

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**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 © 2011 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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 60904-5

Edition 2.0 2011-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

PRICE CODE
CODE PRIX

K

ICS 27.160

ISBN 978-2-88912-366-7

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references	6
3 Measurement principle and requirements	6
3.1 Principle.....	6
3.2 General measurement requirements.....	7
4 Apparatus.....	7
5 Determination of required input parameters	7
6 Procedure	8
6.1 General.....	8
6.2 Operating in a controlled environment	8
6.3 Taking measurements under arbitrary irradiance conditions	8
7 Calculation of equivalent cell temperature	8
8 Test report.....	9

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

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

FOREWORD

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

International Standard IEC 60904-5 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition, issued in 1993, and constitutes a technical revision.

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

- added and updated normative references;
- added reporting section;
- added method on how to extract the input parameters;
- rewritten method on how to calculate ECT;
- reworked formulae to be in line with IEC 60891.

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

CDV	Report on voting
82/595/CDV	82/626/RVC

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

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

INTRODUCTION

When temperature sensors, such as thermocouples, are used to determine the cell temperature of PV devices under natural or simulated steady-state irradiance, two main problems arise. First, a considerable spread of temperature can be observed over the area of the module. Second, as the solar cells are usually not accessible, sensors are attached to the back of the module and the measured temperature thus is influenced by the thermal conductivity of the encapsulant and back materials. These problems are aggravated when determining the equivalent cell temperature for on-site measurements of array performance where all cells have slightly different temperatures and one cannot easily determine the average cell temperature.

The equivalent cell temperature (ECT) is the average temperature at the electronic junctions of the device (cells, modules, arrays of one type of module) which equates to the current operating temperature if the entire device were operating uniformly at this junction temperature.

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

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

1 Scope and object

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) and translating measured I-V characteristics to other temperatures.

This standard applies to linear devices with logarithmic V_{OC} dependence on irradiance and in stable conditions. It may be used for all technologies but one has to verify that there is no preconditioning effect influencing the measurement.

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, *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 reference solar devices*

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

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 61829, *Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On-site measurement of I-V characteristics*

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

3 Measurement principle and requirements

3.1 Principle

The method described below is based on the fact that the open-circuit voltage (V_{OC}) of a solar cell changes with temperature in a predictable fashion. If the open-circuit voltage of the device at standard test conditions is known, together with its temperature coefficient, the

equivalent temperature of all the cells in the device can be determined. The open-circuit voltage is also slightly affected by the irradiance, so an additional correction may be required as outlined in IEC 60891. Experience shows that the equivalent cell temperature can be determined more precisely by the method described here than by any alternative technique. However, as the temperature coefficient β drops rapidly at irradiances below 200 W/m², this method should only be used at irradiances above this threshold.

3.2 General measurement requirements

- a) The device under test needs to match the following criteria:
- 1) The variation of V_{OC} needs to be linear as defined in IEC 60904-10 with respect to temperature.
 - 2) The variation of V_{OC} needs to follow a logarithmic dependence with irradiance.
 - 3) It needs to have an ohmic series resistance as otherwise there will be different ECT-coefficients for different temperature regions.
 - 4) The shunt resistances of the device need to be reasonably high, as for the majority of commercially available devices, as otherwise there will be different ECT-coefficients for different temperature regions.
- b) The irradiance measurements shall be made using a PV reference device packaged and calibrated in conformance with IEC 60904-2 or a pyranometer. The PV reference device shall either be spectrally matched to the test specimen, or a spectral mismatch correction shall be performed 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 test device. Otherwise the spectral mismatch will have to be reported.

NOTE Some devices might have a significant spectral dependency in the open-circuit voltage. In such a case, a spectroradiometer would be needed to ensure stable incident spectrum.

- c) The active surface of the specimen shall be coplanar within $\pm 2^\circ$ of the active surface of the reference device.
- d) Voltages shall be measured to an accuracy of $\pm 0,2 \%$ of the open-circuit voltage using independent leads from the terminals of the specimen and keeping them as short as possible. The measurement ranges of the data acquisition should be carefully chosen. If the test specimen is a module, the 4-wire connection should start at the terminals or connectors. If the test specimen is a cell, the 4-wire connection should start at the bus bars.

4 Apparatus

In addition to the general measurement requirements of Clause 3 the following equipment is required to perform I-V characteristic measurements:

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

5 Determination of required input parameters

The procedure requires a number of input parameters. These are:

- Temperature coefficient of the open circuit voltage, β . This shall be determined from cell or module measurements of representative samples in accordance with IEC 60891.
- Open-circuit voltage (V_{OC1}) at a reference condition (G_1, T_1) in accordance with IEC 60904-1 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 as defined in IEC 61215, i.e. $G_{STC} = 1\ 000\ \text{W/m}^2$ and $T_{STC} = 25\ ^\circ\text{C}$.

- The procedure requires a constant, a , which is also interpreted as the thermal diode voltage. The determination of this requires the measurement of the open-circuit voltage at two different irradiance levels G_3 and G_4 , one of which may be the point G_1, T_1 .

6 Procedure

6.1 General

The procedure can be carried out either in a controlled environment or by taking measurements at arbitrary irradiances and correcting to the reference irradiance G_1 .

6.2 Operating in a controlled environment

- Mount the radiation sensor coplanar with the test device to an agreement better than $\pm 2^\circ$.
- Set the irradiance to be equal to that of the reference condition G_1 using the reference device.
- Take simultaneous readings of the open-circuit voltage of the test device 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.
- Calculate the ECT as described in Clause 7.

6.3 Taking measurements under arbitrary irradiance conditions

- Mount the radiation sensor coplanar with the test device to an agreement better than $\pm 2^\circ$.
- Take simultaneous readings of the open-circuit voltage of the test device V_{OC2} and the incident irradiance G_2 .
- Carry out a correction of V_{OC2} to an irradiance equal to G_1 .
- Calculate the ECT as described in Clause 7.

7 Calculation of equivalent cell temperature

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:

$$V_{OC2} = V_{OC1} + V_{OC1} \left[\beta(T_2 - T_1) + a \ln \frac{G_2}{G_1} \right] \quad (1)$$

where

V_{OC1} is the open-circuit voltage measured in Clause 5 at the 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 temperature coefficient of the open-circuit voltage β has also been measured as part of Clause 5 in accordance with IEC 60891;

the parameter, a , is the thermal diode voltage, which can be determined from measurements at different light intensities but identical temperatures as:

$$a = \frac{V_{OC4} - V_{OC3}}{V_{OC3} \ln(G_4/G_3)} \quad (2)$$

where V_{OC3} and V_{OC4} are the voltages measured in Clause 5 at the same module temperatures but at different irradiances G_3 and G_4 , respectively.

Instead of the irradiances G_1 and G_2 , one can also use the ratio of short-circuit currents, which then is called self-reference. This requires short circuit current to be linear according to IEC 60904-10. This simplifies the measurements to be taken significantly as one essentially eliminates the requirement for measuring the irradiance and the dependence on the spectrally matched devices.

The relation between the different values of V_{OC} can then be rewritten to calculate the equivalent ECT as:

$$ECT = T_2 = T_1 + \frac{1}{\beta} \left[\frac{V_{OC2}}{V_{OC1}} - 1 - a \ln\left(\frac{G_2}{G_1}\right) \right] \quad (3)$$

NOTE This assumes that the spatial and thermal non-uniformity between the two V_{OC} is identical. For non-uniform temperature or illumination there will be a small error in ECT because the equivalent circuit model assumes uniform temperature and illumination.

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

$$ECT = 25^\circ\text{C} + \frac{1}{\beta} \left[\frac{V_{OC2}}{V_{OC,STC}} - 1 - a \ln\left(\frac{G_2}{1\,000}\right) \right] \quad (4)$$

This equation is closely related to the formulation of method 1 in the standard for temperature and irradiance corrections (IEC 60891). The factor a is linked to the number of cells (junctions) in series in the module (n_s) as well as the thermal voltage D as defined in IEC 60891. Thus one can write the ECT in terms of this standard as:

$$ECT = T_2 = T_1 + \beta^{-1} \left[\frac{V_{OC2}}{V_{OC1}} - 1 + D \times n_s \times \ln\left(\frac{G_2}{G_1}\right) \right] \quad (5)$$

8 Test report

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

- a) A title.
- b) Name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out.
- c) Unique identification of the report and of each page.
- d) Name and address of client.
- e) A description and identification of the specimen (solar cell, sub-assembly of solar cells or PV module).
- f) Description of the test environment (natural or simulated sunlight and, in the latter case, brief description and class of simulator).
- g) Date of receipt of test item and date(s) of calibration or test, where appropriate.
- h) Reference to sampling procedure, where relevant.

- i) Identification of calibration or test method used.
 - j) Any deviations from, additions to or exclusions from the calibration or test method, and any other information relevant to a specific calibration or test, such as environmental conditions.
 - k) Identification of the method for determination of input parameters.
 - l) A statement of the result and the estimated uncertainty of test results.
 - m) A signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the test report, and the date of issue.
 - n) A statement to the effect that the results relate only to the specimen tested.
 - o) A statement that the test report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	13
INTRODUCTION.....	15
1 Domaine d'application et objet.....	16
2 Références normatives.....	16
3 Principe et exigences de mesure.....	17
3.1 Principe.....	17
3.2 Exigences générales de mesure.....	17
4 Appareillage.....	17
5 Détermination des paramètres d'entrée exigés.....	18
6 Procédure.....	18
6.1 Généralités.....	18
6.2 Fonctionnement dans un environnement contrôlé.....	18
6.3 Relevé de mesures dans des conditions d'éclairement arbitraires.....	18
7 Calcul de la température de cellule équivalente.....	18
8 Rapport d'essai.....	20

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

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 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 la CEI. La CEI 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 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 brevet. La CEI 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 CEI 60904-5 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 1993, dont elle constitue une révision technique.

Les principaux changements techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

- ajout et mise à jour de références normatives;
- ajout d'une section concernant le rapport;
- ajout d'une méthode explicitant comment extraire les paramètres d'entrée;

- réécriture de la méthode explicitant comment calculer ECT;
- travail sur les formules pour qu'elles soient cohérentes avec la CEI 60891.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
82/595/CDV	82/626/RVC

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

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.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de 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.

INTRODUCTION

Quand des sondes de température, telles que des thermocouples, sont utilisées pour déterminer la température de cellule des dispositifs photovoltaïques sous un éclairage naturel ou simulé à l'équilibre, deux problèmes majeurs se posent. Premièrement, on peut observer une dispersion de température considérable à la surface du module. Deuxièmement, étant donné que les cellules solaires ne sont généralement pas accessibles, les sondes sont placées à l'arrière du module et la température ainsi mesurée est influencée par la conductivité thermique de l'encapsulant et des matériaux composant les faces arrière du module. Ces problèmes sont aggravés quand on détermine la température de cellule équivalente pour des mesures sur site de performance d'un champ de modules, où toutes les cellules ont des températures légèrement différentes et il n'est pas facile de déterminer la température de cellule moyenne.

La température de cellule équivalente (ECT)¹, est la température moyenne aux jonctions électroniques d'un dispositif (cellules, modules, champs d'un type de module), qui équivaut à la température de fonctionnement, si le dispositif entier fonctionnait uniformément à cette température de jonction.

¹ ECT en anglais: *Equivalent cell temperature*.

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

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60904 décrit la méthode préférentielle pour déterminer la température de cellule équivalente (ECT) des dispositifs photovoltaïques (cellules, modules et champs d'un type de module), dans les buts de comparer leurs caractéristiques thermiques, de déterminer leur NOCT (température nominale d'utilisation des cellules)² et de transposer les caractéristiques I-V mesurées à d'autres températures que celles de leur mesure.

Cette norme s'applique aux dispositifs linéaires dont V_{oc} dépend de façon logarithmique de l'éclairement, dans des conditions stables. Elle peut être utilisée pour toutes les technologies mais il doit être vérifié qu'il n'y a pas d'effet de préconditionnement qui influence la mesure.

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

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

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 61829, *Champ de modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin – Mesure sur site des caractéristiques I-V*

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

² NOCT en anglais: Nominal operation cell temperature.

3 Principe et exigences de mesure

3.1 Principe

La méthode décrite ci-dessous est basée sur le fait que la tension en circuit ouvert (V_{OC}) d'une cellule solaire varie en fonction de la température de façon prévisible. Si la tension en circuit ouvert du dispositif dans des conditions d'essai normalisées est connue, ainsi que son coefficient de température, la température équivalente de toutes les cellules dans le dispositif peut être déterminée. La tension en circuit ouvert est aussi légèrement affectée par l'éclairement, et une correction supplémentaire peut donc être nécessaire comme indiqué dans la CEI 60891. L'expérience montre que la température de cellule équivalente peut être déterminée plus précisément par la méthode décrite ici que par toute technique alternative. Cependant, comme le coefficient de température β chute rapidement pour des éclaircements inférieurs à 200 W/m^2 , il convient que la présente méthode ne soit utilisée que pour des éclaircements supérieurs à ce seuil.

3.2 Exigences générales de mesure

- a) Il est nécessaire que le dispositif soumis à l'essai satisfasse aux critères suivants:
 - 1) Il est nécessaire que la variation de V_{OC} soit linéaire en fonction de la température, tel que défini dans la CEI 60904-10.
 - 2) Il est nécessaire que la variation de V_{OC} dépende de façon logarithmique de l'éclairement.
 - 3) Il est nécessaire d'avoir une résistance série ohmique sinon les coefficients ECT seront différents pour des régions de températures différentes.
 - 4) Il est nécessaire que les résistances shunt du dispositif soient raisonnablement élevées, comme pour la majorité des dispositifs disponibles commercialement, sinon les coefficients ECT seront différents pour des régions de températures différentes.
- b) Les mesures de l'éclairement doivent être effectuées à l'aide d'un dispositif PV de référence emballé et étalonné conformément à la CEI 60904-2 ou d'un pyranomètre. Le spectre du dispositif PV de référence doit être adapté au spécimen en essai, ou une correction de désadaptation des réponses spectrales doit être réalisée conformément à la CEI 60904-7. Le dispositif de référence doit être linéaire dans le courant de court-circuit, comme défini dans la CEI 60904-10 dans la plage d'éclairement concernée.

Conformément à la CEI 60904-2, pour être considéré comme adapté spectralement, un dispositif de référence doit être construit en utilisant la même technologie de cellule et un emballage d'encapsulation identique à celui du dispositif d'essai. A part cela, la désadaptation des réponses spectrales devra être consignée.

NOTE Quelques dispositifs peuvent avoir une dépendance spectrale significative avec la tension en circuit ouvert. Un spectroradiomètre serait alors nécessaire pour assurer un spectre incident stable.

- c) La surface active du spécimen doit être coplanaire à $\pm 2^\circ$ par rapport à la surface active du dispositif de référence.
- d) Les tensions doivent être mesurées avec une précision de $\pm 0,2 \%$ de la tension en circuit ouvert en utilisant des fils indépendants à partir des bornes du spécimen et en les maintenant aussi courts que possible. Il convient que les plages de mesure pour l'acquisition des données soient choisies avec soin. Si le spécimen en essai est un module, il convient que la connexion à 4 fils commence aux bornes ou aux connecteurs. Si le spécimen en essai est une cellule, il convient que la connexion à 4 fils commence aux barres omnibus.

4 Appareillage

En supplément des exigences générales de mesure de l'Article 3, l'équipement suivant est exigé pour effectuer les mesures de la caractéristique I-V:

- a) Un dispositif PV de référence qui satisfait aux conditions mentionnées en 3 a).

- b) Un équipement pour mesurer la tension en circuit ouvert avec une précision supérieure à $\pm 0,2 \%$.
- c) Un équipement pour mesurer la température avec une précision de $\pm 1 \text{ K}$.

5 Détermination des paramètres d'entrée exigés

La procédure nécessite un certain nombre de paramètres d'entrée, qui sont:

- Le coefficient de température de la tension en circuit ouvert, β . Celui-ci doit être déterminé à partir des mesures de cellule ou de module pour des échantillons représentatifs conformément à la CEI 60891.
- La tension en circuit ouvert (V_{OC1}) aux conditions de référence (G_1, T_1), conformément à la CEI 60904-1 pour une cellule ou un module ou conformément à la CEI 61829 pour un générateur PV. Les conditions de référence sont généralement choisies pour correspondre aux conditions normales d'essai telles que définies dans la CEI 61215, c'est-à-dire $G_{STC} = 1\,000 \text{ W/m}^2$ et $T_{STC} = 25 \text{ °C}$.
- La procédure nécessite une constante, a , laquelle est également interprétée comme la tension thermique de la diode. Sa détermination nécessite la mesure de la tension en circuit ouvert à deux niveaux d'éclairement différents G_3 et G_4 , l'un deux pouvant être le point G_1, T_1 .

6 Procédure

6.1 Généralités

La procédure peut être mise en œuvre soit dans un environnement contrôlé, soit en prenant les mesures à des éclaircements arbitraires et en les corrigeant pour un éclairciment de référence G_1 .

6.2 Fonctionnement dans un environnement contrôlé

- a) Monter la sonde de rayonnement dans un plan parallèle à celui du dispositif d'essai avec une précision supérieure à $\pm 2^\circ$.
- b) Régler l'éclairement pour qu'il soit égal à celui des conditions de référence G_1 en utilisant le dispositif de référence.
- c) Relever simultanément la tension en circuit ouvert du dispositif d'essai V_{OC2} et l'éclairement incident (G_2). Il convient que toute variation de l'éclairement soit traitée comme une mesure dans des conditions d'éclairement arbitraires, comme mentionné en 6.3 et d'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.
- d) Calculer l'ECT comme décrit à l'Article 7.

6.3 Relevé de mesures dans des conditions d'éclairement arbitraires

- a) Monter la sonde de rayonnement dans un plan parallèle à celui du dispositif d'essai avec une précision supérieure à $\pm 2^\circ$.
- b) Relever simultanément la tension en circuit ouvert du dispositif en essai V_{OC2} et l'éclairement incident G_2 .
- c) Appliquer une correction à V_{OC2} pour un éclairciment égal à G_1 .
- d) Calculer l'ECT comme décrit à l'Article 7.

7 Calcul de la température de cellule équivalente

La température de cellule équivalente ECT est dérivée 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 $I_2 = I_1 = 0$ résulte de la dépendance suivante à la tension en circuit ouvert:

$$V_{OC2} = V_{OC1} + V_{OC1} \left[\beta(T_2 - T_1) + a \ln \frac{G_2}{G_1} \right] \quad (1)$$

où

V_{OC1} est la tension en circuit ouvert mesurée à l'Article 5 pour un éclairage G_1 et une température de module T_1 ;

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

le coefficient de température de la tension en circuit ouvert β a également été mesuré selon une partie de l'Article 5, conformément à la CEI 60891;

le paramètre, a , est la tension thermique de la diode, laquelle peut être déterminée à partir des mesures pour différentes intensités lumineuses mais pour des températures identiques selon:

$$a = \frac{V_{OC4} - V_{OC3}}{V_{OC3} \ln (G_4/G_3)} \quad (2)$$

où V_{OC3} et V_{OC4} sont les tensions mesurées à l'Article 5 pour des températures de module identiques mais pour des éclairages différents, G_3 et G_4 , respectivement.

Au lieu des éclairages G_1 et G_2 , le rapport des courants de court-circuit peut aussi être utilisé, lequel est alors appelé référence propre. Cela nécessite que le courant de court-circuit soit linéaire conformément à la CEI 60904-10. Cela simplifie significativement les mesures à prendre puisqu'essentiellement, l'exigence relative à la mesure de l'éclairage et de la dépendance des dispositifs dont le spectre est adapté est éliminée.

La relation entre les différentes valeurs de V_{OC} peut alors être réécrite pour calculer l'ECT équivalente selon:

$$ECT = T_2 = T_1 + \frac{1}{\beta} \left[\frac{V_{OC2}}{V_{OC1}} - 1 - a \ln \left(\frac{G_2}{G_1} \right) \right] \quad (3)$$

NOTE Cela suppose que les non-uniformités spatiale et thermique entre les deux V_{OC} soient identiques. Pour un éclairage ou une température non uniforme, il y aura une petite erreur pour l'ECT, parce que le modèle de circuit équivalent suppose un éclairage et une température uniformes.

Dans le cas des mesures de base décrites à l'Article 5 et obtenues dans les conditions normales d'essai, l'ECT peut être déterminée selon:

$$ECT = 25^\circ\text{C} + \frac{1}{\beta} \left[\frac{V_{OC2}}{V_{OC,STC}} - 1 - a \ln \left(\frac{G_2}{1\,000} \right) \right] \quad (4)$$

Cette équation est étroitement liée à la formulation de la méthode 1 de la norme pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairage (CEI 60891). Le facteur a est lié au nombre de cellules (jonctions) en série dans le module (n_s) ainsi qu'à la tension thermique D définie dans la CEI 60891. De ce fait, l'ECT peut être écrite selon les termes de cette norme comme:

$$ECT = T_2 = T_1 + \beta^{-1} \left[\frac{V_{OC2}}{V_{OC1}} - 1 + D \times n_s \times \ln \left(\frac{G_2}{G_1} \right) \right] \quad (5)$$

8 Rapport d'essai

Un rapport d'essai contenant les caractéristiques de performance mesurées et les résultats d'essais doit être préparé par le laboratoire d'essai conformément à l'ISO/CEI 17025. Le rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- a) Un titre.
 - b) Le nom et l'adresse du laboratoire d'essai et le lieu où les essais ont été réalisés.
 - c) L'identification unique du rapport et de chaque page.
 - d) Le nom et l'adresse du client.
 - e) Une description et l'identification du spécimen (cellule solaire, sous-assemblage de cellules solaires ou module PV).
 - f) Description de l'environnement d'essai (ensoleillement naturel ou simulé et, dans ce dernier cas, une rapide description et la classe du simulateur).
 - g) Date de réception de l'unité d'essai et date(s) de l'étalonnage ou de l'essai, s'il y a lieu;
 - h) La référence de la procédure d'échantillonnage, s'il y a lieu.
 - i) L'identification de la méthode d'étalonnage ou d'essai utilisée.
 - j) Tout écart par rapport à, tout complément à ou toute exclusion de la méthode d'étalonnage ou d'essai, et toute autre information appropriée à un étalonnage ou essai spécifique, telles que les conditions d'environnement.
 - k) L'identification de la méthode utilisée pour déterminer les paramètres d'entrée.
 - l) Une indication sur le résultat et l'incertitude estimée des résultats d'essai.
 - m) Une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personne(s) acceptant d'être responsable(s) du contenu du rapport d'essai, et la date d'édition.
 - n) Une indication du fait que les résultats ne se rapportent qu'au spécimen soumis aux essais.
 - o) Une spécification indiquant que le rapport d'essai ne doit pas être reproduit, sauf dans sa totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.
-

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