

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating –
Part 2: Spectral responsivity, incidence angle and module operating temperature
measurements**

**Essais de performance et caractéristiques assignées d'énergie des modules
photovoltaïques (PV) –
Partie 2: Mesurages de réponse spectrale, d'angle d'incidence et de température
de fonctionnement des modules**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61853-2:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating –
Part 2: Spectral responsivity, incidence angle and module operating temperature
measurements**

**Essais de performance et caractéristiques assignées d'énergie des modules
photovoltaïques (PV) –
Partie 2: Mesurages de réponse spectrale, d'angle d'incidence et de température
de fonctionnement des modules**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-3584-3

**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.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Sampling.....	8
4 Testing.....	8
5 Report.....	9
6 Procedure for spectral responsivity measurement.....	10
7 Procedure for the measurement of incidence angle effects	10
7.1 Purpose.....	10
7.2 Indoor test method	11
7.2.1 General	11
7.2.2 Apparatus	11
7.2.3 Set-up procedure	12
7.2.4 Measurement procedure.....	12
7.3 Outdoor test method.....	13
7.3.1 General	13
7.3.2 Apparatus	13
7.3.3 Set-up procedure	14
7.3.4 Measurement procedure.....	15
7.4 Interpolation of angular transmission $\tau(\theta)$	16
8 Methodology for determining coefficients for calculating module operating temperature.....	17
8.1 General.....	17
8.2 Testing and data processing.....	17
8.3 Apparatus	17
8.4 Test module mounting	18
8.5 Procedure	18
8.6 Evaluation.....	19
Figure 1 – Overview of the testing cycle to be carried out in IEC 61853-2.....	9
Figure 2 – Positions for measuring the temperature of the test module behind the cells.....	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PHOTOVOLTAIC (PV) MODULE
PERFORMANCE TESTING AND ENERGY RATING –****Part 2: Spectral responsivity, incidence angle and
module operating temperature measurements**

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 61853-2 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

FDIS	Report on voting
82/1133/FDIS	82/1156/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 61853 series, published under the general title *Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61853-2:2016

INTRODUCTION

Photovoltaic (PV) modules are typically rated at standard test conditions (STC) of 25 °C cell temperature, 1 000 W·m⁻² irradiance, and air mass (AM) 1.5 global (G) spectrum. However, the PV modules in the field operate over a range of temperatures, irradiance, and spectra. To accurately predict the energy production of the modules under various field conditions, it is necessary to characterize the modules at a wide range of temperatures, irradiances, angles of incidence, and spectra.

Recognizing this issue, IEC Technical Committee 82 Working Group 2 (TC 82/WG 2) has developed an appropriate power and energy rating standard (IEC 61853). The first part of this four-part standard requires the generation of a 23-element maximum power ($P_{\max}$) matrix at four different temperatures and seven different irradiance levels. The $P_{\max}$ matrix can be generated using an indoor solar simulator method or outdoor natural sunlight method. The outdoor test method introduces little/no spectral mismatch error and is much less expensive than the indoor test method because it avoids the use of very expensive solar simulators. However, obtaining an accurate and repeatable $P_{\max}$ matrix using the outdoor method over time (several months or years) would be extremely challenging.

This standard consists of four parts:

- IEC 61853-1: *Irradiance and temperature performance measurements and power rating*, which describes requirements for evaluating PV module performance in terms of power (watts) rating over a range of irradiances and temperatures;
- IEC 61853-2: *Spectral responsivity, incidence angle, and module operating temperature measurements*, which describes test procedures for measuring the effect of varying angle of incidence and sunlight spectra as well as the estimation of module temperature from irradiance, ambient temperature, and wind speed;
- IEC 61853-3¹: *Energy rating of PV modules*, which describes the calculations for PV module energy (watt-hours) ratings; and
- IEC 61853-4²: *Standard reference climatic profiles*, which describes the standard time periods and weather conditions that can be used for the energy rating calculations.

Included in the IEC 61853 series of standards are: test methods designed to map module performance over a wide range of temperature and irradiance conditions (IEC 61853-1); test methods to determine spectral responsivity, incidence angle effects and the module operating temperature all as functions of ambient conditions (IEC 61853-2); methods for evaluating instantaneous and integrated power and energy results including a method for stating these results in the form of a numerical rating (IEC 61853-3); and definition of reference irradiance and climatic profiles (IEC 61853-4).

IEC 61853-1 describes requirements for evaluating PV module performance in terms of power (watts) rating over a range of irradiances and temperatures. IEC 61853-2 describes procedures for measuring the performance effect of angle of incidence, the estimation of module temperature from irradiance, ambient temperature and wind speed, and impact of spectral responsivity on module performance. IEC 61853-3 describes the calculations of PV module energy (watt-hours) ratings. IEC 61853-4 describes the standard time periods and weather conditions that can be utilized for calculating energy ratings.

¹ Under preparation: Stage at the time of publication: IEC/ACDV 61853-3:2016.

² Under preparation: Stage at the time of publication: IEC/ACDV 61853-4:2016.

IEC published the first part of the standard in January 2011. This standard specifies the performance measurements of PV modules at 23 different sets of temperature and irradiance conditions, using either a solar simulator (indoor) or natural sunlight (outdoor). There are many possible indoor and outdoor techniques, and this standard allows several of them. Validation of these techniques for repeatability over time within the same laboratory and for reproducibility among multiple laboratories is extremely important for the successful implementation of this standard.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61853-2:2016

PHOTOVOLTAIC (PV) MODULE PERFORMANCE TESTING AND ENERGY RATING –

Part 2: Spectral responsivity, incidence angle and module operating temperature measurements

1 Scope

The IEC 61853 series establishes IEC requirements for evaluating PV module performance based on power (watts), energy (watt-hours) and performance ratio (PR). It is written to be applicable to all PV technologies, but may not work well for any technology where the module performance changes with time (e.g. modules change their behaviour with light or thermal exposure), or which experience significant non-linearities in any of their characteristics used for the modelling.

The purpose of this part of IEC 61853 is to define measurement procedures for measuring the effects of angle of incidence of the irradiance on the output power of the device, to determine the operating temperature of a module for a given set of ambient and mounting conditions and measure spectral responsivity of the module. A second purpose is to provide a characteristic set of parameters which will be useful for detailed energy predictions. The described measurements are required as inputs into the module energy rating procedure described in IEC 61853-3.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60410³, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

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 photovoltaic reference devices*

IEC 60904-5, *Photovoltaic devices – Part 5: Determination of equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method*

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

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

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

³ Withdrawn.

IEC 61215 (all parts), *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61215-2, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures*

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

IEC 61853-1:2011, *Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating*

ISO 9059, *Solar energy – Calibration of field pyrheliometers by comparison to a reference pyrheliometer*

3 Sampling

For performance qualification testing, three modules shall be selected at random from a production batch or batches in accordance with the procedure given in IEC 60410. The modules shall be pre-conditioned in accordance with Clause 4 of this standard to assure the stability of the power values. One module (or equivalent reference sample) shall be used for each of the three tests, angle of incidence, spectral responsivity and thermal performance. A single module may be supplied if the test is to be carried out serially or three modules need to be supplied if it is to be carried out in parallel.

The modules shall have been manufactured from specified materials and components in accordance with the relevant drawings and process sheets and shall have been subjected to the manufacturer's normal inspection, quality control and production acceptance procedures. The modules shall be complete in every detail and shall be accompanied by the manufacturer's handling and final assembly instructions regarding the recommended installation of any diodes, frames, brackets, etc.

When the DUTs (device under test) are prototypes of a new design and not from production, this fact shall be noted in the test report (see Clause 5).

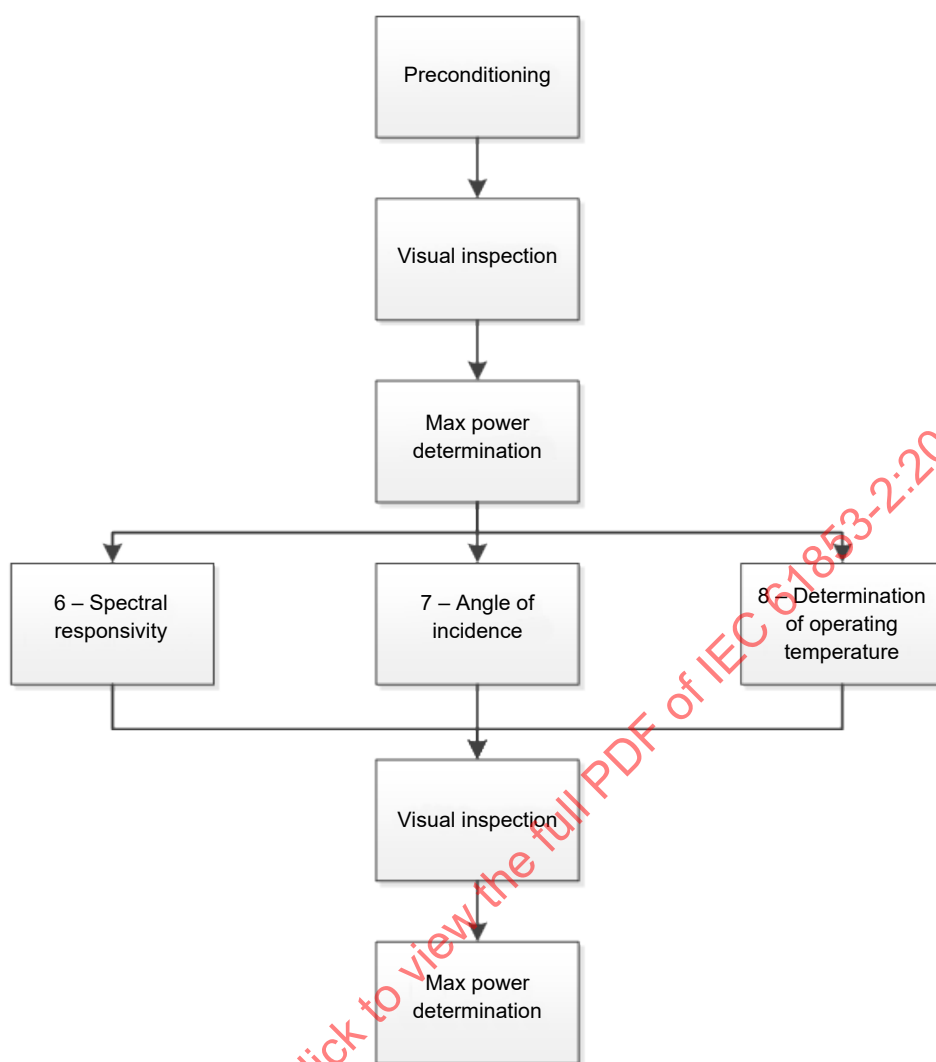
4 Testing

One of the modules, or representative samples, shall be subjected to each of the testing procedures defined in Clauses 6 to 8, i.e. the procedure for spectral responsivity (see Clause 6), angle of incidence (see Clause 7) and module operating temperature measurements (see Clause 8). In carrying out the tests, the manufacturer's handling, cleaning, mounting and connection instructions shall be observed. This can be the same module undergoing all tests sequentially or three distinct modules undergoing the characterisation tests in parallel. It shall be noted in the test report if a single or different modules have been used.

If the module under test is going to be used with a frame that covers the edges of the superstrate, then each of the tests shall be performed with a similar frame in place.

Preconditioning – Before beginning the measurements, the device under test shall be stabilized, as specified in IEC 61215 or IEC 61646.

Figure 1 shows an overview of the testing procedure to be conducted.



IEC

Figure 1 – Overview of the testing cycle to be carried out in IEC 61853-2

5 Report

Following completion of the procedure, a report of the performance tests, with measured module characteristics shall be prepared. Each certificate or test report shall include at least the following information:

- a title;
- name and address of the test laboratory and location where the calibration or tests were carried out;
- unique identification of the certification or report and of each page;
- name and address of client, where appropriate;
- description and identification of the item calibrated or tested;
- characterization and condition of the calibration or test item;
- date of receipt of test item and date(s) of calibration or test, where appropriate;
- identification of calibration or test method used;
- reference to sampling procedure, where relevant;
- 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, including the tilt angle of the module used during the temperature test (see 8.4.1) and limits to the field of view;

- k) measurements, examinations and derived results of module incidence angle effects, its operating temperature and its spectral responsivity. The report should indicate the method used to deal with the diffuse light component for the measurement of angle of incidence (see 7.3.4);
- l) for non-symmetric optical modules, the tilt and azimuth directions have to be specified in a drawing;
- m) a statement of the estimated uncertainty of the calibration and test result (where relevant);
- n) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the certificate or report, and the date of issue;
- o) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items calibrated or tested;
- p) a statement that the certificate or report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

6 Procedure for spectral responsivity measurement

The spectral responsivity of a PV module has an impact on the amount of current produced at any given spectral irradiance. Normally it is not necessary to measure the spectral responsivity at all possible values of irradiance and temperature that a module encounters during outdoor operation. A single measurement should be sufficiently accurate for all expected operating conditions. The need for this can be verified by checking the linearity of short circuit conditions measured in IEC 61853-1. Should a non-linearity of I_{sc} with respect to irradiance or temperature larger than 3 % be observed, further investigation might be warranted to identify if the SR changes as a function of irradiance and temperature (If the spectral responsivity of a particular module type is a function of irradiance or temperature, this result fact should appear in the test report).

To measure the spectral responsivity, follow the procedure as laid out in IEC 60904-8 using the short circuit condition, 25 °C device temperature and an appropriate bias light. This procedure should be applied to the full-sized module if possible, i.e. the module should be characterized in its entirety. If this is not possible, a small sample equivalent in construction and materials may be used or a single cell in the module should be characterized according to the measurements described in IEC 60904-8.

The spectral responsivity of a solar cell changes upon encapsulation. Therefore, an encapsulated solar cell shall be used if a full-sized module cannot be tested.

The module power shall be measured after measurement of the spectral responsivity. Any changes shall be noted in the test report.

7 Procedure for the measurement of incidence angle effects

7.1 Purpose

The purpose of the incident angle test is to determine the effect of solar incidence angles on module performance. The incidence angle dictates the fraction of the direct and diffuse irradiance available for conversion into electrical energy inside the module, i.e. the transmitted and reflected fractions of the available light. Both the external (the front surface) reflection and internal reflections are functions of the solar incidence angle and of the module design. Hence, the irradiance absorbed by PV devices at a particular incidence angle may differ between module designs. Also, the orientation of the module installation has a strong influence on the incidence angle effects.

For modules with a flat uncoated front glass plate, the relative light transmission into the module is primarily influenced by the first glass-air interface. The test can be omitted if the interface is flat and no antireflective coating is applied. The data of a flat glass-air interface can be used. However, normally glasses used for solar modules are somewhat structured and thus it is recommendable to carry out a verification measurement in either case.

Although the relative light transmission into the module is primarily influenced by the glass air interface, the details of other optical interfaces and other measures to enhance optical confinement might be relevant as well. If there is reason to believe that the other optical interfaces have been significantly changed, the test should be conducted.

This document presents two unequal alternatives (indoor and outdoor approach) which might not necessarily yield identical results but results should be equivalent within their uncertainties. It should be noted in the test report, which method has been used.

7.2 Indoor test method

7.2.1 General

The test method for the incident angle test is based on gathering actual measured I_{sc} data for the test modules over a wide range of incidence angles. If no light source with light uniformity in the volume spanned by a full module upon rotation is available (see 7.2.2c), a smaller, optically equivalent test module with one active cell, surrounded by non-active cells, may be tested. In the following, the area of the active cell is referred to as measurement area and all specification shall be met for this area only to allow realistic measurements. The area of influence is the active cell plus one half cell dimension in all directions.

7.2.2 Apparatus

The following apparatus is required to control and measure the test conditions:

- A PV reference device in conformance with IEC 60904-2 that is linear in output over the range of irradiance variations of the solar simulator according to IEC 60904-10, mounted fixed in the test plane of the simulator to monitor the total irradiance of the solar simulator.
- Means of measuring the temperature of the ambient, the test module and the reference device to an accuracy of ± 1 °C with a repeatability of $\pm 0,5$ °C.
- A solar simulator of class B with respect to the spatial uniformity requirements within the measurement area and class C over the area of influence and with respect to temporal stability according to IEC 60904-9. The solar simulator should have minimal irradiance outside a 30° field of view. It is recommended that the solar simulator should have 95 % of its irradiance within 10° field of view. The spatial uniformity requirement (class B) shall be fulfilled in the volume that is covered by the active element(s) within the module during rotation. The area of influence should maintain class C. The solid angle of the light of the simulator should not vary by more than 1° over the active area of the test device. The spatial uniformity of the active area and the area of influence shall be stated in the report.

NOTE The depth of the volume is determined by the highest inclinations and a detailed assessment of the worst case needs to be carried out in advance of the measurements.

- Equipment to measure the short circuit current of the test module to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the value at 1 000 W·m⁻² (see IEC 60904-1).
- Equipment for measuring the reference device output to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the value at 1 000 W·m⁻².
- An adjustable rack capable of accurately positioning the module at the specified angles of incidences to an accuracy of ± 1 °. Care shall be taken to ensure that rotation of the test apparatus does not change the irradiance on the reference device. The device should be rotated around the rotational axis of the cell centre under investigation. The rotational axis shall not change during the entire angular range of measurements.
- Module temperature sensors, attached by solder or thermally conductive adhesive to the backs of two solar cells near the middle of each test module, or to the back of the active

cell if an optically equivalent mini-module is used. Alternatively, use IEC 60904-5 and its associated equipment for determining cell temperature. The total accuracy of the module temperature determination shall be ± 1 °C.

- h) A data acquisition system capable of recording the following parameters for each angle setting:
- reference device output,
 - short circuit current of the module,
 - module temperature,
 - reference device temperature.

The measurement of module current and reference device output shall be simultaneous.

7.2.3 Set-up procedure

The set-up procedure is as follows.

- a) Make sure that the front surface of the module is clean.
- It is acceptable to mechanically isolate and contact a single crystalline cell, i.e. cut through the back sheet to access the contacts of a single cell directly. In the case of thin film modules one would need to manufacture a specific test device with a single cell, or an area of interest, being contacted separately and isolated for these measurements.
- b) Mount the module in the test plane of the simulator so that it is normal to the centre line of the beam within $\pm 1^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.
- c) If the test system is equipped with temperature controls, set the controls at the desired level. If temperature controls are not used, allow the module to stabilize within ± 1 °C of the room air temperature.
- d) Set the irradiance at the test plane of the simulator to $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ at perpendicular incidence using the reference device. Maintain this irradiance throughout the measurements. If this is not possible, a value in the range of $700\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ to $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (see IEC 60891) is sufficient.

Care shall be taken to prevent reflection from within the room. There shall be no protrusions to prevent full irradiance of the test module during the measurement. Reflections off the floor, walls or ceiling or objects shall be avoided.

Some black paints are highly reflective in the infrared. It is recommended to test the reflective properties of the paint used to assess the uncertainties of the procedure.

7.2.4 Measurement procedure

Measurements should be taken along two orthogonal angular directions with respect to the module normal. In cases of known symmetrical reflection properties, measurements in one axis are sufficient and the second axis may be omitted. Symmetrical behaviour is expected if samples with similar cells and the same front glass have been shown to be symmetrical.

The following procedure assumes symmetry in the rotational axis.

NOTE There is no knowledge of a device which does not meet this requirement.

- a) At 0° rotation angle position the test cell in the test area so that the center of the cell lies in the optical axis and the axis of rotation in the middle of the cell. Rotational symmetry of the test arrangement shall be verified at -80° and 80° rotation angle. The ratios $(I_{SC, 80^\circ} / I_{SC, 0^\circ}) / \cos 80^\circ$ for both directions shall not differ by more than 2 %.
- b) Vary the angle between the module normal and the optical axis of the light source between -60° and $+60^\circ$ in steps of a maximum of 10° . Outside that range vary the angle in steps of maximum 5° .

- c) If using a steady state solar simulator, keep the module temperature close to a chosen temperature by shading the module between taking data. Alternatively, allow for the module to reach thermal equilibrium. Care shall be taken as less light irradiates the module at increasing incidence angles. Temperature differences between measurements shall be recorded and corrected for.
- d) For each setting, take at least three readings of the short circuit current and module temperature. If necessary, correct for irradiance fluctuations with the help of the reference device. Correct to a module temperature of 25 °C using data from Table 2 of IEC 61853-1:2011 and average to obtain $I_{sc}(\theta)$.
- e) The relative light transmission into the module is given by:

$$\tau(\theta) = I_{sc}(\theta) / (\cos(\theta) I_{sc}(0)) \quad (1)$$

Where θ corresponds to the angle of incidence with respect to the module normal.

Care has to be taken regarding low light level dependence: At high incidence angles, the light intensity in the module plane will be strongly reduced by the cosine law. If the short circuit current of the module has been shown to vary nonlinearly with respect to irradiance in the measurements of Table 2 of IEC 61853-1:2011, a nonlinearity correction has to be performed in addition to equation (1) using polynomial fit of the I_{sc} data generated in IEC 61853-1.

- f) If the results are not symmetrical determine if the results represent an off-set in angle or if the module is truly not symmetrical (not the same on both sides of normal incidence). If it is the latter, the light transmission should be stated for both tilt directions.

The module power shall be measured after measurement of the angle of incidence responsivity. Any changes shall be noted in the test report.

7.3 Outdoor test method

7.3.1 General

The outdoor test method for the incident angle test is based on gathering measured I_{sc} data for the test modules over a wide range of incidence angles, along with associated global irradiance in the plane of the module and direct normal irradiance so that contributions to I_{sc} from both the beam and diffuse components can be distinguished.

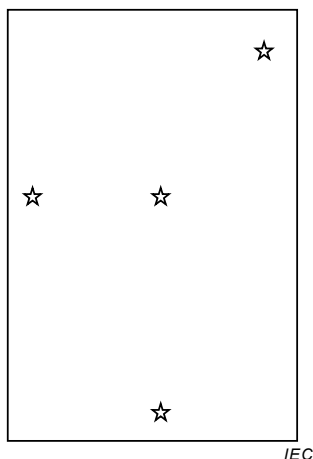


Figure 2 – Positions for measuring the temperature of the test module behind the cells

7.3.2 Apparatus

The following apparatus is required to control and measure the test conditions:

- a) A calibrated pyranometer mounted in the test plane of the test module(s).
- b) Optionally, a PV reference device in conformance with IEC 60904-2 linear in output over the range of irradiance variations and calibrated as a function of angle incidence mounted in the test plane of the test module. This is recommended if any site specific measurement artifacts are expected.
- c) A PV reference device in conformance with IEC 60904-2 that is linear in output over the range of irradiance variations, mounted on a separate solar tracker to measure the global normal irradiance.
- d) A normal incidence pyrheliometer, calibrated according to ISO 9059, to measure the direct normal component of irradiance mounted on the separate solar tracker.
- e) Means of measuring the temperature of the ambient, the test module and the reference device to an accuracy of ± 1 °C with a repeatability of $\pm 0,5$ °C. The module temperature should be measured in at least 4 places as shown in Figure 2.
- f) Equipment to measure the short circuit current of the test module to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the value at $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (see IEC 60904-1). The test modules shall not be continuously short circuited, to avoid reverse bias conditions and individual hot cells. Rather the module should be in an open circuit or maximum power condition between short duration I_{sc} measurements.
- g) Equipment for measuring the reference device output to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the value at $1\,000\text{ W}/\text{m}^2$.
- h) A two-axis tracker with an open rack mount and provision for introducing module angle-of-incidence values in the range from -90° to $+90^\circ$, with at least 80° achievable.

NOTE 1 A one axis tracker may also be sufficient, but the method will have to be adapted to correct for AOI variation due to non-perpendicular sweep directions.

- i) Means to determine the solar angle of incidence with an accuracy of at least $\pm 0,5^\circ$. Mounting a module onto a tracker may not satisfy this requirement even if the tracker is capable of much better tracking accuracy. A verification of the tilt angle with an accuracy better than $\pm 1^\circ$ is required. Options include using calculated sun position angles in combination with solar tracker position angles, or digital inclinometer readings when tilt angles are varied in only the elevation axis, or a digital protractor equipped with a sun alignment feature.

NOTE 2 Determination of the solar angle of incidence (θ) with accuracy of at least $\pm 0,5^\circ$ is required; otherwise at large θ values the uncertainty associated with the $\cos(\theta)$ factor becomes significant.

- j) A data acquisition system to record the following parameters:

- reference device(s) outputs,
- short circuit current of the device(s) under test,
- module temperatures,
- reference device temperatures (if applicable).

The measurement of module current and reference device output shall be simultaneous (no more than 1 ms apart). Longer separation (up to 1 s) is permissible but the stability of the irradiance shall be verified by taking a measurement of the irradiance before and after module measurement.

7.3.3 Set-up procedure

Select a test period of less than 1 hour duration with optimum weather conditions; clear sky near solar noon with minimal solar spectral (air mass) variation, minimal variation in the direct to global normal G_{dni}/G_{gni} ratio, and mild wind speed $< 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- a) Ensure that the front surface of the DUT is clean.
- b) Mount the DUT in the test rack of the angle-of-incidence test system. Attach temperature sensors and connect to the necessary instrumentation.

- c) If the DUT is equipped with temperature controls, set the controls at the desired level. If temperature controls are not used, position the module normal to the sun and allow the DUT's temperature to stabilize for at least 15 min, and verify that the maximum range between individual sensor temperatures is less than 5 °C.
- d) Verify that the reference device and the pyrheliometer mounted on the separate tracker are perpendicularly pointing to the sun.
- e) The DUT accepts light from a very wide acceptance angle, essentially $\pm 90^\circ$, so unwanted reflections and shading from objects and structures within the view angle of the DUT shall be avoided. The ground surrounding the DUT should not have an abnormally high reflectance (albedo) and should be nominally flat in all directions surrounding the test structure.

7.3.4 Measurement procedure

The test shall be conducted during clear sky conditions when the ratio of direct normal irradiance, G_{dni} , divided by global normal irradiance, G_{gni} , is greater than 85 %. This corresponds to a condition at normal incidence to the module when the diffuse component of sunlight is less than 15 % of the total. The solar irradiance components required are defined below:

G_{gni} is the global (total) normal irradiance measured using a pyranometer that is continuously tracking the sun on separate solar tracker.

G_{dni} is the direct normal irradiance measured using a pyrheliometer that is continuously tracking the sun on separate solar tracker.

G_{tpoa} is the global (total) irradiance in the plane of the module measured by a pyranometer mounted in the module test plane and in close proximity.

$G_{diff} = G_{tpoa} - G_{dni} \cos(\theta)$ is the calculated diffuse component of irradiance in the plane of the test module.

θ corresponds to the angle of incidence between the module normal and the direct beam solar irradiance.

- a) Use the test system to introduce a series of angle-of-incidence with respect to the direct normal solar irradiance. Vary the angle between the module normal and the sun beam by including as broad a range as possible between -90° and $+90^\circ$ with a maximum step size of 10° in the range -60° and $+60^\circ$, and 5° outside this range. Initiate and complete the test sequence at normal incidence, $\theta = 0^\circ$. If position sequence permits, also include a normal incidence setting during the series of module positions.

For test modules with optical symmetry of the front surface, e.g. planar glass surface, the direction of the angle of incidence relative to the module coordinate system is not critical, and measurements at angular positions in one direction relative to normal incidence are adequate.

NOTE 1 It is preferable that test module orientations are used that result in view angles from the module perspective seeing primarily the sky, rather than downward orientations where the module and associated pyranometer are viewing primarily the ground.

NOTE2 For test modules with a patterned or textured front surface, it is necessary to control the direction of the angle of incidence to provide measurements in two orthogonal directions relative to the module coordinate system.

- b) For each angle-of-incidence setting, record at least three readings of the test module's short circuit current, and all module temperature sensors, and all solar irradiance sensors.

Care should be taken for thin film modules, where operation at I_{sc} may cause damage. In case of damage, the short circuit stability shall be verified. If the short circuit current varies by more than 1 % at STC, the measurements are not valid. It may be that a repeat

of measurements will result in stable measurements and thus a repeat measurement could be done and the I_{sc} stability should be verified for each measurement.

- c) Process the measured data at each angle of incidence, θ , in the following sequence:
- i) Delete all measured values when the G_{dni}/G_{gni} ratio is less than 85 %, as a sky clearness criteria.
 - ii) Calculate the average module temperature, T_m , at each θ by averaging values from all temperature sensors. Verify that the maximum variation between all individual temperature sensors is less than 5 °C.
 - iii) Translate measured short circuit current values, I_{scm} , to a module temperature of 25 °C using a temperature coefficient, α_{Isc} with units of 1/°C.

$$I_{sc}(\theta) = I_{scm}(\theta) / (1 + \alpha_{Isc} (T_m(\theta) - 25)) \quad (2)$$

- iv) Calculate a reference short circuit current, I_{sco} , by averaging I_{sc} values at normal incidence with $\theta = 0^\circ$. Calculate a reference global irradiance in the plane of the module, G_{poao} , by averaging G_{poa} values at normal incidence with $\theta = 0^\circ$.
- v) Calculate the diffuse component of irradiance in the plane of the module, G_{diff} , at each θ by using the associated G_{dni} and G_{poa} values.

$$G_{diff}(\theta) = G_{poa}(\theta) - G_{dni}(\theta) \cos(\theta) \quad (3)$$

- d) The angle-of-incidence relationship defining the relative angular light transmission into the module is then given by:

$$\tau(\theta) = (I_{sc}(\theta) G_{poao} - I_{sco} G_{diff}(\theta)) / (I_{sco} G_{dni}(\theta) \cos(\theta)) \quad (4)$$

NOTE 3 This method assumes that the test module responsivity (current generation) is essentially the same for the solar spectral distributions of both the direct and the diffuse components of irradiance. It also assumes for the clear sky test conditions *specified* that the test module responds to all of the measured diffuse irradiance.

- e) If the test module is not optically symmetrical, the light transmission should be measured and stated for both tilt directions defined relative to module coordinates.

7.4 Interpolation of angular transmission $\tau(\theta)$

The relative light transmission into the module $\tau(\theta)$ has been measured at a number of angles, and for convenience can be reported as a single parameter in analytical function.

For the purposes of interpolation, $\tau(\theta)$ can be approximated as an analytical function. In the case of flat front covers, the following may be used:

$$\tau(\theta) = \frac{1 - \exp\left(\frac{-\cos(\theta)}{a_r}\right)}{1 - \exp\left(\frac{-1}{a_r}\right)} \quad (5)$$

The incidence angle θ is the angle between the normal of the module surface and the direction of the incoming light. The parameter a_r shall be determined from the measurements by an appropriate fitting procedure. The procedure shall provide three significant digits of a_r as well as an estimate of the uncertainty.

8 Methodology for determining coefficients for calculating module operating temperature

8.1 General

The purpose of this procedure is to determine the impact of ambient temperature, wind speed and light absorption on energy production. The temperature of a PV module is a function of the ambient temperature, irradiance, wind speed and its mounting system. Clause 8 provides the methodology to determine the relationship between ambient temperature, wind speed and irradiance for a particular mounting configuration.

8.2 Testing and data processing

The method is based on gathering actual measured module temperature data over a range of environmental conditions. The data obtained is averaged and analysed in a way that allows accurate and repeatable interpolation of the module temperature as a function of ambient temperature, irradiance and wind speed.

The temperature of the module (T_m) is primarily a function of the ambient temperature (T_{amb}), the wind speed (v) and the total solar irradiance (G) incident on the active surface of the module. The temperature difference ($T_m - T_{amb}$) is largely independent of the ambient temperature and is essentially linearly proportional to the irradiance at levels above $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

The module temperature is modelled by:

$$T_m - T_{amb} = G / (u_0 + u_1 v) \quad (6)$$

The coefficient u_0 describes the influence of the irradiance and u_1 the wind impact.

NOTE The two coefficients will depend upon the mounting method used for the module.

While modules with glass fronts but various semiconductor materials and back packaging can have distinguishably different u_0 and u_1 values it is acknowledged that the given procedure can have uncertainties on the same order of magnitude as this differentiation. The uncertainty in the given procedure is caused by factors such as mounting configuration, sky temperature, prevailing wind directions, seasonal variation, etc. The values determine are highly site specific and need to be evaluated for different locations. The following test procedure shall be conducted.

The measured temperature varies with the conditions of the measurement (sky temperature, ground temperature, etc.). A correction of up to 5°C may be applied to adjust for the variable conditions. To apply this, two reference modules are placed next to the device under test (one on either side). The reference modules shall have been characterized for >6 months to derive Nominal Module Operating Temperature ($NMOT$). The two reference modules and the device under test are characterized during the same time period and the average deviation from the 6-month $NMOT$ values for the two reference modules is applied to the $NMOT$ measurement for the device under test.

8.3 Apparatus

The following apparatus is required.

- a) An open rack to support the test module(s) and a pyranometer or PV reference device in the specified manner (see item d) below). The rack shall be designed to minimize heat conduction from the modules and to interfere as little as possible with free radiation of heat from the front and back surfaces of the module.

In the case of modules not designed for open-rack mounting, the test module(s) shall be mounted as recommended by the manufacturer.

- b) 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). The load shall be noted in the test report.
- c) Means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor.
- d) A pyranometer or PV reference device mounted in the plane of the test module(s) and within 0,3 m of the test array, accurate to at least $\pm 5\%$.
- e) Instrument to measure wind speed up to at least $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and down to $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ installed approximately 0,7 m above the top of the module(s) and mounted close to the module in a position where it will not shade the module.
- f) An ambient temperature sensor, with a time constant equal to or less than that of the module(s), installed in a shaded enclosure with good ventilation near the wind sensor.
- g) Cell temperature sensors attached to the back side of the module centered behind four solar cells approximately in the positions shown in Figure 2 for wafer based technologies. Choose similar positions for thin film based modules, allowing for the sensor not to be in the center of the cells. Use an infrared camera to check the module for hot-spots under continuous artificial or natural illumination. Avoid placing temperature sensors behind hot cells.
- h) A data acquisition system with temperature measurement accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$ with a repeatability of $\pm 0,5^\circ\text{C}$ to record the following parameters within an interval of no more than 5 s:
 - irradiance from the pyranometer or PV reference device,
 - ambient temperature,
 - cell temperatures within the module at the four specified places,
 - wind speed.

8.4 Test module mounting

8.4.1 The test module(s) shall be positioned so that it (they) are tilted at $37,5^\circ \pm 2,5^\circ$. Note the angle of tilt of the test module in the test report (see Clause 5, item j)).

8.4.2 The bottom of the test module(s) shall be at least 0,6 m above the local horizontal plane or ground level.

8.4.3 To simulate the thermal conditions of modules installed in an array, the test module(s) shall be mounted within a planar surface that extends 0,6 m beyond the module(s) in all directions. Modules of the same design shall be used to fill out the remaining open area of the planar surface. Additionally, there shall be a baffle of 2 module widths or 0,6 m whichever is larger beyond the module(s) in both the east and west directions, that is to both sides of the module when facing it.

8.4.4 There shall be no obstructions to prevent full irradiance of the test module(s) during the period from 4 h before local solar noon to 4 h after local solar noon. The ground surrounding the test module(s) shall not have an abnormally high solar reflectance and shall either be reasonably flat and level or slope away from the test fixture in all directions. Natural surfaces such as grass or dirt are examples of acceptable surfaces.

8.5 Procedure

- a) Set up the apparatus with the test module(s) mounted as described in section 8.4. Any hot spot protection devices recommended by the module manufacturer shall be installed before the module is tested.
- b) Clean the surface of the modules at least weekly or more frequently if significant soiling occurs.

- c) Keep the module at or near its maximum power point, by using the resistive load or MPP tracker (see 8.3 b).
- d) On suitable clear, sunny days, record as a function of time the module temperature in the four places shown in Figure 2, the ambient temperature, the irradiance and the wind speed within a time interval of less than 1 s. All data shall be sampled a minimum of every 5 s for the purposes of capturing instantaneous wind speeds outside the interval described in 8.3 e). Compute the average of the 4 temperature sensors for all data sets.
- e) Reject all data taken during the following conditions:
 - Irradiance below $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
 - In a 10 min interval after the irradiance varies by more than $\pm 10 \%$ from the maximum value to the minimum value during the preceding 10 min period.
 - In a 10 min interval after and including a deviation of the instantaneous wind speed to below $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ or gusts larger than $+200 \%$ from a 5 min running average.
 - All data when the 5 min running average is less than $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ or greater than $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. This running average should be calculated after having rejected gusts and low wind speed.

NOTE It is suggested to bin the data first for ten minute intervals and carry out the analysis for each interval based on the difference between minimum and maximum irradiance in this bin. It is easier to reject low light conditions first.

8.6 Evaluation

- a) Use the data obtained from averaging the module temperatures to calculate the difference between each of the four temperature sensors and their average. Reject the data of the sensor with the largest difference and recalculate the average T_m of the remaining three temperature data sets.
- b) Acceptable data points shall come from at least 10 different days and on each of those days there shall be at least 10 data points both before and after solar noon.
- c) Using the 5 min average wind speed, there shall be a range of data points covering at least $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- d) From all acceptable data points, making sure that data points from both before and after solar noon are utilized, calculate the average module-temperature and plot $G/(T_m - T_{\text{amb}})$ as a function of the 5 min average wind speed. Use linear regression analysis to determine the slope and intercept (u_1 and u_0) of the model.
- e) Report dates of start and end of the exposure and the coefficients u_0 and u_1 .

There is potentially a large variation in the values u_0 and u_1 due to location and measurement season, thus it is essential to either quote the uncertainties or apply a seasonal correction.

These are ultimately to be used for the calculation of the annualised energy yield and it would be advisable to check the impact of the coefficients on this rather than just looking at the uncertainty of the parameters alone.

The coefficients are then used as specified in IEC 61215-2 to calculate the nominal module operating temperature ($NMOT$).

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	21
INTRODUCTION.....	23
1 Domaine d'application.....	25
2 Références normatives	25
3 Échantillonnage	26
4 Essais	26
5 Rapport	28
6 Procédure de mesure de la réponse spectrale	28
7 Procédure de mesure des effets de l'angle d'incidence	29
7.1 Objet	29
7.2 Méthode d'essai en intérieur	29
7.2.1 Généralités	29
7.2.2 Appareillage	30
7.2.3 Procédure d'installation	31
7.2.4 Procédure de mesure	31
7.3 Méthode d'essai en extérieur	32
7.3.1 Généralités	32
7.3.2 Appareillage	32
7.3.3 Procédure d'installation	34
7.3.4 Procédure de mesure	34
7.4 Interpolation de la transmission angulaire $\tau(\theta)$	36
8 Méthodologie de détermination des coefficients de calcul de la température de fonctionnement du module	36
8.1 Généralités	36
8.2 Essai et traitement des données	36
8.3 Appareillage	37
8.4 Montage du ou des modules d'essai	38
8.5 Procédure	38
8.6 Évaluation	39
Figure 1 – Vue d'ensemble du cycle d'essais à réaliser dans l'IEC 61853-2.....	27
Figure 2 – Positions de mesure de la température du module d'essai derrière les cellules.....	32

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ESSAIS DE PERFORMANCE ET CARACTÉRISTIQUES ASSIGNÉES
D'ÉNERGIE DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) –****Partie 2: Mesurages de réponse spectrale, d'angle d'incidence
et de température de fonctionnement des modules**

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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61853-2 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1133/FDIS	82/1156/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61853, publiées sous le titre général *Essais de performance et caractéristiques assignées d'énergie des modules photovoltaïques (PV)*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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 l'IEC 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61853-2:2016

INTRODUCTION

Les modules photovoltaïques (PV) sont généralement caractérisés dans des conditions normales d'essai (STC – standard test conditions), c'est-à-dire une température de cellule de 25 °C, un éclairement de 1 000 W·m⁻² et un spectre global (G) de 1,5 sous masse d'air (AM – air mass). Les modules photovoltaïques in situ fonctionnent toutefois sur une plage de températures, d'éclairements et de spectres différents. La caractérisation des modules fonctionnant sur une plage étendue de températures, d'éclairements, d'angles d'incidence et de spectres est nécessaire pour une prévision exacte de la production d'énergie des modules dans diverses conditions en milieu réel.

Conscient de cette question, le groupe de travail 2 du comité d'études 82 de l'IEC (GT 2/CE 82) a élaboré une norme appropriée relative aux caractéristiques assignées de puissance et d'énergie (IEC 61853). La première partie de cette norme comportant quatre parties exige la création d'une matrice de puissance maximale à 23 éléments ($P_{\max}$) avec quatre températures différentes et sept niveaux d'éclairements différents. Une méthode par simulateur solaire en intérieur ou une méthode par lumière solaire naturelle en extérieur permet de créer la matrice $P_{\max}$. La méthode d'essai en extérieur limite, voire exclut, toute erreur de mesure de la réponse spectrale et s'avère bien moins onéreuse que la méthode d'essai en intérieur étant donné qu'elle n'utilise pas de simulateurs solaires très coûteux. L'obtention d'une matrice $P_{\max}$ exacte et reproductible à l'aide de la méthode en extérieur serait toutefois extrêmement difficile dans la durée (plusieurs mois ou années).

La présente norme comprend quatre parties:

- IEC 61853-1: *Mesures de performance en fonction de l'éclairement et de la température, et caractéristiques de puissance*, qui définit les exigences relatives à l'évaluation de la performance d'un module photovoltaïque, en termes de caractéristiques assignées de puissance (watts), sur une plage d'éclairements et de températures;
- IEC 61853-2: *Mesurages de réponse spectrale, d'angle d'incidence et de température de fonctionnement des modules*, qui définit les procédures d'essai pour mesurer l'effet de divers angles d'incidence et spectres de lumière solaire, ainsi que pour évaluer la température des modules à partir de l'éclairement, de la température ambiante et de la vitesse du vent;
- IEC 61853-3¹: *Energy rating of PV modules* (disponible en anglais seulement), qui définit les calculs des caractéristiques assignées d'énergie (watts-heures) d'un module photovoltaïque; et
- IEC 61853-4²: *Standard reference climatic profiles* (disponible en anglais seulement), qui définit les périodes de temps et les conditions atmosphériques normalisées qui peuvent être utilisées pour calculer les caractéristiques assignées d'énergie.

La série de normes IEC 61853 comprend des méthodes d'essai conçues pour représenter la performance des modules sur une plage étendue de conditions de température et d'éclairement (IEC 61853-1), des méthodes d'essai pour déterminer la réponse spectrale, les effets de l'angle d'incidence et la température de fonctionnement du module, en fonction des conditions ambiantes (IEC 61853-2), des méthodes pour évaluer les résultats de puissance et d'énergie intégrées et instantanées, y compris une méthode pour exprimer ces résultats sous forme de caractéristiques assignées numériques (IEC 61853-3) et la définition de l'éclairement et des profils climatiques de référence (IEC 61853-4).

¹ En préparation. Stade au moment de la publication: IEC/ACDV 61853-3:2016.

² En préparation. Stade au moment de la publication: IEC/ACDV 61953-4:2016.

L'IEC 61853-1 définit les exigences relatives à l'évaluation de la performance des modules photovoltaïques, en termes de caractéristiques assignées de puissance (watts), sur une plage d'éclairements et de températures. L'IEC 61853-2 définit les procédures pour mesurer l'effet de l'angle d'incidence sur la performance, pour évaluer la température des modules à partir de l'éclairement, de la température ambiante et de la vitesse du vent, et l'impact de la réponse spectrale sur la performance des modules. L'IEC 61853-3 définit les calculs des caractéristiques assignées d'énergie des modules photovoltaïques (watts-heures). L'IEC 61853-4 définit les périodes de temps et les conditions atmosphériques normalisées qui peuvent être utilisées pour calculer les caractéristiques assignées d'énergie.

L'IEC a publié la première partie de la norme en janvier 2011. La présente norme spécifie les mesurages de performance des modules photovoltaïques selon 23 ensembles différents de conditions de température et d'éclairement, en utilisant soit un simulateur solaire (en intérieur), soit la lumière solaire naturelle (en extérieur). La présente norme permet d'appliquer plusieurs techniques parmi les nombreuses techniques en intérieur et en extérieur possibles. La validation de ces techniques pour une répétabilité dans la durée au sein du même laboratoire et pour une reproductibilité parmi plusieurs laboratoires s'avère extrêmement importante pour la mise en œuvre réussie de la présente norme.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61853-2:2016

ESSAIS DE PERFORMANCE ET CARACTÉRISTIQUES ASSIGNÉES D'ÉNERGIE DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) –

Partie 2: Mesurages de réponse spectrale, d'angle d'incidence et de température de fonctionnement des modules

1 Domaine d'application

La série IEC 61853 établit les exigences de l'IEC relatives à l'évaluation de la performance des modules photovoltaïques sur la base de la puissance (watts), de l'énergie (watts-heures) et du coefficient de performance (PR – performance ratio). Cette série est rédigée de façon à pouvoir s'appliquer à toutes les technologies photovoltaïques, mais elle peut ne pas être bien adaptée à des technologies avec lesquelles la performance des modules varie avec le temps (par exemple, les modules modifient leur comportement avec l'exposition à la lumière ou l'exposition thermique), ou qui connaissent des non-linéarités importantes de leurs caractéristiques, quelles qu'elles soient, utilisées pour la modélisation.

La présente partie de l'IEC 61853 a pour objet de définir des méthodes de mesure des effets de l'angle d'incidence de l'éclairement sur la puissance de sortie du dispositif, de déterminer la température de fonctionnement d'un module pour un ensemble donné de conditions ambiantes et de montage, et de mesurer la réponse spectrale du module. Elle a également pour objet de fournir un ensemble caractéristique de paramètres utiles pour des prévisions d'énergie détaillées. Les mesurages décrits sont exigés comme éléments d'entrée de la procédure de détermination des caractéristiques assignées d'énergie des modules décrite dans l'IEC 61853-3.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60410³, *Plans et règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs*

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

IEC 60904-5, *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*

³ Retirée.

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

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

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

IEC 61215 (all parts), *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation*

IEC 61215-2, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 2: Procédures d'essai*

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

IEC 61853-1:2011, *Essais de performance et caractéristiques assignées d'énergie des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1: Mesures de performance en fonction de l'éclairement et de la température, et caractéristiques de puissance*

ISO 9059, *Énergie solaire – Étalonnage des pyréliomètres de terrain par comparaison à un pyréliomètre de référence*

3 Échantillonnage

Pour les essais de qualification de performance, trois modules doivent être prélevés au hasard dans un ou plusieurs lots de production, conformément à la règle décrite dans l'IEC 60410. Afin d'assurer la stabilité des valeurs de puissance, les modules doivent être préconditionnés conformément à l'Article 4 de la présente norme. Un module (ou un échantillon de référence équivalent) doit être utilisé pour chacun des trois essais, à savoir l'angle d'incidence, la réponse spectrale et la performance thermique. Un seul module peut être fourni si l'essai doit être effectué en série. Il est nécessaire de fournir trois modules si l'essai doit être effectué en parallèle.

Les modules doivent avoir été fabriqués à partir de matériaux et de composants spécifiés, conformément aux schémas et aux descriptifs des procédés de fabrication correspondants. Ils doivent également avoir été soumis au contrôle normal du fabricant, ainsi qu'aux procédures de contrôle qualité et d'acceptation de la production. Les modules doivent être complets, jusque dans les moindres détails, et doivent être accompagnés des instructions de manipulation et d'assemblage final du fabricant, en ce qui concerne l'installation recommandée des diodes, châssis, supports, etc.

Lorsque les dispositifs en essai (DUT – devices under test) sont des prototypes d'une nouvelle conception et non issus de la production, le rapport d'essai doit en faire mention (voir Article 5).

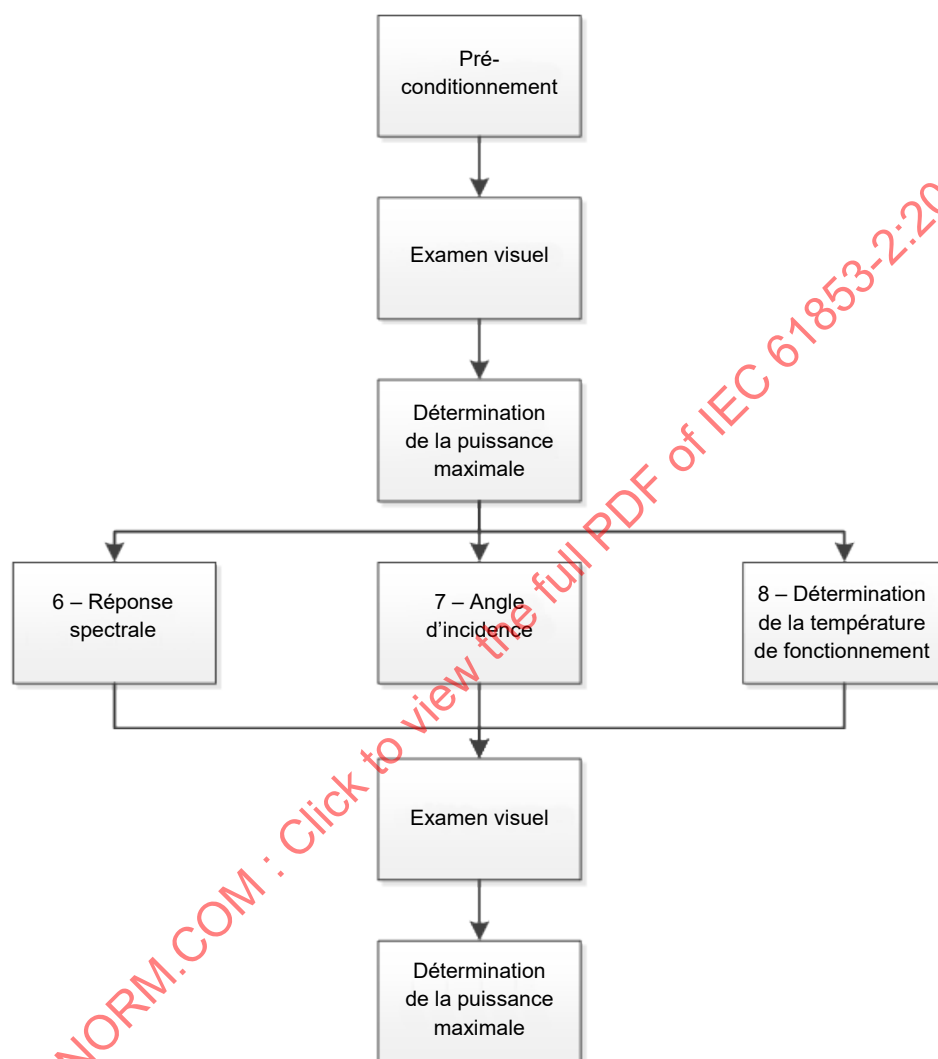
4 Essais

Un des modules (ou des échantillons représentatifs) doit être soumis à chacune des procédures d'essai définies dans les Articles 6 à 8, c'est-à-dire la procédure de mesure de réponse spectrale (voir Article 6), d'angle d'incidence (voir Article 7) et de température de fonctionnement du module (voir Article 8). En procédant aux essais, les instructions de manipulation, de nettoyage, de montage et de raccordement du fabricant doivent être respectées. Le même module peut être soumis à tous les essais réalisés en série, ou trois modules distincts peuvent être soumis aux essais de caractérisation réalisés en parallèle. Le rapport d'essai doit préciser si un seul module ou différents modules ont été utilisés.

Si le module en essai est destiné à être utilisé avec un châssis qui recouvre les bords du substrat, chacun des essais doit alors être réalisé avec un châssis analogue.

Préconditionnement – Avant de commencer les mesurages, le dispositif en essai doit être stabilisé, tel que spécifié dans l'IEC 61215 ou l'IEC 61646.

La Figure 1 donne une vue d'ensemble de la procédure d'essai à exécuter.



IEC

Figure 1 – Vue d'ensemble du cycle d'essais à réaliser dans l'IEC 61853-2

5 Rapport

Après l'exécution de la procédure, un rapport certifié des essais de performance, avec les caractéristiques mesurées du module, doit être préparé. Chaque certificat ou rapport d'essai doit inclure au moins les informations suivantes:

- a) un titre;
- b) le nom et l'adresse du laboratoire d'essai et le lieu de réalisation de l'étalonnage ou des essais;
- c) une identification unique du certificat ou du rapport et de chaque page;
- d) le nom et l'adresse du client, le cas échéant;
- e) la description et l'identification de l'entité soumise à l'étalonnage ou aux essais;
- f) la caractérisation et les conditions d'étalonnage ou l'état de l'entité d'essai;
- g) la date de réception de l'entité d'essai et la ou les dates d'étalonnage ou d'essai, le cas échéant;
- h) une identification de la méthode d'étalonnage ou d'essai utilisée;
- i) une référence à la règle d'échantillonnage, le cas échéant;
- j) les écarts, compléments ou exclusions éventuels de la méthode d'étalonnage ou d'essai, et toute autre information correspondant à un étalonnage ou un essai spécifique, comme les conditions d'environnement, y compris l'angle d'inclinaison du module utilisé au cours de l'essai de température (voir 8.4.1) et les limites du champ de vision;
- k) les mesurages, les examens et les résultats dérivés des effets de l'angle d'incidence du module, sa température de fonctionnement et sa réponse spectrale. Il convient que le rapport mentionne la méthode appliquée pour prendre en compte la composante de lumière diffuse pour le mesurage de l'angle d'incidence (voir 7.3.4);
- l) pour les modules optiques non symétriques, les directions d'inclinaison et d'azimut doivent être spécifiées sur un schéma;
- m) une indication de l'incertitude estimée de l'étalonnage et du résultat d'essai (le cas échéant);
- n) une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personnes dûment responsables du contenu du certificat ou du rapport, et la date de publication;
- o) le cas échéant, une indication selon laquelle les résultats ne se rapportent qu'aux entités soumises à l'étalonnage ou aux essais;
- p) une indication selon laquelle le certificat ou le rapport ne doit pas être reproduit, sauf dans sa totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.

6 Procédure de mesure de la réponse spectrale

La réponse spectrale d'un module photovoltaïque influe sur la quantité de courant produit pour tout éclairement spectral donné. Normalement, il n'est pas nécessaire de mesurer la réponse spectrale pour toutes les valeurs possibles d'éclairement et de température auxquelles un module est exposé lorsqu'il fonctionne à l'extérieur. Il convient que l'exactitude d'un mesurage unique soit suffisante pour toutes les conditions de fonctionnement prévues. Cette nécessité peut être vérifiée par un contrôle de la linéarité des conditions de court-circuit mesurée dans l'IEC 61853-1. Si une non-linéarité de I_{sc} par rapport à l'éclairement ou à la température de plus de 3 % est observée, un examen plus approfondi peut être justifié afin de déterminer si la réponse spectrale varie en fonction de l'éclairement et de la température (si la réponse spectrale d'un type de module particulier est fonction de l'éclairement ou de la température, il convient que le rapport d'essai mentionne ce fait établi).

Pour mesurer la réponse spectrale, suivre la procédure indiquée dans l'IEC 60904-8 en utilisant la condition de court-circuit, une température de dispositif de 25 °C et une pseudo lumière appropriée. Il convient si possible d'appliquer cette procédure sur le module grandeur

nature, c'est-à-dire qu'il convient de caractériser le module dans son intégralité. En cas d'impossibilité, un petit échantillon de construction équivalente et avec des matériaux équivalents peut être utilisé, ou il convient de caractériser une cellule unique du module selon les mesurages décrits dans l'IEC 60904-8.

La réponse spectrale d'une cellule solaire varie selon l'encapsulation. Si un module grandeur nature ne peut être soumis à l'essai, une cellule solaire encapsulée doit alors être utilisée.

La puissance du module doit être mesurée après mesurage de la réponse spectrale. Les variations éventuelles doivent être consignées dans le rapport d'essai.

7 Procédure de mesure des effets de l'angle d'incidence

7.1 Objet

L'essai d'angle d'incidence a pour objet de déterminer l'effet des angles d'incidence solaire sur la performance du module. L'angle d'incidence détermine la fraction d'éclairement direct et diffus qui peut être convertie en énergie électrique dans le module, c'est-à-dire les fractions transmises et réfléchies de la lumière disponible. La réflexion extérieure (surface avant) et les réflexions intérieures sont des fonctions de l'angle d'incidence solaire et de la conception du module. L'éclairement sous un angle d'incidence particulier absorbé par les dispositifs photovoltaïques peut donc différer selon les conceptions de module. D'autre part, l'orientation de l'installation du module a une forte influence sur les effets de l'angle d'incidence.

Pour les modules comportant une plaque de verre à l'avant sans revêtement, la transmission relative de lumière dans le module est principalement influencée par la première interface verre-air. L'essai peut être omis si l'interface est plate et si aucun revêtement antiréfléchissant n'est appliqué. Les données d'une interface plate verre-air peuvent être utilisées. Cependant, les verres utilisés pour les modules solaires sont normalement quelque peu structurés, et un mesurage de vérification est ainsi recommandé dans chaque cas.

Bien que la transmission relative de lumière dans le module soit principalement influencée par l'interface verre-air, les informations détaillées relatives à d'autres interfaces optiques et d'autres mesures visant à améliorer le confinement optique peuvent également se révéler appropriées. Il convient de réaliser l'essai lorsqu'il y a motif à penser que les autres interfaces optiques ont subi une modification importante.

Le présent document présente deux méthodes inégales (approche intérieure et approche extérieure) qui peuvent ne pas produire nécessairement des résultats identiques. Il convient cependant que les limites d'incertitude des résultats soient équivalentes. Il convient que le rapport d'essai indique la méthode utilisée.

7.2 Méthode d'essai en intérieur

7.2.1 Généralités

La méthode d'essai d'angle d'incidence est basée sur la collecte de données I_{sc} réelles mesurées pour les modules d'essai sur une large plage d'angles d'incidence. En l'absence d'une source de lumière uniforme dans le volume balayé par un module complet pendant une rotation (voir 7.2.2c), un module d'essai plus petit optiquement équivalent avec une cellule active entourée par des cellules non actives peut être soumis à l'essai. La surface de la cellule active est désignée ci-après comme la surface de mesure et toutes les spécifications de cette surface doivent être satisfaites uniquement pour permettre des mesurages réalistes. La cellule active associée à la dimension d'une demi-cellule dans toutes les directions constitue la zone d'influence.

7.2.2 Appareillage

L'appareillage suivant est exigé pour contrôler et mesurer les conditions d'essai:

- a) Un dispositif photovoltaïque de référence conforme à l'IEC 60904-2, dont la sortie est linéaire sur la plage de variations d'éclairement du simulateur solaire conformément à l'IEC 60904-10, fixé au plan d'essai du simulateur pour surveiller l'éclairement total du simulateur solaire.
- b) Un moyen de mesure de la température ambiante, de la température du module d'essai et du dispositif de référence avec une exactitude de ± 1 °C et une fidélité de $\pm 0,5$ °C.
- c) Un simulateur solaire de classe B pour ce qui concerne les exigences d'uniformité spatiale sur la surface de mesure et de classe C sur la surface d'influence pour ce qui concerne la stabilité temporelle conformément à l'IEC 60904-9. Il convient que l'éclairement minimal du simulateur solaire se situe à l'extérieur d'un champ de vision de 30°. Il convient que 95 % de l'éclairement du simulateur solaire se situent dans un champ de vision de 10°. L'exigence d'uniformité spatiale (classe B) doit être satisfaite dans le volume couvert par le ou les éléments actifs dans le module pendant une rotation. Il convient que la surface d'influence corresponde à la classe C. Il convient que l'angle solide de la lumière du simulateur ne varie pas de plus de 1° sur la surface active du dispositif d'essai. L'uniformité spatiale de la surface active et de la surface d'influence doit être indiquée dans le rapport.

NOTE Les inclinaisons les plus fortes permettent de déterminer la profondeur du volume. Il est par ailleurs nécessaire d'effectuer une évaluation détaillée du cas le plus défavorable préalablement aux mesurages.

- d) Un matériel de mesure du courant de court-circuit du module d'essai avec une exactitude de $\pm 0,2$ % de la valeur à 1 000 W·m⁻² (voir IEC 60904-1).
- e) Un matériel de mesure de la sortie du dispositif de référence avec une exactitude de $\pm 0,2$ % de la valeur à 1 000 W·m⁻².
- f) Un bâti réglable capable de positionner avec exactitude le module aux angles d'incidence spécifiés, avec une exactitude de ± 1 °. Des précautions particulières doivent être prises pour s'assurer que la rotation de l'appareillage d'essai ne modifie pas l'éclairement sur le dispositif de référence. Il convient de faire pivoter le dispositif autour de l'axe de rotation du centre de la cellule à l'étude. L'axe de rotation ne doit pas varier sur toute l'étendue angulaire de mesure.
- g) Des capteurs de température du module, fixés au moyen d'une soudure ou d'une colle thermiquement conductrice à l'arrière de deux cellules solaires près du milieu de chaque module d'essai ou à l'arrière de la cellule active en cas d'utilisation d'un module miniature optiquement équivalent. En variante, appliquer l'IEC 60904-5 et utiliser l'équipement associé pour déterminer la température de cellule. L'exactitude totale pour la détermination de la température du module doit être de ± 1 °C.
- h) Un système d'acquisition de données capable d'enregistrer les paramètres suivants pour chaque réglage d'angle:
 - la sortie du dispositif de référence,
 - le courant de court-circuit du module,
 - la température du module,
 - la température du dispositif de référence.

Les mesurages du courant du module et de la sortie du dispositif de référence doivent être simultanés.

7.2.3 Procédure d'installation

La procédure d'installation est la suivante.

- a) Vérifier que la surface avant du module est propre.

L'isolation et le contact mécaniques d'une cellule cristalline unique sont admis. Cela signifie que la découpe de la couche arrière pour un accès direct aux contacts d'une cellule unique est admise. Dans le cas de modules en couches minces, il est nécessaire pour ces mesurages de réaliser un dispositif d'essai spécifique avec une cellule unique ou une surface d'étude dont les contacts sont séparés et isolés.

- b) Monter le module sur le plan d'essai du simulateur de façon qu'il soit perpendiculaire à l'axe du faisceau à $\pm 1^\circ$. Connecter à l'instrumentation indispensable.

- c) Si le système d'essai est équipé de commandes de température, régler les commandes au niveau souhaité. En l'absence de commandes de température, laisser le module se stabiliser à $\pm 1^\circ\text{C}$ de la température ambiante de l'air.

- d) A l'aide du dispositif de référence, régler l'éclairement au niveau du plan d'essai du simulateur à $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à une incidence perpendiculaire. Maintenir cet éclairement pour l'ensemble des mesurages. En cas d'impossibilité, une valeur située dans la plage comprise entre $700\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (voir IEC 60891) est suffisante.

Des précautions doivent être prises pour éviter les réflexions à l'intérieur de la salle. Aucune partie saillante ne doit empêcher l'éclairement total du module d'essai pendant le mesurage. Les réflexions du sol, des parois, du plafond ou des objets doivent être évitées.

Certaines peintures noires sont fortement réfléchissantes dans l'infrarouge. Il est recommandé de vérifier par essai les propriétés réfléchissantes de la peinture appliquée pour évaluer les incertitudes de la procédure.

7.2.4 Procédure de mesure

Il convient d'effectuer les mesurages le long de deux directions angulaires orthogonales par rapport à la perpendiculaire au module. Lorsque les propriétés de réflexion symétrique sont identifiées, les mesurages effectués sur un axe sont suffisants et le second axe peut ne pas être pris en compte. Un comportement symétrique est prévu si la symétrie des échantillons comportant des cellules analogues et le même verre à l'avant a été démontrée.

Par hypothèse, la procédure suivante considère que l'axe de rotation est symétrique.

NOTE Aucun dispositif non conforme à cette exigence n'est identifié.

- a) À un angle de rotation de 0° , positionner la cellule d'essai sur la surface d'essai de sorte que le centre de la cellule se situe sur l'axe optique et l'axe de rotation au milieu de la cellule. La symétrie de rotation du dispositif d'essai doit être vérifiée à un angle de rotation de -80° et de 80° . Les rapports $(I_{SC}, 80^\circ / I_{SC}, 0^\circ) / \cos 80^\circ$ pour les deux directions ne doivent pas diverger de plus de 2 %.
- b) Faire varier l'angle entre la perpendiculaire au module et l'axe optique de la source de lumière entre -60° et $+60^\circ$ par échelons de 10° au maximum. Faire varier l'angle par échelons de 5° au maximum en dehors de cette plage.
- c) En cas d'utilisation d'un simulateur solaire en régime permanent, maintenir la température du module proche d'une température choisie en mettant le module à l'ombre entre les prises de données. En variante, laisser le module atteindre l'équilibre thermique. Une attention particulière doit être accordée à l'opération à mesure qu'une plus petite quantité de lumière irradie le module après avoir augmenté les angles d'incidence. Les différences de température entre les mesurages doivent être enregistrées et corrigées.

- d) Pour chaque réglage, effectuer au moins trois relevés du courant de court-circuit et de la température du module. Si nécessaire, effectuer une correction des fluctuations d'éclairement à l'aide du dispositif de référence. Effectuer la correction pour une température de module de 25 °C en utilisant les données du Tableau 2 de l'IEC 61853-1:2011 et faire la moyenne pour obtenir $I_{sc}(\theta)$.
- e) La transmission relative de lumière dans le module est donnée par la formule:

$$\tau(\theta) = I_{sc}(\theta) / (\cos(\theta) I_{sc}(0)) \quad (1)$$

où θ correspond à l'angle d'incidence par rapport à la perpendiculaire au module.

La faible dépendance par rapport au niveau de lumière doit faire l'objet d'une attention particulière. Pour des angles d'incidence élevés, l'intensité de lumière dans le plan du module est fortement réduite par la loi du cosinus. S'il a été constaté que le courant de court-circuit du module varie de façon non linéaire par rapport à l'éclairement dans les mesurages du Tableau 2 de l'IEC 61853-1:2011, une correction de non-linéarité doit être effectuée en plus de l'équation (1) en utilisant l'ajustement polynomial des données I_{sc} de l'IEC 61853-1.

- f) Si les résultats ne sont pas symétriques, déterminer s'ils représentent un décalage angulaire ou si le module est véritablement non symétrique (non identique des deux côtés de l'incidence normale). S'il s'agit du dernier cas, il convient de mentionner la transmission de lumière pour les deux directions d'inclinaison.

La puissance du module doit être mesurée après mesurage de la réponse de l'angle d'incidence. Les variations éventuelles doivent être consignées dans le rapport d'essai.

7.3 Méthode d'essai en extérieur

7.3.1 Généralités

La méthode d'essai en extérieur pour l'essai d'angle d'incidence est basée sur la collecte de données I_{sc} mesurées pour les modules d'essai sur une large plage d'angles d'incidence, ainsi que l'éclairement global associé dans le plan du module et l'éclairement normal direct de manière à pouvoir différencier les contributions du faisceau et des composantes diffuses aux données I_{sc} .

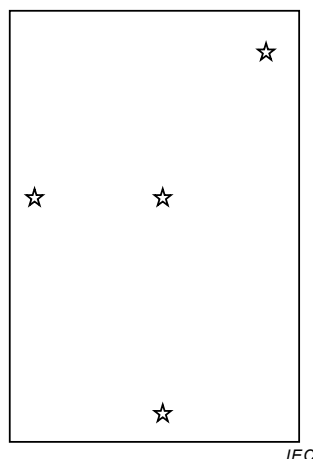


Figure 2 – Positions de mesure de la température du module d'essai derrière les cellules

7.3.2 Appareillage

L'appareillage suivant est exigé pour contrôler et mesurer les conditions d'essai:

- a) Un pyranomètre étalonné monté dans le plan d'essai du ou des modules d'essai.

- b) Un dispositif photovoltaïque de référence (facultatif) conforme à l'IEC 60904-2, dont la sortie est linéaire sur la plage de variations d'éclairement et étalonné en fonction de l'angle d'incidence, monté sur le plan d'essai du module d'essai. Ce dispositif est recommandé lorsque des artefacts de mesure spécifiques au site sont prévus.
- c) Un dispositif photovoltaïque de référence conforme à l'IEC 60904-2, dont la sortie est linéaire sur la plage de variations d'éclairement, monté sur un dispositif séparé de poursuite du soleil pour mesurer l'éclairement normal global.
- d) Un pyréliomètre à incidence normale, étalonné conformément à l'ISO 9059, pour mesurer la composante normale directe d'éclairement, monté sur le dispositif séparé de poursuite du soleil.
- e) Un moyen de mesure de la température ambiante, de la température du module d'essai et du dispositif de référence avec une exactitude de ± 1 °C et une fidélité de $\pm 0,5$ °C. Il convient de mesurer la température du module à au moins 4 emplacements tels que représentés à la Figure 2.
- f) Un matériel de mesure du courant de court-circuit du module d'essai avec une exactitude de $\pm 0,2$ % de la valeur à 1 000 W·m⁻² (voir IEC 60904-1). Les modules d'essai ne doivent pas faire l'objet d'un court-circuit continu, afin d'éviter les conditions de polarisation inverse et les cellules chaudes individuelles. Il convient plutôt que le module soit en circuit ouvert ou à la puissance maximale entre les mesurages I_{sc} de courte durée.
- g) Un matériel de mesure de la sortie du dispositif de référence avec une exactitude de $\pm 0,2$ % de la valeur à 1 000 W/m².
- h) Un système biaxial de suivi de trajectoire du soleil avec un montage de bâti ouvert et permettant d'introduire des valeurs d'angle d'incidence du module dans la plage comprise entre -90° et $+90^\circ$, avec obtention potentielle d'une valeur d'au moins 80° .

NOTE 1 Un système monoaxial de suivi de trajectoire du soleil peut s'avérer également suffisant, mais la méthode devra être adaptée afin de corriger la variation de l'angle d'incidence en raison de directions de balayage non perpendiculaires.

- i) Un moyen de détermination de l'angle d'incidence solaire avec une exactitude d'au moins $\pm 0,5^\circ$. Le montage d'un module sur un système de suivi de trajectoire du soleil peut ne pas satisfaire à cette exigence, même si ce système est capable d'une bien meilleure exactitude de suivi. Une vérification de l'angle d'inclinaison avec une exactitude de plus de $\pm 1^\circ$ est exigée. Les méthodes possibles incluent l'utilisation d'angles calculés de position du soleil associés aux angles de position du dispositif de poursuite du soleil, ou des lectures numériques d'inclinomètre en cas de variation des angles d'inclinaison sur le seul axe d'élévation, voire un rapporteur numérique comportant une fonction d'alignement sur le soleil.

NOTE 2 La détermination de l'angle d'incidence du soleil (θ) avec une exactitude d'au moins $\pm 0,5^\circ$ est exigée. Dans le cas contraire, l'incertitude associée au facteur cosinus (θ) est importante à des valeurs θ élevées.

- j) Un système d'acquisition de données pour enregistrer les paramètres suivants:
 - les sorties du ou des dispositifs de référence,
 - le courant de court-circuit du ou des dispositifs en essai,
 - les températures du module,
 - les températures du dispositif de référence (le cas échéant).

Les mesurages du courant du module et de la sortie du dispositif de référence doivent être simultanés (séparés de 1 ms au plus). Une séparation de plus longue durée (jusqu'à 1 s) est admissible, mais la stabilité de l'éclairement doit être vérifiée en le mesurant avant et après le mesurage du module.