

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

### AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

#### Photovoltaic devices –

#### Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method

#### Dispositifs photovoltaïques –

#### Partie 5: Détermination de la température de cellule équivalente (ECT) des dispositifs photovoltaïques (PV) par la méthode de la tension en circuit ouvert



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

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

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

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

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://products.iec.ch)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

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

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

### AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

#### Photovoltaic devices –

#### Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method

#### Dispositifs photovoltaïques –

#### Partie 5: Détermination de la température de cellule équivalente (ECT) des dispositifs photovoltaïques (PV) par la méthode de la tension en circuit ouvert

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-5728-9

**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.**

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## PHOTOVOLTAIC DEVICES –

**Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of  
photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method****AMENDMENT 1**

## 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 document may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

Amendment 1 to IEC 60904-5:2011 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

| Draft        | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 82/2069/FDIS | 82/2082/RVD      |

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

The language used for the development of this Amendment is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/standardsdev/publications/](http://www.iec.ch/standardsdev/publications/).

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under [webstore.iec.ch](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.

---

## INTRODUCTION

*Add the following new text:*

For modules with large thermal inertia such as glass-glass construction for BIPV applications, measurements become even more challenging with increased temperature difference between the cell and module external temperatures during transient conditions. In addition, for bifacial PV modules the temperature sensors may shade an active cell, potentially even creating local hotspots where sensors are located on effective cell areas.

NOTE 1 NMOT is defined as the equilibrium mean solar cell junction temperature within an open-rack mounted module operating near peak power, in the following standard reference environment:

- Tilt angle:  $(37 \pm 5)^\circ$ .
- Total irradiance:  $800 \text{ W/m}^2$ .
- Ambient temperature:  $20^\circ\text{C}$ .
- Wind speed:  $1 \text{ m/s}$ .
- Electrical load: A resistive load sized such that the module will operate near its maximum power point at STC or an electronic maximum power point tracker (MPPT).

NOTE 2 NMOT is similar to the former NOCT except that it is measured with the module under maximum power rather than in open circuit. Under maximum power conditions (electric) energy is withdrawn from the module, therefore less thermal energy is dissipated throughout the module than under open-circuit conditions. Therefore NMOT is typically a few degrees lower than the former NOCT.

## 1 Scope and object

*Replace the first paragraph with the following text:*

This part of IEC 60904 describes the preferred method for determining the equivalent cell temperature (ECT) of PV devices (cells, modules and arrays of one type of module), for the purposes of comparing their thermal characteristics, determining NOCT (nominal operating cell temperature) or alternatively NMOT (nominal module operating temperature), and translating measured I-V characteristics to other temperatures.

## 2 Normative references

*Add the following standards to the list of normative references:*

IEC TS 60904-1-2:2019, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices*

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

*Delete the following standard from the list of normative references:*

ISO/IEC 17025, *General requirements for competence of testing and calibration laboratories*

### 3.1 Principle

*Replace the text of this subclause with the following new text:*

Experience shows that the equivalent cell temperature can be determined more precisely by the method described herein than by any alternative technique [1]<sup>1</sup>. However, increased variability and errors have been observed at irradiances below 400 W/m<sup>2</sup>, so this method should only be used at irradiances above this threshold.

### 3.2 General measurement requirements

*Add the following new text:*

- a) Use of the ECT method requires calibration of the device to be measured.

NOTE It is not sufficient to use calibration of another device of the same type, because even small differences in parameters between a calibrated device and a similar one can lead to significant errors (e.g. 0,3 % variation in module  $V_{OC}$  leads to 1 °C impact on ECT temperature).

*Renumber existing item a)1) as item b)1) as follows:*

- 1) The variation of  $V_{OC}$  needs to be linear as defined in IEC 60904-10 with respect to temperature.

*Replace item a)2) as item b)2) with the following new text:*

- 2) The variation of  $V_{OC}$  with respect to irradiance needs to have a quadratic dependence on the logarithm of irradiance.

*Delete items a)3) and a)4).*

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

*Replace the first two paragraphs of item b) with the following new text:*

- c) The irradiance measurements shall be made using a PV reference device packaged and calibrated in conformance with IEC 60904-2 or a pyranometer. Either use a PV reference device that is spectrally matched to the device under test (DUT), or perform a spectral mismatch correction and report in conformance with IEC 60904-7. The reference device shall be linear in short-circuit current as defined in IEC 60904-10 over the irradiance range of interest.

In accordance with IEC 60904-2, to be considered spectrally matched, a reference device shall be constructed using the same cell technology and encapsulation package as the device under test.

*Add the following new item d):*

- d) Some devices, in particular multi-junction, might have a spectral dependency of the open-circuit voltage [2]. For these devices, the spectral irradiance shall be determined with a spectroradiometer.

*Replace existing item c) as item e) with the following new text:*

- e) The active surface of the device under test shall be coplanar within  $\pm 2^\circ$  of the active surface of the reference device.

*Replace existing item d) as item f) with the following new text:*

- f) For appropriate connection method and measurement of voltages refer to IEC 60904-1.

## 4 Apparatus

*Replace items a), b) and c) as follows:*

- a) A PV reference device that meets the conditions stated in 3 c).  
b) Equipment to measure the open-circuit voltage to an instrumental measurement uncertainty better than  $\pm 0,2\%$ .  
c) Equipment to measure temperature to an instrumental measurement uncertainty of  $\pm 1$  K.

## 5 Determination of required input parameters

*Replace the bulleted list, given after the introductory text "The procedure requires a number of input parameters. These are:" with the following:*

- Relative temperature coefficient of open circuit voltage,  $\beta_{rel}$ . This shall be determined from cell or module measurements of representative samples in accordance with IEC 60891.

For bifacial modules, the temperature coefficient only needs to be determined from front side measurements.

- Open-circuit voltage ( $V_{OC1}$ ) at a reference condition ( $G_1$ ,  $T_1$ ) in accordance with IEC 60904-1 or IEC TS 60904-1-2 for a cell or module or in accordance with IEC 61829 for a PV array. The reference condition is often chosen to be the standard test conditions, i.e.  $G_{STC} = 1\,000\text{ W/m}^2$  and  $T_{STC} = 25^\circ\text{C}$  with a reference spectral irradiance distribution as defined in IEC 60904-3.
- When outdoor measurement ( $G_1$ ,  $T_1$ ) is carried out, it is recommended to apply insulating thermal tape, e.g. polyethylene foam, 1 mm thickness, with mass density less than  $0,03\text{ g/cm}^3$ , to cover the temperature sensor which is fixed by either aluminium or polyimide

tape. If the temperature around the module is subjected to spatial and temporal variability, use of insulating thermal tape shields the temperature sensor from influence of environmental factors such as wind, allowing more accurate measurements.

NOTE A method to determine the mass density can be found in ISO 7214[4].

- The procedure requires the irradiance correction factors,  $B_1$  and  $B_2$ .  $B_1$  is linked to the thermal diode voltage and  $B_2$  accounts for non-linearity of  $V_{OC}$  with irradiance scaling. The determination of these constants requires the measurement of the module I-V characteristic in accordance with IEC 60891 under at least five different irradiance levels.

## 6.2 Operating in a controlled environment

Add the following as new item c):

- c) For bifacial modules, a non-irradiated background is required as described in IEC TS 60904-1-2.

Replace existing item c) as item d) with the following:

- d) Take simultaneous readings of the open-circuit voltage of the device under test  $V_{OC2}$  and the incident irradiance ( $G_2$ ). Should there be any variation in the irradiance, treat as a measurement in arbitrary irradiance conditions as given in 6.3 and carry out the appropriate correction. An irradiance correction should be carried out if the scatter in the determined ECT is more than 1 K.

Renumber existing item d) as item e):

- e) Calculate the ECT as described in Clause 7.

## 6.3 Taking measurements under arbitrary irradiance conditions

Replace existing item a) with the following:

- a) Mount the radiation sensor coplanar with the device under test to an agreement better than  $\pm 2^\circ$ .

Replace existing items b) and c) as follows:

- b) For bifacial modules, two different setups are recommended for the measurement:

Method 1: use a low reflectivity black cover material to reduce back-to-front irradiance ratio to  $< 1\%$ , in order to minimize the rear irradiance contribution. The cover should be mounted behind the module in a way to limit interference with the module natural convective heat dissipation as much as possible.

Method 2: measure the plane-of-array irradiance on front side  $G_{fi}$  and the average irradiance on the rear side  $G_{ri}$  using PV reference devices compliant to IEC 60904-2.  $G_{ri}$  is the average of at least 5 measurement points located per the requirements of IEC TS 60904-1-2:2019, 6.3.2. The equivalent irradiance  $G_E$  on the bifacial module is then determined by:

$$G_{E_i} = G_{fi} + \varphi \times G_{ri} \quad (1)$$

where  $\varphi$  is the module bifaciality coefficient as determined in accordance with IEC TS 60904-1-2.

NOTE 1 Decision on which method to use is left to the user, on consideration of the targeted measurement uncertainty budget. Method 1 is expected to enable lower uncertainty when applied to NOCT or NMOT measurements, and for translating field measured I-V characteristics to standard test conditions.

NOTE 2 When applying method 2, particularly for bifacial systems, proper selection of the modules to be tested has to consider thermal and irradiance non-uniformities at the system level. IEC 61829 provides some guidance on the selection of typical modules within a PV array, recommending in particular to avoid selecting modules at ends of rows.

- c) Take simultaneous readings of the open-circuit voltage of the device under test  $V_{OC2}$  and the incident plane-of-array irradiance  $G_2$  (method 1), or alternatively of the irradiance on front side  $G_{f2}$  and average irradiance on the rear side  $G_{r2}$  (method 2).

## 7 Calculation of equivalent cell temperature

*Replace the existing text with the following new text:*

The equivalent cell temperature ECT is derived from the single diode equations describing the current voltage characteristic.

Solving the equation for  $V_2 = V_{OC2}$ , with  $V_1 = V_{OC1}$  and  $I_2 = I_1 = 0$  results in the following dependence of the open circuit voltage:

$$f(G_1, G_2) = 1 + B_1 \times \ln \frac{G_1}{G_2} + B_2 \times \ln^2 \left( \frac{G_1}{G_2} \right) \quad (2)$$

$$V_{oc2} = \frac{V_{oc1} \times \left[ 1 + \beta_{rel} \times (T_2 - T_1) \times f^2(G_1, G_2) \right]}{f(G_1, G_2)} \quad (3)$$

where

$V_{OC1}$  is the open-circuit voltage measured in Clause 5 at the chosen reference conditions, irradiance  $G_1$  and module temperature  $T_1$ ;

$V_{OC2}$  is the open-circuit voltage measured in Clause 6 at irradiance  $G_2$  and module temperature  $T_2$ ;

the relative temperature coefficient of the open-circuit voltage  $\beta_{rel}$  and the irradiance correction factors  $B_1$  and  $B_2$  are determined in Clause 5.

NOTE These formulae are derived from the IEC 60891 correction procedure 2 [3].

For measurement of bifacial modules using method 2, the irradiance  $G_2$  has to be replaced by the equivalent irradiance  $G_{E2}$ .

$$f(G_1, G_{E2}) = 1 + B_1 \times \ln \frac{G_1}{G_{E2}} + B_2 \times \ln^2 \left( \frac{G_1}{G_{E2}} \right) \quad (4)$$

$$V_{oc2} = \frac{V_{oc1} \times \left[ 1 + \beta_{rel} \times (T_2 - T_1) \times f^2(G_1, G_{E2}) \right]}{f(G_1, G_{E2})} \quad (5)$$

The relation between the different values of  $V_{OC}$  can then be rewritten to calculate the equivalent ECT per the formulas given below, for monofacial (6) and bifacial (7) devices:

$$ECT = T_2 = T_1 + \frac{1}{\beta_{rel} \times f^2(G_1, G_2)} \times \left[ \frac{V_{OC2}}{V_{OC1}} \times f(G_1, G_2) - 1 \right] \quad (6)$$

$$ECT = T_2 = T_1 + \frac{1}{\beta_{rel} \times f^2(G_1, G_{E2})} \times \left[ \frac{V_{OC2}}{V_{OC1}} \times f(G_1, G_{E2}) - 1 \right] \quad (7)$$

In the case of base measurements described in Clause 5 being taken at standard test conditions, the ECT for monofacial devices can be determined as:

$$ECT = T_2 = 25 + \frac{1}{\beta_{rel} \times f^2(1000, G_2)} \times \left[ \frac{V_{OC2}}{V_{OC, STC}} \times f(1000, G_2) - 1 \right] \quad (8)$$

## 8 Test report

*Delete the following sentence in the first paragraph:*

A test report with measured performance characteristics and test results shall be prepared by the test agency in accordance with ISO/IEC 17025.

*Replace existing item e) as follows:*

- e) A description and identification of the device under test (solar cell, sub-assembly of solar cells or PV module).

*Replace existing item n) as follows:*

- n) A statement to the effect that the results relate only to the device tested.

*Add the following new Bibliography:*

### Bibliography

- [1] S. Krauter, A. Preiss, "Comparison of module temperature measurement methods", Conference record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 10.1109/PVSC.2009.5411669

- [2] M. Pravettoni, A. Virtuani, K. Keller, M. Apolloni, H. Mullejans, "Spectral Mismatch Effect to the Open-circuit Voltage in the Indoor Characterization of Multi-junction Thin-film Photovoltaic Modules", *2013 IEEE 39<sup>th</sup> Photovoltaic Specialists Conference*, 10.1109/PVSC.2013.6744249
  
- [3] C. Monokroussos, H. Mullejans, Q. Gao, W. Herrmann, "I-V translation procedure for higher accuracy and compliance with PERC cell technology requirements", *35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC)*, online, 2020, 10.4229/EUPVSEC20202020-4AV.2.19
  
- [4] ISO 7214: *Cellular plastics – Polyethylene – Methods of test*

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-5:2011/AMD1:2022

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

### Partie 5: Détermination de la température de cellule équivalente (ECT) des dispositifs photovoltaïques (PV) par la méthode de la tension en circuit ouvert

#### AMENDEMENT 1

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

L'amendement 1 à l'IEC 60904-5:2011 a été établi par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cet Amendement est issu des documents suivants:

| Projet       | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 82/2069/FDIS | 82/2082/RVD     |

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

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

La langue employée pour l'élaboration de cet Amendement est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous [www.iec.ch/standardsdev/publications/](http://www.iec.ch/standardsdev/publications/).

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](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.

---

## INTRODUCTION

*Ajouter le nouveau texte suivant:*

Pour les modules dont l'inertie thermique est importante, comme les modules bi-verre pour applications BIPV, les mesurages deviennent même de plus en plus difficiles au fur et à mesure que la différence entre les températures externes de la cellule et du module augmente pendant les conditions transitoires. De plus, pour les modules photovoltaïques bifaces, les capteurs de température peuvent obturer des cellules actives et même, potentiellement, même créer des points chauds aux endroits où les capteurs sont situés sur des zones utiles de cellules.

NOTE 1 La température nominale de fonctionnement du module (NMOT - nominal module operating temperature) est définie comme la température moyenne d'équilibre de jonction des cellules PV dans un module installé sur un bâti ouvert fonctionnant quasiment à sa puissance maximale, dans l'environnement de référence normal suivant:

- angle d'inclinaison:  $(37 \pm 5)^\circ$  ;
- éclairement total:  $800 \text{ W/m}^2$  ;
- température ambiante:  $20^\circ\text{C}$  ;
- vitesse du vent  $1 \text{ m/s}$  ;
- charge électrique: Une charge résistive dimensionnée de telle manière que le module fonctionne à une valeur proche de son point de puissance maximale dans les conditions normales d'essai (STC - standard test conditions) ou selon le suivi électronique du point de fonctionnement à puissance maximale (MPPT - maximum power point tracking).

NOTE 2 La NMOT est similaire à la température nominale de fonctionnement d'une cellule (NOCT - nominal operating cell temperature) utilisée précédemment, la différence est qu'elle est mesurée alors que le module est à sa puissance maximale plutôt qu'en circuit ouvert. Dans les conditions de fonctionnement à puissance maximale, de l'énergie (électrique) est extraite du module. Par conséquent, une quantité moins importante d'énergie thermique est dissipée en passant par le module que dans les conditions de circuit ouvert. Par conséquent, la NMOT est ainsi généralement plus basse de quelques degrés par rapport à la NOCT utilisée précédemment.

## 1 Domaine d'application et objet

*Remplacer le premier alinéa par le texte suivant:*

La présente partie de l'IEC 60904 décrit la méthode préférentielle pour déterminer la température de cellule équivalente (ECT - equivalent cell temperature) des dispositifs photovoltaïques (cellules, modules et groupes d'un type de module), dans le but de comparer leurs caractéristiques thermiques, de déterminer leur NOCT ou leur NMOT et de transposer les caractéristiques I-V mesurées à d'autres températures que celles de leur mesurage.

## 2 Références normatives

*Ajouter les normes suivantes à la liste des références normatives:*

IEC TS 60904-1-2:2019, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices* (Disponible en anglais seulement)

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*

*Supprimer la norme suivante de la liste des références normatives:*

ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

### 3.1 Principe

*Remplacer le texte de ce paragraphe par le nouveau texte suivant:*

L'expérience montre que la température de cellule équivalente peut être déterminée plus précisément par la méthode décrite ici que par toute technique alternative [1]<sup>1</sup>. Cependant, une variabilité accrue ainsi que des erreurs ont été observées pour des éclairagements inférieurs à 400 W/m<sup>2</sup>, aussi, il convient que la présente méthode ne soit utilisée que pour des éclairagements supérieurs à ce seuil.

### 3.2 Exigences générales de mesure

*Ajouter le nouveau texte suivant:*

a) L'utilisation de la méthode ECT exige l'étalonnage du dispositif qui doit être mesuré.

NOTE Il ne suffit pas d'utiliser l'étalonnage d'un autre dispositif du même type, car même de petites différences dans les paramètres entre un dispositif étalonné et un dispositif similaire peuvent donner lieu à des erreurs importantes (par exemple 0,3 % de variation pour la valeur  $V_{OC}$  du module a un impact de 1 °C sur la température ECT).

*Renommer le point a)1) existant en point b)1) comme suit:*

1) Il est nécessaire que la variation de  $V_{OC}$  soit linéaire comme cela est défini dans l'IEC 60904-10 en ce qui concerne la température.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

*Remplacer le point a)2) qui devient b)2) par le nouveau texte suivant:*

- 2) Il est nécessaire que la variation de  $V_{OC}$  dépende de façon logarithmique quadratique de l'éclairement.

*Supprimer les points a)3) et a)4).*

*Remplacer les deux premiers alinéas du point b) par le nouveau texte suivant:*

- c) Les mesurages de l'éclairement doivent être effectués à l'aide d'un dispositif PV de référence conditionné et étalonné conformément à l'IEC 60904-2 ou d'un pyranomètre. Soit utiliser un dispositif PV de référence dont le spectre est adapté au dispositif soumis à l'essai (DUT), soit réaliser une correction de désadaptation des réponses spectrales et consigner les éléments conformément à l'IEC 60904-7. Le dispositif de référence doit être linéaire dans le courant de court-circuit, comme cela est défini dans l'IEC 60904-10 dans la plage d'éclairement concernée.

Conformément à l'IEC 60904-2, pour être considéré comme adapté spectralement, un dispositif de référence doit être construit en utilisant la même technologie de cellule et un conditionnement d'encapsulation identique à celui du dispositif soumis à l'essai.

*Ajouter le nouveau point d) suivant:*

- d) Certains dispositifs, en particulier ceux avec cellules multijonctions, peuvent présenter une dépendance spectrale de la tension en circuit ouvert [2]. Pour ces dispositifs, l'éclairement spectral doit être déterminé à l'aide d'un spectroradiomètre.

*Remplacer le point c) existant qui devient e) par le nouveau texte suivant:*

- e) La surface active du dispositif soumis à l'essai doit être coplanaire à  $\pm 2^\circ$  par rapport à la surface active du dispositif de référence.

*Remplacer le point d) existant qui devient f) par le nouveau texte suivant:*

- f) Se reporter à l'IEC 60904-1 pour la méthode de connexion adaptée et le mesurage des tensions.

## 4 Appareillage

*Remplacer les points a), b) et c) comme suit:*

- a) Un dispositif PV de référence qui satisfait aux conditions mentionnées en 3 c).  
b) Un équipement pour mesurer la tension en circuit ouvert avec une incertitude de mesure de l'instrument meilleure que  $\pm 0,2 \%$ .  
c) Un équipement pour mesurer la température avec une incertitude de mesure de l'instrument de  $\pm 1 \text{ K}$ .

## 5 Détermination des paramètres d'entrée exigés

*Après le texte d'introduction "La procédure nécessite un certain nombre de paramètres d'entrée, qui sont:" remplacer la liste à puces par ce qui suit:*

- Coefficient de température relatif de la tension en circuit ouvert,  $\beta_{rel}$ . Celui-ci doit être déterminé à partir des mesurages de cellule ou de module des échantillons représentatifs conformément à l'IEC 60891.

Pour les modules bifaces, le coefficient de température ne doit être déterminé que par des mesurages en face avant.

- La tension en circuit ouvert ( $V_{OC1}$ ) à une condition de référence ( $G_1, T_1$ ) conformément à l'IEC 60904-1 ou à l'IEC TS 60904-1-2 pour une cellule ou un module ou conformément à l'IEC 61829 pour un groupe PV. La condition de référence est souvent choisie pour correspondre aux conditions normales d'essai, c'est-à-dire  $G_{STC} = 1\,000\text{ W/m}^2$  et  $T_{STC} = 25\text{ °C}$  avec une distribution spectrale de l'éclairement de référence comme cela est défini dans l'IEC 60904-3.
- Lors du mesurage à l'extérieur ( $G_1, T_1$ ), il est recommandé d'appliquer du ruban thermique isolant, par exemple de la mousse de polyéthylène d'une épaisseur de 1 mm et d'une masse volumique inférieure à  $0,03\text{ g/cm}^3$ , pour recouvrir le capteur de température qui est fixé à l'aide d'un ruban d'aluminium ou de polyimide. Si la température autour du module est soumise à une variabilité spatiale et temporelle, l'utilisation d'un ruban thermique isolant qui protège le capteur de température de l'influence des facteurs environnementaux comme le vent permet des mesurages avec une plus grande exactitude.

NOTE Une méthode pour la détermination de la masse volumique peut être tirée de l'ISO 7214 [4].

- La procédure exige les facteurs de correction d'éclairement,  $B_1$  et  $B_2$ .  $B_1$  est lié à la tension de la diode thermique et  $B_2$  rend compte de la non-linéarité de  $V_{OC}$  par rapport à l'échelle d'éclairement. La détermination de ces constantes exige le mesurage de la caractéristique I-V du module conformément à l'IEC 60891 avec au minimum cinq niveaux d'éclairement différents.

## 6.2 Fonctionnement dans un environnement contrôlé

*Ajouter le point suivant comme nouveau point c):*

- c) Pour les modules bifaces, un arrière de module non éclairé est exigé, comme cela est décrit dans IEC TS 60904-1-2.

*Remplacer le point c) existant qui devient d) par le nouveau texte suivant:*

- d) Relever simultanément la tension en circuit ouvert du dispositif soumis à l'essai  $V_{OC2}$  et l'éclairement incident ( $G_2$ ). En cas de variation quelconque de l'éclairement, traiter cette variation comme un mesurage dans des conditions d'éclairement arbitraires, comme cela est mentionné en 6.3, et appliquer la correction appropriée. Il convient d'appliquer une correction de l'éclairement si la dispersion de l'ECT déterminée est supérieure à 1 K.

*Renommer le point d) existant point e):*

- e) Calculer l'ECT comme cela est décrit à l'Article 7.

## 6.3 Relevé de mesures dans des conditions d'éclairement arbitraires

*Remplacer le point a) existant par ce qui suit:*

- a) Monter le capteur de rayonnement dans un plan parallèle à celui du dispositif soumis à l'essai avec une tolérance meilleure que  $\pm 2\text{ °}$ .

*Remplacer les points b) et c) existants comme suit:*

- b) Pour les modules bifaces, deux montages différents sont recommandés pour le mesurage:  
Méthode 1: utiliser un matériau occultant noir dont la réflectivité est faible afin de réduire le rapport d'éclairement entre la face avant et la face arrière à une valeur  $< 1\%$  afin de réduire le plus possible la contribution de l'éclairement arrière. Il convient de placer le matériau occultant à l'arrière du module de manière à limiter le plus possible les interférences avec la dissipation de chaleur convective naturelle du module.

Méthode 2: mesurer l'éclairement dans le plan du groupe PV sur la face avant  $G_{fi}$  et l'éclairement moyen sur la face arrière  $G_{ri}$  à l'aide de dispositifs PV de référence conformes à l'IEC 60904-2.  $G_{ri}$  est la moyenne de cinq points de mesure au moins, disposés comme cela est exigé dans l'IEC TS 60904-1-2:2019, 6.3.2. L'éclairement équivalent GE sur le module biface est alors déterminé par:

$$G_{E_i} = G_{f_i} + \varphi \times G_{r_i} \quad (1)$$

où  $\varphi$  est le coefficient de bifacialité du module, déterminé selon l'IEC TS 60904-1-2.

NOTE 1 La décision du choix de la méthode à utiliser est laissée à l'utilisateur, à partir du bilan d'incertitude de mesure cible. Il est attendu que la méthode 1 permette une incertitude plus faible lorsqu'elle est appliquée aux mesurages de la NOCT ou de la NMOT, et pour transposer des caractéristiques I-V mesurées sur le terrain aux conditions normales d'essais.

NOTE 2 Lors de l'application de la méthode 2, et en particulier pour les groupes PV avec modules bifaces, une sélection correcte des modules à soumettre aux essais doit prendre en considération les non-uniformités thermiques et d'éclairement au niveau du système. L'IEC 61829 fournit des recommandations relatives au choix de modules types dans un groupe PV, et recommande en particulier d'éviter de choisir des modules qui se situent en bout de rang.

- c) Relever simultanément la tension en circuit ouvert du dispositif soumis à l'essai  $V_{OC2}$  et l'éclairement incident dans le plan du groupe PV  $G_2$  (méthode 1), ou l'éclairement sur la face avant  $G_{fi}$  et l'éclairement moyen sur la face arrière  $G_{ri}$  (méthode 2).

## 7 Calcul de la température de cellule équivalente

Remplacer le texte existant par le nouveau texte suivant:

La température de cellule équivalente ECT est obtenue à partir des équations de diode unique décrivant les caractéristiques courant-tension.

La résolution de l'équation pour  $V_2 = V_{OC2}$ , avec  $V_1 = V_{OC1}$  et  $I_2 = I_1 = 0$  donne la dépendance suivante de la tension en circuit ouvert:

$$f(G_1, G_2) = 1 + B_1 \times \ln \frac{G_1}{G_2} + B_2 \times \ln^2 \left( \frac{G_1}{G_2} \right) \quad (2)$$

$$V_{OC2} = \frac{V_{OC1} \times \left[ 1 + \beta_{rel} \times (T_2 - T_1) \times f^2(G_1, G_2) \right]}{f(G_1, G_2)} \quad (3)$$

où

$V_{OC1}$  est la tension en circuit ouvert mesurée à l'Article 5 dans les conditions de référence choisies, pour un éclairement  $G_1$  et une température de module  $T_1$ ;

$V_{OC2}$  est la tension en circuit ouvert mesurée à l'Article 6 pour un éclairement  $G_2$  et une température de module  $T_2$ ;

le coefficient de température relatif de la tension de circuit ouvert  $\beta_{rel}$  et les facteurs de correction d'éclairement  $B_1$  et  $B_2$  sont déterminés à l'Article 5.

NOTE Ces formules proviennent de la procédure de correction 2 de l'IEC 60891 [3].