction a été corrigée.

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

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

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

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

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques

1 Domaine d'application et objet

Cette partie de la CEI 60904 décrit la procédure pour corriger l'erreur de justesse de mesure introduite dans l'essai d'un dispositif photovoltaïque, due d'une part à la désadaptation du spectre pour l'essai et du spectre de référence, et d'autre part à la désadaptation entre les réponses spectrales de la cellule de référence et du spécimen en essai. La procédure s'applique seulement aux dispositifs photovoltaïques linéaires en réponses spectrales tels que définis dans la CEI 60904-10. Cette procédure est valable pour les dispositifs à jonction unique mais le principe peut être étendu aux dispositifs à multi-jonctions.

Le but de la présente norme est de donner des lignes directrices pour la correction des déviations de mesures se traduisant par une désadaptation à la fois du spectre pour l'essai et du spectre de référence, ainsi que des réponses spectrales du dispositif de référence et du spécimen en essai.

Comme la réponse d'un dispositif PV est liée à la longueur d'onde, ses performances sont influencées de manière significative par la répartition spectrale du rayonnement incident, qui, dans le cas d'un éclairage solaire naturel, varie selon plusieurs facteurs tels que l'emplacement, le temps, le moment de l'année ou du jour, l'orientation de la surface de réception, etc., et qui, avec un simulateur, varie selon son type et les conditions. Si l'éclairage est mesuré avec un radiomètre à thermopile (qui n'est pas spectralement sélectif) ou avec une cellule solaire de référence, la répartition spectrale de l'éclairage de la lumière entrante doit être connue de façon à appliquer les corrections nécessaires pour obtenir les performances du dispositif PV avec la répartition spectrale de l'éclairage solaire de référence définie dans la CEI 60904-3.

Si un dispositif PV de référence ou un détecteur de type thermopile est utilisé pour mesurer l'éclairage, alors, en suivant la procédure donnée dans la présente norme, il est possible de calculer la correction de désadaptation des réponses spectrales nécessaire à la détermination du courant de court-circuit du dispositif PV à l'essai avec une répartition d'éclairage spectral solaire de référence telle que donnée dans le Tableau 1 de la CEI 60904-3 ou avec tout autre spectre de référence. Si le dispositif PV de référence a la même réponse spectrale relative que le dispositif PV à l'essai alors le dispositif de référence prend automatiquement en compte les déviations de la répartition spectrale de la lumière réelle par rapport à la répartition spectrale type, et aucune correction supplémentaire de l'erreur de justesse spectrale n'est nécessaire. Dans ce cas, l'emplacement et les conditions atmosphériques ne sont pas critiques lorsque la méthode utilisant un dispositif de référence est utilisée pour des mesures de performances à l'extérieur, la cellule de référence et le dispositif PV à l'essai ayant la même réponse spectrale relative. Aussi, pour des réponses spectrales relatives identiques, la classification spectrale du simulateur n'est pas critique pour des mesures en intérieur.

Si la performance d'un dispositif PV est mesurée en utilisant une répartition spectrale de l'éclairage connue, son courant de court-circuit avec toute autre répartition spectrale de l'éclairage peut être calculé en utilisant la réponse spectrale du dispositif PV à l'essai.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60891, *Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*

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

CEI 60904-2, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences relatives aux dispositifs solaires de référence*

CEI 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*

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

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

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

CEI 61215, *Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

CEI 61646, *Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

3 Description de la méthode

Pour beaucoup de dispositif PV, la forme de la caractéristique I-V dépend du courant de court-circuit et de la température du dispositif, mais ne dépend pas du spectre utilisé pour générer le courant de court-circuit. Pour ces dispositifs, la correction de la désadaptation du spectre ou de la réponse spectrale est possible en utilisant la procédure suivante. Pour les autres dispositifs, une mesure de la caractéristique I-V doit être réalisée en utilisant une source de lumière avec un spectre approprié.

Une correction n'est pas nécessaire si le spectre pour l'essai est identique au spectre de référence (voir la CEI 60904-3) ou si la réponse spectrale relative du spécimen en essai est identique à la réponse spectrale relative de la cellule de référence. Dans ce cas, le relevé obtenu à partir de la cellule de référence spécifie l'intensité avec le spectre de référence qui génère le même courant de court-circuit dans le dispositif en essai qu'avec le spectre pour l'essai.

S'il y a une désadaptation à la fois des spectres et des réponses spectrales alors il convient d'établir une correction de désadaptation.

En raison de l'erreur de désadaptation des spectres et des réponses spectrales, le relevé de la cellule de référence (voir la CEI 60904-2) ne donne pas l'intensité du spectre de référence qui génère le courant de court-circuit mesuré pour le dispositif en essai. Un relevé doit déterminer l'éclairement effectif du spectre de référence qui génère le même courant de court-circuit dans le dispositif en essai que celui généré par le spectre pour l'essai à l'éclairement mesuré G_{meas} .

$$G_{\text{eff au spectre de référence}} = MM \times G_{\text{meas}} \quad (1)$$

où G_{meas} est l'éclairement mesuré par le dispositif de référence ayant sa propre réponse spectrale $S_{\text{ref}}(\lambda)$ et MM est le facteur de désadaptation des réponses spectrales tel que déterminé à l'Article 7.

Pour une mesure se référant à l'éclairement spectral de référence, deux méthodes de correction sont possibles:

- a) Si possible, ajuster l'intensité du simulateur de telle façon que l'éclairement effectif, déterminé avec l'équation (1), soit égal à l'éclairement de référence G_{ref} (par exemple $1\,000\text{ W/m}^2$ dans les conditions d'essais normalisés, comme défini dans la CEI 61215 et la CEI 61646). C'est-à-dire que l'intensité du simulateur mesurée par la cellule de référence en utilisant sa valeur d'étalonnage donnée pour le spectre de référence doit être réglée à

$$G_{\text{meas}} = G_{\text{ref}} / MM \quad (2)$$

Ainsi, l'inverse du facteur de désadaptation $1/MM$ donne le degré auquel l'intensité du simulateur doit être ajustée, si le dispositif est linéaire (voir la CEI 60904-10). Maintenant à cet éclairement, le spectre du simulateur avec son spectre réel génère le même courant de court-circuit que le spectre de référence à l'intensité de référence. Procéder à la mesure de la caractéristique I-V à l'aide de la CEI 60904-1.

- b) Sinon, mesurer la caractéristique I-V en utilisant l'intensité du simulateur donnée. Déterminer l'éclairement effectif avec le spectre de référence en utilisant l'équation (1). Transférer ensuite la caractéristique I-V à l'éclairement de référence en utilisant la CEI 60891 avec l'éclairement effectif déterminé avec l'équation (1).

La méthode a) est préférable en éclairage simulé (voir la CEI 60904-9), comme la mesure réelle est réalisée avec le courant de court-circuit correct, minimisant les erreurs non linéaires. La méthode b) est généralement choisie pour les mesures à l'extérieur, si l'intensité lumineuse ne peut pas être facilement contrôlée.

4 Appareillage

4.1 Réglage des mesures de réponses spectrales selon la CEI 60904-8.

4.2 Appareillage pour la mesure des caractéristiques photovoltaïques courant-tension selon la CEI 60904-1.

4.3 Spectroradiomètre capable de mesurer l'éclairement spectral dans le plan d'essai dans un domaine spectral dépassant celui des réponses spectrales du dispositif de référence et du dispositif en essai.

NOTE 1 Par exemple, des mesures de spectroradiomètre sont décrits dans la CIE 63 (1984).

NOTE 2 Il convient que le capteur d'entrée du spectroradiomètre et que le dispositif en essai aient un champ de vision semblable avec une dépendance à l'angle solide similaire.

5 Détermination de la réponse spectrale

5.1 La réponse spectrale relative du spécimen en essai doit être mesurée selon la CEI 60904-8.

5.2 Si ce n'est pas disponible dans les documents d'étalonnage, la réponse spectrale relative du dispositif de référence doit être mesurée selon la CEI 60904-8.

6 Détermination du spectre pour l'essai

6.1 Placer le capteur d'entrée du spectroradiomètre dans la position où le dispositif en essai sera monté par la suite, ou aussi proche que possible de cet emplacement. Il doit être monté dans le même plan que le spécimen en essai avec $\pm 2^\circ$.

6.2 Enregistrer le spectre de la source lumineuse. Pour des mesures avec simulateur, des pas de 2 nm ou moins avec des largeurs de bande de 2-5 nm sont recommandés. Pour des spectres en extérieur, des pas et largeurs de bande jusqu'à 10 nm sont admissibles. Vérifier que l'éclairement total ne varie pas de plus de $\pm 2\%$ durant cette mesure. Si nécessaire, appliquer une correction d'intensité linéaire à tous les points de mesure en respectant l'éclairement total réel. En variante, plusieurs balayages peuvent être réalisés; ils doivent se situer dans la limite $\pm 2\%$. Déterminer ensuite le spectre relatif moyen.

6.3 Si le temps d'acquisition pour un spectre complet est supérieur au temps d'acquisition de la caractéristique I-V, ou si la source lumineuse n'est pas spectralement stable tout le temps (par exemple flash de simulateurs ou éclairage solaire naturel), une attention spéciale doit être accordée à la détermination du spectre pour l'essai correct.

NOTE 1 Un simulateur à impulsions peut ne pas être spectralement stable durant la période de mesure I-V. Ainsi, au front montant et descendant de l'impulsion, le spectre peut être différent du spectre durant le temps de mesure désigné. Par conséquent, il peut ne pas être correct de mesurer le spectre avec un temps d'intégration comprenant les fronts montant et descendant de l'impulsion.

NOTE 2 Les spectres en extérieur peuvent ne pas être stables à cause des changements de conditions atmosphériques.

7 Détermination du facteur de désadaptation des réponses spectrales

Déterminer le facteur de désadaptation des réponses spectrales à partir de

$$MM = \frac{\int E_{\text{ref}}(\lambda) S_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{meas}}(\lambda) S_{\text{sample}}(\lambda) d\lambda}{\int E_{\text{meas}}(\lambda) S_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{ref}}(\lambda) S_{\text{sample}}(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

où

$E_{\text{ref}}(\lambda)$ est l'éclairement, par unité de largeur de bande, à une longueur d'onde particulière λ de la répartition de l'éclairement spectral de référence, par exemple tel que donné dans la CEI 60904-3;

$E_{\text{meas}}(\lambda)$ est l'éclairement, par unité de largeur de bande, à une longueur d'onde particulière λ de la répartition de l'éclairement spectral de la lumière entrante au moment de la mesure;

$S_{\text{ref}}(\lambda)$ est la réponse spectrale du dispositif PV de référence;

$S_{\text{sample}}(\lambda)$ est la réponse spectrale du dispositif PV en essai.

Toutes les intégrales doivent être réalisées sur le domaine spectral complet où le dispositif de référence et le spécimen sont spectralement sensibles.

NOTE 1 Les répartitions d'éclairement spectral et les réponses spectrales peuvent être données en échelle absolue ou relative.

NOTE 2 En raison de la forme irrégulière des spectres solaires et du simulateur, il est recommandé d'interpoler les réponses spectrales avec les longueurs d'onde des mesures de l'éclairement spectral, et non pas le contraire.

NOTE 3 L'équation 3 est valide pour les dispositifs à jonction unique, mais peut être utilisée pour les dispositifs à multijonctions. Pour les dispositifs à multijonctions, le calcul doit être réalisé pour chaque jonction du dispositif, en utilisant sa réponse spectrale comprenant le filtrage spectral causé par les jonctions au dessus de la jonction

considérée. Il convient de spécifier dans le rapport d'essai les facteurs de désadaptation et la génération de courant relatif des jonctions individuelles.

NOTE 4 Il convient que les limites intégrales soient les longueurs d'onde limites des réponses spectrales.

Dans le cas où les spectres absolus et les réponses spectrales absolues sont utilisés pour l'analyse, l'équation 3 peut être interprétée comme

$$MM = \frac{I_{sc,ref,E_{ref}} I_{sc,sample,E_{meas}}}{I_{sc,ref,E_{meas}} I_{sc,sample,E_{ref}}} \quad (4)$$

où

$I_{sc, sample, E_{ref}}$ est le courant de court-circuit de l'échantillon en essai avec le spectre de référence;

$I_{sc, ref, E_{ref}}$ est le courant de court-circuit du dispositif de référence avec le spectre de référence;

$I_{sc, sample, E_{meas}}$ est le courant de court-circuit de l'échantillon en essai avec le spectre mesuré;

$I_{sc, ref, E_{meas}}$ est le courant de court-circuit du dispositif de référence avec le spectre mesuré

car $I_{sc} = \int E(\lambda)S(\lambda)d\lambda$

8 Rapport

Il convient de donner les informations suivantes dans le rapport d'essai conformément à la CEI 60904-1.

- a) Si la désadaptation des réponses spectrales est utilisée pour la correction de l'éclairement pour une mesure basée sur la CEI 60904-1 ou une autre norme appropriée, il convient d'inclure, dans le rapport d'essai, le facteur de désadaptation des réponses spectrales calculé, l'identification du dispositif en essai et du dispositif de référence, tout comme leurs réponses spectrales conformément à leur rapport d'essai (CEI 60904-8), le spectre pour l'essai et le spectre de référence, avec la méthode utilisée pour calculer les intégrales.

Si le dispositif de référence et le dispositif en essai sont de dimensions différentes (surface), il convient de spécifier les dimensions dans le rapport d'essai.

- b) Si un dispositif de référence équivalent est utilisé et qu'aucune correction de la désadaptation n'est appliquée, il convient d'inclure dans le rapport d'essai l'identification du dispositif en essai et du dispositif de référence, tout comme les réponses spectrales des dispositifs de référence et en essai conformément à leur rapport d'essai (CEI 60904-8).

Si le dispositif de référence et le dispositif en essai sont de dimensions différentes (surface), il convient de spécifier les dimensions dans le rapport d'essai.

Si la réponse spectrale du dispositif en essai ne peut pas être mesurée, il convient d'inclure les critères utilisés pour définir l'équivalence des réponses spectrales dans le rapport d'essai.

Bibliographie

CIE 63:1984, *Mesures spectroradiométriques des sources de lumière*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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