



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Photovoltaic devices –
Part 4: Photovoltaic reference devices – Procedures for establishing calibration
traceability**

**Dispositifs photovoltaïques –
Partie 4: Dispositifs photovoltaïques de référence – Procédures pour établir
la traçabilité de l'étalonnage**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-7531-3

**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.**

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Requirements for traceable calibration procedures of PV reference devices	9
5 Uncertainty analysis	9
6 Calibration report.....	10
7 Marking	10
Annex A (informative) Examples of validated calibration procedures	11
A.1 General.....	11
A.1.1 Overview	11
A.1.2 Examples of validated methods	11
A.1.3 List of common symbols	11
A.1.4 Common formulae	12
A.1.5 Reference documents	13
A.2 Global sunlight method (GSM)	13
A.2.1 General	13
A.2.2 Equipment	14
A.2.3 Measurements.....	15
A.2.4 Data analysis.....	15
A.2.5 Uncertainty estimates	16
A.2.6 Reference documents.....	17
A.3 Differential spectral responsivity calibration (DSR).....	17
A.3.1 General	17
A.3.2 Equipment	18
A.3.3 Test procedure	18
A.3.4 Data analysis.....	20
A.3.5 Uncertainty estimate	20
A.3.6 Reference documents.....	22
A.4 Solar simulator method (SSM)	23
A.4.1 General	23
A.4.2 Equipment	23
A.4.3 Calibration procedure	23
A.4.4 Data analysis.....	24
A.4.5 Uncertainty estimate	24
A.4.6 Reference documents.....	25
A.5 Direct sunlight method (DSM)	25
A.5.1 General	25
A.5.2 Equipment	26
A.5.3 Measurements.....	26
A.5.4 Data analysis.....	26
A.5.5 Uncertainty estimate	27
A.5.6 Reference documents.....	27
Bibliography.....	28

Figure 1 – Schematic of most common reference instruments and transfer methods used in the traceability chains for solar irradiance detectors	9
Figure A.1 – Block diagram of differential spectral responsivity calibration superimposing chopped monochromatic radiation $DE(l)$ and DC bias radiation E_b	21
Figure A.2 – Optical arrangement of differential spectral responsivity calibration	22
Figure A.3 – Schematic apparatus of the solar simulator method	25
Table 1 – Examples of reference instruments used in a traceability chain of solar irradiance	8
Table A.1 – Typical uncertainty components ($k = 2$) of global sunlight method	17
Table A.2 – Uncertainty components ($k = 2$) of differential spectral responsivity calibration method on PV reference devices	21
Table A.3 – Example of uncertainty components ($k = 2$) of a solar simulator method calibration.....	24
Table A.4 – Typical uncertainty components ($k = 2$) of a solar simulator method calibration when WRR traceable cavity radiometer is used.....	24
Table A.5 – Typical uncertainty components ($k = 2$) of a direct sunlight method using temperature dependent spectral correction factor (Formula (A.16)), without applying a correction factor for the WRR to SI scale	27

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 4: Photovoltaic reference devices – Procedures for establishing calibration traceability

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 60904-4 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2009. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) modification of standard title;
- b) inclusion of working reference in traceability chain;
- c) update of WRR with respect to SI;
- d) revision of all methods and their uncertainties in Annex A;
- e) harmonization of symbols and formulae with other IEC standards.

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

FDIS	Report on voting
82/1618/FDIS	82/1638/RVD

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

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

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

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

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

The contents of the corrigendum of September 2020 have been included in this copy.

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.

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 4: Photovoltaic reference devices – Procedures for establishing calibration traceability

1 Scope

This part of IEC 60904 sets the requirements for calibration procedures intended to establish the traceability of photovoltaic (PV) reference devices to SI units as required by IEC 60904-2.

This document applies to PV reference devices that are used to measure the irradiance of natural or simulated sunlight for the purpose of quantifying the performance of PV devices. The use of a PV reference device is required in many standards concerning PV (e.g. IEC 60904-1 and IEC 60904-3).

This document has been written with single-junction PV reference devices in mind, in particular crystalline silicon, but it is sufficiently general to include other single-junction technologies.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

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

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

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

ISO/IEC Guide 98-3: 2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
1 Domaine d'application	34
2 Références normatives	34
3 Termes et définitions	34
4 Exigences relatives aux procédures d'étalonnage traçables des dispositifs PV de référence	37
5 Analyse de l'incertitude	37
6 Rapport d'étalonnage	38
7 Marquage	38
Annexe A (informative) Exemples de procédures d'étalonnage validées	40
A.1 Généralités	40
A.1.1 Vue d'ensemble	40
A.1.2 Exemples des méthodes validées	40
A.1.3 Liste des symboles communs	40
A.1.4 Formules communes	41
A.1.5 Documents de référence	42
A.2 Méthode sous lumière solaire globale (GSM)	43
A.2.1 Généralités	43
A.2.2 Équipement	43
A.2.3 Mesurages	44
A.2.4 Analyse des données	45
A.2.5 Estimations de l'incertitude	46
A.2.6 Documents de référence	46
A.3 Étalonnage par sensibilité spectrale différentielle (DSR)	47
A.3.1 Généralités	47
A.3.2 Équipement	47
A.3.3 Procédure d'essai	48
A.3.4 Analyse des données	49
A.3.5 Estimation de l'incertitude	50
A.3.6 Documents de référence	52
A.4 Méthode du simulateur solaire (SSM)	53
A.4.1 Généralités	53
A.4.2 Équipement	53
A.4.3 Procédure d'étalonnage	53
A.4.4 Analyse des données	54
A.4.5 Estimation de l'incertitude	54
A.4.6 Documents de référence	55
A.5 Méthode de la lumière solaire directe (DSM)	55
A.5.1 Généralités	55
A.5.2 Équipement	56
A.5.3 Mesurages	56
A.5.4 Analyse des données	56
A.5.5 Estimation de l'incertitude	57
A.5.6 Documents de référence	57
Bibliographie	59

Figure 1 – Schéma des appareils de référence les plus courants et méthodes habituelles de transfert utilisées dans les chaînes de traçabilité, pour les détecteurs d'éclairage énergétique solaire	37
Figure A.1 – Schéma synoptique de l'étalonnage par sensibilité spectrale différentielle avec superposition d'un rayonnement monochromatique haché $DE(l)$ et d'un rayonnement de polarisation continu E_b	51
Figure A.2 – Montage optique pour étalonnage par sensibilité spectrale différentielle	52
Figure A.3 – Schéma de l'appareillage relatif à la méthode du simulateur solaire.....	55
Tableau 1 – Exemples d'appareils de référence utilisés dans une chaîne de traçabilité de l'éclairage énergétique solaire	36
Tableau A.1 – Composantes types de l'incertitude ($k = 2$) relatives à la méthode sous lumière solaire globale	46
Tableau A.2 – Composantes de l'incertitude ($k = 2$) d'un étalonnage par sensibilité spectrale différentielle sur des dispositifs PV de référence.....	51
Tableau A.3 – Exemple de composantes de l'incertitude ($k = 2$) relatives à un étalonnage par la méthode du simulateur solaire	54
Tableau A.4 – Composantes types de l'incertitude ($k = 2$) relatives à un étalonnage par la méthode du simulateur solaire, en utilisant un radiomètre à cavité traçable par rapport à la WRR	54
Tableau A.5 – Composantes types de l'incertitude ($k = 2$) relatives à la méthode de la lumière solaire directe utilisant un facteur de correction spectrale dépendant de la température (Formule (A.16)), sans application d'un facteur de correction pour l'échelle SI à WRR.....	57

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 4: Dispositifs photovoltaïques de référence – Procédures pour établir la traçabilité de l'étalonnage

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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 de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60904-4 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) modification du titre de la norme;
- b) incorporation de la référence de travail à la chaîne de traçabilité;
- c) mise à jour de la WRR (*world radiometric reference* – référence radiométrique mondiale) par rapport au SI;

- d) révision de toutes les méthodes et de leurs incertitudes à l'Annexe A:
- e) harmonisation des symboles et formules avec les autres normes IEC.

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

FDIS	Rapport de vote
82/1618/FDIS	82/1638/RVD

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

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

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

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

Le contenu du corrigendum de septembre 2020 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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 ce document en utilisant une imprimante couleur.

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 4: Dispositifs photovoltaïques de référence – Procédures pour établir la traçabilité de l'étalonnage

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60904 fixe les exigences relatives aux procédures d'étalonnage dans le but d'établir la traçabilité des dispositifs photovoltaïques (PV) de référence en unités SI, comme cela est exigé par l'IEC 60904-2.

Le présent document s'applique aux dispositifs PV de référence utilisés pour mesurer l'éclairement énergétique de la lumière solaire naturelle ou simulée afin de quantifier les performances des dispositifs PV. L'utilisation d'un dispositif PV de référence est exigée dans de nombreuses normes relatives aux dispositifs PV (par exemple, l'IEC 60904-1 et l'IEC 60904-3).

Le présent document a été rédigé en prenant en considération les dispositifs PV de référence à jonction unique, en particulier le silicium cristallin, mais il est suffisamment général pour inclure d'autres technologies à jonction unique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

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

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

Guide ISO/IEC 98-3: 2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM: 1995)*