



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

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-6144-6

**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.**

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



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

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references	6
3 Measurement principle and requirements	7
3.1 Principle	7
3.2 General measurement requirements.....	7
4 Apparatus.....	8
5 Determination of required input parameters	8
6 Procedure	8
6.1 General	8
6.2 Operating in a controlled environment	9
6.3 Taking measurements under arbitrary irradiance conditions	9
7 Calculation of equivalent cell temperature	9
8 Test report.....	12
Bibliography.....	13

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.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 60904-5 edition 2.1 contains the second edition (2011-02) [documents 82/595/CDV and 82/626/RVC] and its amendment 1 (2022-11) [documents 82/2069/FDIS and 82/2082/RVD].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

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

This second edition 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.

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 the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under 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.

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

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.

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 W/m^2 .
- Ambient temperature: $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Wind speed: 1 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.

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) or alternatively NMOT (nominal module operating 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 TS 60904-1-2:2019, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices*

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 60904-7, *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*~~

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION.....	17
1 Domaine d'application et objet.....	18
2 Références normatives.....	18
3 Principe et exigences de mesure	19
3.1 Principe.....	19
3.2 Exigences générales de mesure.....	19
4 Appareillage	20
5 Détermination des paramètres d'entrée exigés	20
6 Procédure	21
6.1 Généralités.....	21
6.2 Fonctionnement dans un environnement contrôlé.....	21
6.3 Relevé de mesures dans des conditions d'éclairage arbitraires	21
7 Calcul de la température de cellule équivalente.....	22
8 Rapport d'essai	24
Bibliographie.....	26

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

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 60904-5 édition 2.1 contient la deuxième édition (2011-02) [documents 82/595/CDV et 82/626/RVC] et son amendement 1 (2022-11) [documents 82/2069/FDIS et 82/2082/RVD].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 60904-5 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition 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 l'IEC 60891.

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

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

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

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.

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: $(37 \pm 5)^\circ$;
- éclairage total: 800 W/m^2 ;
- température ambiante: $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- vitesse du vent 1 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 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 l'IEC 60904 décrit la méthode préférentielle pour déterminer la température de cellule équivalente (ECT - *equivalent cell temperature*) des dispositifs photovoltaïques (cellules, modules et ~~champs~~ groupes d'un type de module), dans les buts de comparer leurs caractéristiques thermiques, de déterminer leur NOCT ~~(température nominale d'utilisation des cellules)~~² ou leur NMOT et de transposer les caractéristiques I-V mesurées à d'autres températures que celles de leur ~~mesure~~ mesurage.

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).

IEC 60891, *Dispositifs photovoltaïques – Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées*

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

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

IEC 60904-3, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence*

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

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

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

² ~~NOCT en anglais: Nominal operation cell temperature.~~

IEC 60904-5:2011+AMD1:2022 CSV – 19 –

© IEC 2022

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

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

FINAL VERSION

VERSION FINALE

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



CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
1 Scope and object	6
2 Normative references	6
3 Measurement principle and requirements	7
3.1 Principle	7
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	9
8 Test report	10
Bibliography	12

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.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 60904-5 edition 2.1 contains the second edition (2011-02) [documents 82/595/CDV and 82/626/RVC] and its amendment 1 (2022-11) [documents 82/2069/FDIS and 82/2082/RVD].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

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

This second edition 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.

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 the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under 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.

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 W/m^2 .
- Ambient temperature: $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Wind speed: 1 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.

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) or alternatively NMOT (nominal module operating 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 TS 60904-1-2:2019, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices*

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 60904-7, *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*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION.....	17
1 Domaine d'application et objet.....	18
2 Références normatives	18
3 Principe et exigences de mesure	19
3.1 Principe.....	19
3.2 Exigences générales de mesure	19
4 Appareillage	19
5 Détermination des paramètres d'entrée exigés	20
6 Procédure	20
6.1 Généralités.....	20
6.2 Fonctionnement dans un environnement contrôlé	20
6.3 Relevé de mesures dans des conditions d'éclairage arbitraires	20
7 Calcul de la température de cellule équivalente.....	21
8 Rapport d'essai	22
Bibliographie.....	24

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

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 60904-5 édition 2.1 contient la deuxième édition (2011-02) [documents 82/595/CDV et 82/626/RVC] et son amendement 1 (2022-11) [documents 82/2069/FDIS et 82/2082/RVD].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 60904-5 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition 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 l'IEC 60891.

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

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

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives 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.

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: $(37 \pm 5)^\circ$;
- éclairage total: 800 W/m^2 ;
- température ambiante: $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- vitesse du vent 1 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 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 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.

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).

IEC 60891, *Dispositifs photovoltaïques – Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées*

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

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

IEC 60904-3, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence*

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

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

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

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