

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating –
Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating**

**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**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61853-1

Edition 1.0 2011-01

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating –
Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power
rating**

**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**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

Q

ICS 27.160

ISBN 978-2-88912-301-8

CONTENTS

FOREWORD..... 3

INTRODUCTION..... 5

1 Scope and object..... 6

2 Normative references 6

3 Sampling 7

4 Marking 7

5 Testing and pass criteria 7

6 Report 8

7 Power rating conditions 8

 7.1 General 8

 7.2 STC (Standard Test Conditions) 9

 7.3 NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)..... 9

 7.4 LIC (Low Irradiance Condition) 9

 7.5 HTC (High Temperature Condition) 9

 7.6 LTC (Low Temperature Condition)..... 9

8 Procedure for irradiance and temperature performance measurements 9

 8.1 Purpose 9

 8.2 Simplified procedure for linear modules 10

 8.3 Procedure in natural sunlight with tracker 11

 8.4 Procedure in natural sunlight without tracker 13

 8.5 Procedure with a solar simulator 13

9 Rating of power 15

 9.1 Interpolation of I_{SC} , V_{OC} , V_{max} and P_{max} 15

 9.1.1 General 15

 9.1.2 Interpolation of I_{SC} , V_{OC} , V_{max} and P_{max} with respect to temperature 15

 9.1.3 Interpolation of I_{SC} with respect to irradiance 15

 9.1.4 Interpolation of V_{OC} with respect to irradiance 15

 9.1.5 Interpolation of P_{max} with respect to irradiance 16

 9.1.6 Appropriateness of fitting method 16

 9.2 Power rating..... 16

Figure 1 – Positions for measuring the temperature of the test module behind the cells 11

Table 1 – Summary of reference power conditions (at AM 1,5)..... 9

Table 2 – I_{SC} , P_{max} , V_{OC} and V_{max} versus irradiance and temperature..... 10

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC (PV) MODULE PERFORMANCE TESTING AND ENERGY RATING –

Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating

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 61853-1 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
82/613/FDIS	82/622/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 of the IEC 61853 series can be found, under the general title *Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating*, 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 web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

This International Standard 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 including non-linear devices, but the methodology does not take into account transient behaviour such as light induced changes and/or thermal annealing.

Included in the IEC 61853 series of standards are: a guide to mapping module performance over a wide range of temperature and irradiance conditions; methods for characterising spectral and angular effects; definition of reference climatic profiles (temperature and irradiance); methods for evaluating instantaneous power and energy results; and a method for stating these results in the form of a numerical rating.

PHOTOVOLTAIC (PV) MODULE PERFORMANCE TESTING AND ENERGY RATING –

Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating

1 Scope and object

This part of IEC 61853 describes requirements for evaluating PV module performance in terms of power (watts) rating over a range of irradiances and temperatures. IEC 61853-2 describes test 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 response on energy production. 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 standardized energy ratings.

The object of this part of IEC 61853 is to define a testing and rating system, which provides the PV module power (watts) at maximum power operation for a set of defined conditions. A second purpose is to provide a full set of characterization parameters for the module under various values of irradiance and temperature. This set of measurements is required in order to perform the module energy rating described in IEC 61853-3.

2 Normative references

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

IEC 60410, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

IEC 60891:2009, *Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics*

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

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

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

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

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

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

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

IEC 61215:2005, *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61646:2008, *Thin film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

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 5 to ensure the stability of the power values.

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 modules to be tested are prototypes of a new design and not from production, this fact shall be noted in the test report (see Clause 6).

4 Marking

Each module shall carry the following clear and indelible markings:

- name, monogram or symbol of the manufacturer;
- type or model number;
- serial number;
- polarity of terminals or leads (colour coding is permissible);
- nominal and minimum values of maximum output power at STC after preconditioning, as specified by the manufacturer for the product type (see Clause 5).

The date and place of manufacture shall be marked on the module or be traceable from the serial number.

For future production the power ratings for NOCT, LIC, HTC and LTC determined by this standard as defined in Clause 7 and Table 1 and determined via the procedure in 9.2 shall be marked on a label, or be stated in the manufacturer's literature provided with each module of this type.

5 Testing and pass criteria

The modules shall be subjected to the procedure for irradiance and temperature performance measurements defined in Clause 8. In carrying out the tests, the manufacturer's handling, mounting and connection instructions shall be observed.

Special considerations: Preconditioning - Before beginning the measurements, the device under test shall be stabilized by light soaking, as specified in IEC 61215 (Clause 5) or IEC 61646 (10.19).

The values of STC power measured after preconditioning shall fall within the power range specified by the manufacturer of this product.

NOTE The pass/fail criteria must consider the laboratory uncertainty of the measurement. As an example, if the laboratory extended uncertainty of the STC measurement is $\pm 5\%$, then a nominal nameplate rated power greater than 95 % of the laboratory measured power would meet the pass criteria.

After generating the matrix of parameters in Section 8 the modules should be remeasured at STC to verify that the performance is stable.

6 Report

Following completion of the procedure, a certified report of the performance tests, with measured power characteristics shall be prepared by the test agency in accordance with the procedures of ISO/IEC 17025. Each certificate or test report shall include at least the following information:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the calibration or tests were carried out;
- c) unique identification of the certification or report and of each page;
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item calibrated or tested;
- f) characterization and condition of the calibration or test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of calibration or test, where appropriate;
- h) identification of calibration or test method used;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) any deviations from, additions to or exclusions from the calibration or test method, and any other information relevant to a specific calibration or test, such as environmental conditions;
- k) a statement as to whether the simplified method in section 8 was used to complete the matrix. If the simplified method was used, the test report should give the values of relative temperature coefficients for maximum power and open circuit voltage for the two different irradiances used to validate the use of the simplified method;
- l) measurements, examinations and derived results, including as a minimum table 2 for I_{SC} , P_{max} , V_{OC} and V_{max} , values of the module thermal coefficients α_1 , β_1 , the average power and the values for each of the three test modules at all reference power conditions (defined in section 7) and the temperature coefficient of module power (W) at the maximum power point (γ_1);
- m) a statement of the estimated uncertainty of the calibration or test result (where relevant);
- n) a statement as to whether the measured STC power agrees with the manufacturer's rated power range within the test laboratories measurement uncertainty;
- o) 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;
- p) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items calibrated or tested;
- q) a statement that the certificate or report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

7 Power rating conditions

7.1 General

The reference power conditions are shown in Table 1 and are described in more detail in the following subclauses. The first three reference power conditions are defined in IEC 61215/IEC 61646. The modules shall be tested and the maximum power determined for

the following rating conditions. For each rating condition the Air Mass 1,5 spectral irradiance distribution as given in IEC 60904-3 shall be used as well as normal incidence irradiance.

7.2 STC (Standard Test Conditions)

- Cell temperature: 25 °C.
- Irradiance: 1 000 W·m⁻².

7.3 NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)

- Cell temperature: NOCT (As determined in accordance with 10.5 of IEC 61215 or IEC 61646).
- Irradiance: 800 W·m⁻².

7.4 LIC (Low Irradiance Condition)

- Cell temperature: 25 °C.
- Irradiance: 200 W·m⁻².

7.5 HTC (High Temperature Condition)

- Cell temperature: 75 °C.
- Irradiance: 1 000 W·m⁻².

7.6 LTC (Low Temperature Condition)

- Cell temperature: 15 °C.
- Irradiance: 500 W·m⁻².

Table 1 – Summary of reference power conditions (at AM 1,5)

Condition	Irradiance W·m ⁻²	Temperature °C
STC Standard Test Conditions	1 000	25 of cell
NOCT Nominal Operating Cell Temperature (Determined according to IEC 61215 or IEC 61646)	800	20 of ambient
LIC Low Irradiance Condition	200	25 of cell
HTC High Temperature Condition	1000	75 of cell
LTC Low Temperature Condition	500	15 of cell

NOTE The conditions provided in this table may be measured directly as part of the performance matrix defined in Clause 8.

8 Procedure for irradiance and temperature performance measurements

8.1 Purpose

To determine the impact of irradiance and temperature on module performance:

The power delivery of photovoltaic devices is a direct function of module temperature and incident irradiance level. PV device performance is linear with temperature for many

crystalline silicon materials, but no general relation can be given for thin film materials. The short circuit current is often linear with respect to irradiance. The logarithmic variation of open circuit voltage and nonlinear variations of fill factor with the irradiance often render the maximum power a nonlinear function of light levels. Rather than using extensive modelling of these processes, the relations will be measured as functions of irradiance and temperature.

NOTE If I_{SC} of the module has been demonstrated to be linear (IEC 60904-10), I_{SC} can be utilized as the measurement of the irradiance level used in the test.

Matrices of module performance with respect to temperature and irradiance shall be measured. Separate tables for I_{SC} , V_{OC} , V_{max} and P_{max} shall be generated using sufficient data to assure statistical validity to the measurements (see 8.3.11 and 8.5.11). The tables for V_{OC} and V_{max} are not utilized for energy ratings, but are useful characteristics of the module type particularly for system design purposes.

Measurements need not be taken at exactly the irradiances and temperatures specified. Translation of I-V curves from the actual irradiance and/or temperature values to the values prescribed by the tables can be performed in accordance with IEC 60891. Such interpolation should be over no more than $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. All such interpolations shall be noted in the test report and their impact on uncertainty shall be included in the uncertainty analysis. Nevertheless, measurements shall be taken at or beyond the extremes of irradiance specified in Table 2 within the measurement accuracy of the instrumentation and the constraints of section 8.3.2.

A table of each of the parameters I_{SC} , P_{max} , V_{OC} and V_{max} , shall be made according to the example in Table 2.

NOTE 1 To assess nonlinearities, measurements at $300 \text{ W}/\text{m}^2$ and $50 \text{ W}/\text{m}^2$ can be helpful.

NOTE 2 Tables of the parameters I_{max} and Fill Factor (FF) can be generated from the four measured parameters.

Table 2 – I_{SC} , P_{max} , V_{OC} and V_{max} versus irradiance and temperature

Irradiance	Spectrum	Module temperature			
		15 °C	25 °C	50 °C	75 °C
$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$					
1 100	AM1,5	NA			
1 000	AM1,5				
800	AM1,5				
600	AM1,5				
400	AM1,5				NA
200	AM1,5			NA	NA
100	AM1,5			NA	NA

AM1,5 is defined in IEC 60904-3.

There are four procedures for performing the test matrix of module performance with respect to temperature and irradiance. The simplified procedure can only be utilized for linear modules per IEC 60904-10. Two of the procedures are performed outdoors in natural sunlight (one requiring a tracker and one that does not require a tracker). The fourth method is performed indoors using a solar simulator.

8.2 Simplified procedure for linear modules

For modules that have been determined to be linear (per IEC 60904-10), the maximum power dependence on irradiance and the maximum power dependence on temperature are independent. In this case it is sufficient to measure:

- a) the parameters (I_{sc} , V_{oc} , P_{max} and V_{max}) dependence on irradiance at fixed temperature over the range of $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ to $1\,100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- b) The parameters (I_{sc} , V_{oc} , P_{max} and V_{max}) dependence on temperature at two fixed irradiances, one of which is between $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and the second of which is between $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ to $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

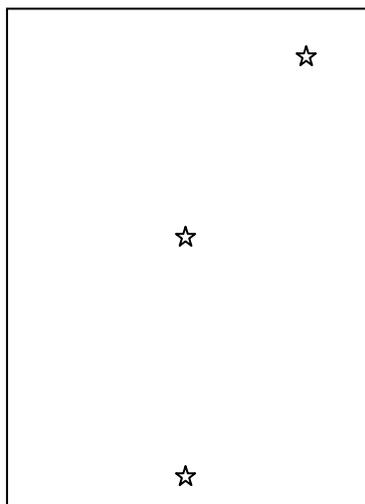
Compare the relative temperature coefficients for maximum power and open circuit voltage determined from the two irradiance sets. If the two values for the relative temperature coefficient of open circuit voltage agree within 10 % and the two values for the relative temperature coefficient of maximum power agree within 15 %, the average of the two temperature coefficients measured in b above can be utilized to fill out the tables. If not the table should be completed by measuring at each set of conditions.

NOTE Because of its small value the relative temperature coefficient of short circuit current is not considered in the above criteria.

8.3 Procedure in natural sunlight with tracker

8.3.1 Equipment required for this procedure is defined in IEC 60904-1.

The temperature of the test module shall be measured at approximately the three positions shown in Figure 1 (assuring that each position is directly behind a cell) and their values shall be averaged. For crystalline silicon modules an alternate approach is to use the Equivalent Cell Temperature measured using the method specified in IEC 60904-5.



IEC 2859/10

Figure 1 – Positions for measuring the temperature of the test module behind the cells

8.3.2 Measurement in natural sunlight shall be performed over the range of irradiance conditions occurring during the day. Short term irradiance variations caused by clouds, haze, or smoke shall be less than $\pm 1\%$ of the total irradiance as measured by the reference device during the collection of each measurement point as specified in IEC 60904-1. The wind speed should be less than $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. To increase the range and improve the accuracy data should be taken over at least three days.

8.3.3 Mount the reference device (as defined in IEC 60904-2) co-planar with the module on the two-axis tracker such that both are normal to the direct solar beam within $\pm 2^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.

NOTE The measurements described in the following sub-clauses should be made as expeditiously as possible within a few hours on the same day to minimize the effect of changes in the spectral conditions. If not, spectral corrections may be required.

8.3.4 If the test module and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level. If temperature controls are not used:

- a) shade the specimen from the sun and wind until its temperature is uniform within ± 2 °C of the ambient air temperature, or
- b) allow the test specimen to equilibrate to its stabilized temperature, or
- c) pre-condition the test specimen to a point below the target temperature and then let the module warm up naturally.

NOTE There may be differences between average cell temperature and average back temperature while the module is warming up. IEC 60904-5 can be utilized to determine the temperature change by observing the variance in open circuit voltage during the measurement time period.

8.3.5 Remove the shade (if used) and immediately take simultaneous readings of the test module temperature and I-V performance characteristics (at a minimum I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max}), the temperature and short-circuit current of the reference device and the spectral irradiance using the spectral radiometer (if a matched reference device is not utilized).

8.3.6 The irradiance, G_o , shall be calculated from the measured current (I_{sc}) of the reference device, and its calibration value at STC (I_{rc}). A correction should be applied to account for the temperature of the reference device during the measurement, T_m , using the specified relative short circuit current temperature coefficient of the reference device, α_{rc} .

$$G_o = \frac{G_{rc} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - T_{rc})]$$

Where G_{rc} is the irradiance at which the reference device was calibrated, usually 1000 W·m⁻² and T_{rc} is the temperature at which the reference device was calibrated, usually 25 °C. If the test specimen and reference device are not matched in spectral response, perform the spectral correction on G_o using the method from IEC 60904-7.

8.3.7 If the test parameter being varied is the irradiance, reduce the irradiance on the test specimen to the desired level without affecting the spatial uniformity. There are various methods by which to accomplish this:

- a) using calibrated, uniform density mesh filters that do not change the spectral energy distribution of the light. If this method is selected, the reference device should remain uncovered by the filter during the operation to enable the incident irradiance to be measured. In this case, the in plane irradiance is reduced by the filter calibration parameter (fraction of light transmitted). The uniformity of the irradiance from the filters should be verified using the uniformity procedure from IEC 60904-9 using the cell in the test device to size the detector to determine the uniformity class. The results should be provided in the test report.
- b) using uncalibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device should also be covered by the filter during the test. In this case, the reference device must be linear in short circuit current in accordance with IEC 60904-10. In this case in plane irradiance is reduced by the ratio of the reference device output to its calibration value. The uniformity of the irradiance from the filters should be verified using the uniformity procedure from IEC 60904-9 using the smallest device (either the cell in the test device or the reference device) to size the detector to determine the uniformity class. The results should be provided in the test report.
- c) by controlling the angle of incidence. If this method is selected, the reference device should have the same reflective properties as the test specimen, and should be mounted co-planar with the test specimen within $\pm 1^\circ$. In this case, the reference device must be packaged like the test module (so it has the same angle of incidence behaviour) and be linear in short circuit current in accordance with IEC 60904-10. Then the in plane irradiance is reduced by the ratio of the reference device output to its calibration value.

NOTE 1 The maximum filter mesh opening dimension shall be less than 1 % of the minimum linear dimension of the reference device and the test specimen, or a variable error may occur due to positioning.

NOTE 2 The angle of incidence approach is sensitive to the angular difference between the test specimen and the reference device at high angles. Therefore this method should not be utilized for angles above 60°.

8.3.8 If the test parameter being varied is the temperature, adjust the temperature by means of a controller, or by alternately exposing and shading the module as required to achieve and maintain the desired temperature for the naturally occurring irradiance levels. Alternately, the test specimen may be allowed to warm-up naturally with the data recording procedure of 8.3.5 performed periodically during the warm-up.

8.3.9 Ensure that the test module and reference device temperature are stable and remain constant within ± 1 °C and that the irradiance as measured by the reference device remains constant within ± 2 % during the data recording period.

8.3.10 Repeat steps 8.3.5 through 8.3.9 until the performance measurements are completed for the matrix of temperature and irradiance combinations as defined in Table 2. This means that full matrices of I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max} have been filled out.

8.3.11 A minimum of three measurements shall be made at each of the test conditions on a minimum of three days. Continue to collect data until the standard deviations for all V_{oc} , I_{sc} and P_{max} values in the matrix are less than 5 %.

NOTE The angular response as well as the spectral response affect the measurements in outdoor conditions. Spectral response can be corrected for by using spectrally matched reference cells or employing a spectroradiometer and carrying out a spectral mismatch calculation. The angular effect can be eliminated by use of a tracker

8.4 Procedure in natural sunlight without tracker

The second approach to collecting the outdoor data is to monitor the test modules outdoors for extended time periods and then to extract the data necessary to populate the matrices. This is a valid approach as long as the conditions specified in 8.3.2 are met. A tracker is not required for this approach, but corrections for angular response may be required (see note in 8.3.11).

8.5 Procedure with a solar simulator

8.5.1 The equipment required for this procedure is defined in IEC 60904-1.

The PV reference device as defined in IEC 60904-2 shall be linear in short-circuit current as defined in IEC 60904-10 over the irradiance range from $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ to $1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. If methods a), b), c) and e) from 8.5.7 are used the reference device shall be packaged via the same method as the module under test.

The solar simulator should be a Class BBB or better solar simulator in accordance with IEC 60904-9.

NOTE 1 The encapsulation system does effect the optical performance and spectral response of a PV device to the degree that care must be taken to assure that the reference device used in this procedure is spectrally matched to the module under test.

NOTE 2 Care should be taken if an emission lamp such as xenon is used for direct band gap and multijunction cells. As the band gap(s) changes due to temperature, it can pass through various emission lines in the lamp spectrum and give rise to large shifts in performance. For multijunction devices, these band gap shifts can alter the subcell current balancing and introduce additional shifts in performance.

NOTE 3 For a multijunction device, both the I_{sc} and the FF are nonlinear functions of the simulator spectral irradiance. Measurements made with solar simulators that are not spectrally adjustable can be expected to have large errors because the subcell currents are not balanced with respect to each other. Errors above 15 % in the current and power have been observed in commercial multijunction modules under a class AAA solar simulator.

8.5.2 Mount the test device and the reference device co-planar in the test plane of the simulator so that both are normal to the centre line of the beam within $\pm 2^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.

8.5.3 If the test device and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level. If temperature controls are not used, allow the test module and reference device to stabilize within $\pm 2^\circ\text{C}$ of the chamber air temperature.

NOTE If measured in non-equilibrium temperature conditions the temperature sensors shall be placed as in Figure 1.

8.5.4 Set the irradiance at the test plane to the upper limit of the range of interest using the reference device.

8.5.5 Take simultaneous readings of the test device temperature and I-V performance characteristics (at a minimum I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max}), the temperature and short-circuit current of the reference device and the spectral irradiance using the spectral radiometer (if a matched reference device is not utilized).

8.5.6 The irradiance, G_0 , shall be calculated from the measured current (I_{sc}) of the PV reference device, and its calibration value at STC (I_{rc}). A correction should be applied to account for the temperature of the reference device, T_m , using the specified relative short circuit current temperature coefficient of the reference device, α_{rc} .

$$G_0 = \frac{G_{\text{rc}} \times I_{\text{sc}}}{I_{\text{rc}}} \times [1 - \alpha_{\text{rc}}(T_m - T_{\text{rc}})]$$

Where G_{rc} is the irradiance at which the reference device was calibrated, usually $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and T_{rc} is the temperature at which the reference device was calibrated, usually 25°C . If the test specimen and reference device are not matched in spectral response, perform the spectral correction on G_0 using equation 1 in IEC 60904-7 to correct back to the AM1,5 global spectrum for all irradiances.

8.5.7 If the test parameter being varied is the irradiance, reduce the irradiance on the test device to the desired level without affecting the spatial uniformity or the spectral energy distribution. Several methods to accomplish this are:

- a) by increasing the distance between the test plane and the lamp. With the reference device maintained in the same plane as the test specimen, in plane irradiance is reduced by the ratio of the reference device output to its calibration value;
- b) by the use of an optical lens. Care should be exercised to ensure that the lens does not significantly change either the spectral energy distribution in the wavelength range in which the test and reference specimens are responsive or the spatial uniformity in the test plan. With the reference device maintained in the same plane as the test specimen, in plane irradiance is reduced by the ratio of the reference device output to its calibration value;
- c) by controlling the angle of incidence. If this method is selected, the distance between the lamp source and the specimen must be large to limit the irradiance change across the tilted surface to 2 % or less. Also, if this method is selected, the reference device should have the same reflective properties as the test specimen, and should be mounted co-planar with the test specimen. In this case, in plane irradiance is reduced by the ratio of the reference device output to its calibration value;
- d) using calibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device must remain uncovered by the filter during the operation to enable the incident irradiance to be measured. In this case, the in plane irradiance is reduced by the filter calibration parameter (fraction of light transmitted);

- e) using uncalibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device must also be covered by the filter during the test. In this case in plane irradiance is reduced by the ratio of the reference device output to its calibration value;
- f) by determining the device characteristics at different irradiance levels during the decaying tail of the flash of a pulsed solar simulator. This requires a spectral radiometer capable of measuring the spectral irradiance of the simulator during the measurement or verification that the reference device identified in a) is well matched to the test device over the range of irradiances, spectral distribution and temperatures of interest.

NOTE 1 The maximum filter mesh opening dimension shall be less than 1 % of the minimum linear dimension of the reference device and the test specimen, or a variable error may occur due to positioning.

NOTE 2 In method f the spectral match of the reference device to the test device should be verified by recording the short circuit current of test and reference device output during a decaying pulse from the solar simulator. The plot of the normalized relative ratio of the short circuit current of the test device to the reference device output versus irradiance should be made and the deviation of the ratio from unity should not exceed 1 % in the irradiance range of interest. Method f should not be used for multijunction devices.

8.5.8 If the test parameter being varied is the temperature, adjust the temperature by appropriate means (see IEC 61215 or IEC 61646).

8.5.9 Ensure that the test module and reference device temperatures remain constant within ± 1 °C during the test.

8.5.10 Repeat steps 8.5.5 through 8.5.9 until the performance measurements are completed for the matrix of temperature and irradiance combinations as defined in Table 2.

8.5.11 A minimum of three measurements shall be made at each of the test conditions. Continue to collect data until the standard deviations for all V_{oc} , I_{sc} and P_{max} values in the matrix are less than 5 %.

9 Rating of power

9.1 Interpolation of I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max}

9.1.1 General

To determine I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max} at intermediate values of irradiance and temperature other than those directly measured, the following procedures should be used. The procedures shall provide an estimate of the error (see 9.1.6).

9.1.2 Interpolation of I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max} with respect to temperature

To determine I_{sc} , V_{oc} , V_{max} and P_{max} at intermediate values of temperature, use a linear interpolation (regression) method with respect to the measured temperature dependence.

9.1.3 Interpolation of I_{sc} with respect to irradiance

To determine I_{sc} at intermediate values of irradiance, use a linear interpolation (regression) method with respect to the measured irradiance dependence.

NOTE For non-linear devices the irradiance range used in the interpolation may have to be limited in order to minimize the error.

9.1.4 Interpolation of V_{oc} with respect to irradiance

To determine V_{oc} at intermediate values of irradiance, data should be fitted to find v_1 and v_2 in the following equation,

$$V(G) = v_1 \times \ln(G) + v_2$$

NOTE 1 This relation is based on the logarithmic variation of V_{oc} with irradiance. Interpolation of V_{max} can be done using the same functional relationship as used for V_{oc} with a new set of coefficients.

NOTE 2 For non-linear devices the irradiance range used in the interpolation may have to be limited in order to minimize the error.

9.1.5 Interpolation of P_{max} with respect to irradiance

To determine P_{max} at intermediate values of irradiance, data from the region near the irradiance of interest (within $\pm 30\%$) should be fitted to a polynomial as this should take into account any non-linearity between data points.

NOTE In some cases it may be impossible to get a good fit to the whole P_{max} versus I_{sc} curve. In that case use several points below and several points above the intermediate I_{sc} value of interest. It may be necessary to take more experimental readings at irradiances closer to the required value.

For linear devices, if the difference between the measured irradiances does not exceed 30 %, linear interpolation may be used to obtain the value of P_{max} at intermediate irradiance levels. (See IEC 60891:2009, correction procedure 3.)

9.1.6 Appropriateness of fitting method

Check that the algorithms for 9.1.2 through 9.1.5 are valid by verifying that the global minimum of the error function has been found (by investigating the error surfaces). If these algorithms are not valid, other appropriate relations may be used.

9.2 Power rating

For each test module utilize Table 2 for P_{max} and if necessary the interpolation procedure given in clause 9.1.5 to determine P_{max} at each of the reference power conditions as defined in Clause 7 and Table 1. For each module type the reported reference power conditions (except for STC) shall be the average of the values determined for the three test modules. This average plus the range of determined values shall be reported and utilized for markings in Clause 4.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application et objet.....	22
2 Références normatives.....	22
3 Echantillonnage.....	23
4 Marquage.....	23
5 Conditions d'essai et critères d'acceptation.....	23
6 Rapport.....	24
7 Conditions des caractéristiques de puissance.....	25
7.1 Généralités.....	25
7.2 STC (Conditions normales d'essai).....	25
7.3 NOCT (Température nominale de fonctionnement des cellules).....	25
7.4 LIC (Condition d'éclairement faible).....	25
7.5 HTC (Condition de température élevée).....	25
7.6 LTC (Condition de température basse).....	25
8 Procédure de mesures de performance en fonction de l'éclairement et de la température.....	26
8.1 Objet.....	26
8.2 Procédure simplifiée pour modules linéaires.....	27
8.3 Procédure sous lumière solaire naturelle avec système de suivi.....	28
8.4 Procédure sous lumière solaire naturelle sans système de suivi.....	30
8.5 Procédure avec un simulateur solaire.....	30
9 Caractéristiques de puissance.....	32
9.1 Interpolation de I_{SC} , V_{OC} , V_{max} et P_{max}	32
9.1.1 Généralités.....	32
9.1.2 Interpolation de I_{SC} , V_{OC} , V_{max} et P_{max} par rapport à la température.....	32
9.1.3 Interpolation de I_{SC} par rapport à l'éclairement.....	32
9.1.4 Interpolation de V_{OC} par rapport à l'éclairement.....	33
9.1.5 Interpolation de P_{max} par rapport à l'éclairement.....	33
9.1.6 Pertinence de la méthode d'ajustement.....	33
9.2 Caractéristiques de puissance.....	33
Figure 1 – Positions de mesure de la température du module en essai derrière les cellules.....	28
Tableau 1 – Résumé des conditions de puissance de référence (Masse d'air 1,5).....	26
Tableau 2 – I_{SC} , P_{max} , V_{OC} et V_{max} en fonction de l'éclairement et de la température.....	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61853-1 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/613/FDIS	82/622/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/CEI, Partie 2.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

La présente série de Normes internationales établit les exigences de la CEI en matière d'évaluation de la performance des modules PV, basées sur la puissance (watts), l'énergie (wattheures) et le coefficient de performance (PR). Elle est rédigée pour être applicable à toutes les technologies PV, y compris les dispositifs non linéaires, mais la méthodologie ne tient pas compte du comportement transitoire, tels les changements induits par la lumière et/ou par le recuit thermique.

La série de normes CEI 61853 comprend les éléments suivants: un guide permettant d'établir une correspondance entre la performance d'un module et une plage étendue de conditions de température et d'éclairement; des méthodes pour caractériser les effets spectraux et angulaires; la définition des profils climatiques de référence (température et éclairement); des méthodes pour évaluer les résultats de puissance et d'énergie instantanées; et une méthode pour exprimer ces résultats sous forme de caractéristiques numériques.

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

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61853 définit les exigences relatives à l'évaluation de la performance d'un module PV, en termes de caractéristiques de puissance (watts), sur une plage d'éclairements et de températures. La CEI 61853-2 décrit les procédures d'essai pour mesurer l'effet de l'angle d'incidence sur la performance, pour évaluer la température d'un module à partir de l'éclairement, la température ambiante et la vitesse du vent, et l'impact de la réponse spectrale sur la production d'énergie. La CEI 61853-3 décrit les calculs des caractéristiques énergétiques d'un module PV (wattheures). La CEI 61853-4 décrit les périodes de temps et les conditions atmosphériques normalisées qui peuvent être utilisées pour calculer les caractéristiques d'énergie normalisées.

L'objet de la présente partie de la CEI 61853 est de définir un système d'essai et de caractérisation, donnant la puissance (watts) du module PV lorsqu'il fonctionne à puissance maximale et pour un ensemble de conditions définies. Un deuxième objet est de fournir un ensemble complet de paramètres de caractérisation relatif au module, sous diverses valeurs d'éclairement et de température. Cet ensemble de mesures est nécessaire pour évaluer les caractéristiques énergétiques du module décrites dans la CEI 61853-3.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60410, *Plans et règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs*

CEI 60891:2009, *Dispositifs photovoltaïques – Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées*

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

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

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

CEI 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*

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

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

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

CEI 61215:2005, *Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

CEI 61646:2008, *Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

3 Echantillonnage

Pour les essais de qualification de performance, trois modules doivent être prélevés au hasard parmi un ou plusieurs lots de production, conformément à la procédure décrite dans la CEI 60410. Les modules doivent être préconditionnés conformément à l'Article 5, pour assurer la stabilité des valeurs de puissance.

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, et doivent avoir été soumis au contrôle normal du fabricant et 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 de tous les diodes, bâtis, supports, etc.

Si les modules à soumettre aux essais sont des prototypes d'une nouvelle conception et non issus de la production, ceci doit être indiqué dans le rapport d'essai (voir l'Article 6).

4 Marquage

Chaque module doit être marqué de façon claire et indélébile des indications suivantes:

- nom, monogramme ou symbole du fabricant;
- type ou numéro du modèle;
- numéro de série;
- polarité des bornes de sorties ou des connecteurs (un code de couleur est autorisé);
- valeurs nominale et minimale de la puissance maximale de sortie dans les conditions normales d'essai (STC, an anglais *standard test conditions*) après préconditionnement, comme spécifié par le fabricant pour le type de produit (voir l'Article 5).

La date et le lieu de fabrication doivent être marqués sur le module ou être déductibles à partir du numéro de série.

Pour la production future, les caractéristiques de puissance pour des NOCT (température nominale de fonctionnement des cellules), LIC (condition d'éclairage faible), HTC (condition de température élevée) et LTC (condition de température basse), déterminées suivant la présente norme, comme définies à l'Article 7 et dans le Tableau 1 et déterminées par la procédure du 9.2, doivent être inscrites sur une étiquette ou être indiquées dans la documentation du fabricant fournie avec chaque module de ce type.

5 Conditions d'essai et critères d'acceptation

Les modules doivent être soumis à la procédure de mesures de performance en fonction de l'éclairage et de la température définie à l'Article 8. En procédant aux essais, les

instructions de manipulation, de montage et de raccordement du fabricant doivent être observées.

Dispositions spéciales: Préconditionnement – Avant de commencer les mesures, le dispositif en essai doit être stabilisé par une exposition prolongée au rayonnement lumineux, comme spécifié dans la CEI 61215 (Article 5) ou dans la CEI 61646 (10.19).

Les valeurs de puissance, mesurées dans les conditions normales d'essai (STC) après preconditionnement, doivent se situer dans la plage des puissances spécifiées par le fabricant de ce produit.

NOTE Les critères d'acceptation/de refus doivent tenir compte des incertitudes de mesure du laboratoire. Par exemple, si l'incertitude étendue de mesure aux STC du laboratoire est de $\pm 5\%$, alors une puissance nominale assignée sur la plaque du fabricant supérieure à 95 % de la puissance mesurée en laboratoire serait le critère d'acceptation.

Après avoir généré la matrice des paramètres de la Section 8, il convient que les modules soient mesurés à nouveau dans les conditions normales d'essai, afin de vérifier que les performances sont stables.

6 Rapport

Après l'exécution de la procédure, un rapport certifié des essais de performance, avec les caractéristiques de puissance mesurées, doit être préparé par l'organisme chargé des essais, conformément aux procédures de l'ISO/CEI 17025. 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 où l'étalonnage ou les essais ont été réalisés;
- c) une identification non équivoque de la certification ou du rapport et de chaque page;
- d) le nom et l'adresse du client, s'il y a lieu;
- e) la description et l'identification de l'unité soumise à l'étalonnage ou aux essais;
- f) La caractérisation et les conditions d'étalonnage ou d'essai de l'unité;
- g) la date de réception de l'unité soumise à l'essai et la (les) date(s) d'étalonnage ou d'essai, s'il y a lieu;
- h) une identification de l'étalonnage ou de la méthode d'essai utilisé(e);
- i) une référence à la procédure d'échantillonnage, s'il y a lieu;
- j) tout écart par rapport à, tout complément à ou toute exclusion de l'étalonnage ou de la méthode d'essai, et toute autre information correspondant à un étalonnage ou un essai spécifique, comme les conditions d'environnement;
- k) une déclaration indiquant si la méthode simplifiée de la section 8 a été employée pour remplir la matrice. Si la méthode simplifiée a été utilisée, il convient que le rapport d'essai donne les valeurs des coefficients de température relative pour la puissance maximale et la tension en circuit ouvert, pour les deux éclairagements différents utilisés pour valider l'utilisation de la méthode simplifiée;
- l) les mesures, examens et résultats dérivés, incluant au minimum le Tableau 2 pour I_{sc} , P_{max} , V_{oc} et V_{max} , les valeurs des coefficients thermiques du module, α_1 , β_1 , la puissance moyenne et les valeurs pour chacun des trois modules en essai dans toutes les conditions de puissance de référence (définies dans la section 7) et le coefficient de température de puissance du module (watts) au point de puissance maximale (γ_1);
- m) une indication de l'incertitude estimée de l'étalonnage ou du résultat d'essai (s'il y a lieu);
- n) une déclaration indiquant si la puissance mesurée dans les conditions normales d'essai (STC) est conforme à la plage des puissances assignées du fabricant, tout en tenant compte de l'incertitude de mesure des laboratoires d'essai;

- o) une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personne(s) acceptant la responsabilité du contenu du certificat ou du rapport, et la date de publication;
- p) s'il y a lieu, une indication selon laquelle les résultats ne se rapportent qu'aux unités soumises à l'étalonnage ou aux essais;
- q) une spécification indiquant que le certificat ou le rapport ne doit pas être reproduit, sauf dans sa totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.

7 Conditions des caractéristiques de puissance

7.1 Généralités

Les conditions de puissance de référence sont présentées dans le Tableau 1 et sont décrites plus en détail dans les paragraphes suivants. Les trois premières conditions de puissance de référence sont définies dans les CEI 61215/CEI 61646. Les modules doivent être soumis aux essais et la puissance maximale déterminée pour les conditions de caractérisation suivantes. Pour chaque condition de caractérisation, la répartition spectrale de l'éclairement à une masse d'air de 1,5, comme indiquée dans la CEI 60904-3, doit être utilisée, ainsi que l'éclairement d'incidence normale.

7.2 STC (Conditions normales d'essai)

- Température de cellule: 25 °C.
- Eclairement: 1 000 W·m⁻².

7.3 NOCT¹ (Température nominale de fonctionnement des cellules)

- Température de cellule: NOCT (Déterminée conformément au 10.5 de la CEI 61215 ou de CEI 61646).
- Eclairement: 800 W·m⁻².

7.4 LIC² (Condition d'éclairement faible)

- Température de cellule: 25 °C.
- Eclairement: 200 W·m⁻².

7.5 HTC³ (Condition de température élevée)

- Température de cellule: 75 °C.
- Eclairement: 1 000 W·m⁻².

7.6 LTC⁴ (Condition de température basse)

- Température de cellule: 15 °C.
- Eclairement: 500 W·m⁻².

1 NOCT = *Nominal Operating Cell Temperature*.

2 LIC = *Low Irradiance Condition*.

3 HTC = *High Temperature Condition*.

4 LTC = *Low Temperature Condition*.

Tableau 1 – Résumé des conditions de puissance de référence (Masse d'air 1,5)

Condition	Eclairement $W \cdot m^{-2}$	Température °C
STC Conditions normales d'essai	1 000	de la cellule, 25
NOCT Température nominale de fonctionnement des cellules (Déterminée conformément à la CEI 61215 ou la CEI 61646)	800	ambiante, 20
LIC Condition d'éclairement faible	200	de la cellule, 25
HTC Condition de température élevée	1000	de la cellule, 75
LTC Condition de température basse	500	de la cellule, 15

NOTE Les conditions données dans ce tableau peuvent être mesurées directement en tant qu'élément de la matrice de performance définie à l'Article 8.

8 Procédure de mesures de performance en fonction de l'éclairement et de la température

8.1 Objet

Déterminer l'impact de l'éclairement et de la température sur la performance du module:

La production de puissance des dispositifs photovoltaïques dépend directement de la température du module et du niveau d'éclairement incident. La performance du dispositif PV en fonction de la température est linéaire pour de nombreux matériaux au silicium cristallin, mais aucune relation générale ne peut être donnée pour des matériaux en couche mince. Le courant de court-circuit en fonction de l'éclairement est souvent linéaire. La variation logarithmique de la tension en circuit ouvert et les variations non linéaires du facteur de forme avec l'éclairement font que la puissance maximale est souvent une fonction non linéaire des niveaux de luminosité. Plutôt que d'utiliser une large modélisation de ces processus, les relations seront obtenues par mesures, en fonction de l'éclairement et de la température.

NOTE S'il a été démontré que l' I_{sc} du module est linéaire (CEI 60904-10), l' I_{sc} peut être utilisé comme la mesure du niveau d'éclairement utilisé au cours de l'essai.

Les matrices de performance du module, en fonction de la température et de l'éclairement, doivent être mesurées. Des tableaux distincts pour I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max} doivent être construits à partir d'un nombre suffisant de données pour assurer la validité statistique des mesures (voir 8.3.11 et 8.5.11). Les tableaux pour V_{oc} et V_{max} ne sont pas utilisés pour les caractéristiques énergétiques assignées, mais sont des caractéristiques utiles pour le type de module, en particulier pour les besoins de conception du système.

Les mesures peuvent ne pas être effectuées précisément aux éclairements et températures spécifiés. La translation des courbes I-V à partir des valeurs réelles d'éclairement et/ou de température jusqu'aux valeurs prescrites par les tableaux, peut être effectuée conformément à la CEI 60891. Il convient qu'une telle interpolation ne s'étende pas sur plus de $100 W \cdot m^{-2}$. Toutes ces interpolations doivent être notées dans le rapport d'essai, et leur impact sur l'incertitude doit être inclus dans l'analyse d'incertitude. Néanmoins, les mesures doivent être effectuées aux, ou au-delà des, valeurs extrêmes d'éclairement spécifiées dans le Tableau 2, en tenant compte de la précision de mesure de l'instrumentation et des contraintes de la section 8.3.2.

Un tableau pour chacun des paramètres I_{SC} , P_{max} , V_{OC} et V_{max} , doit être établi, conformément à l'exemple donné dans le Tableau 2.

NOTE 1 Pour évaluer les non-linéarités, des mesures à 300 W/m² et à 50 W/m² peuvent être utiles.

NOTE 2 Les tableaux des paramètres I_{max} et facteur de forme (FF^5) peuvent être générés à partir des quatre paramètres mesurés.

Tableau 2 – I_{SC} , P_{max} , V_{OC} et V_{max} en fonction de l'éclairement et de la température

Eclairement W·m ⁻²	Spectre	Température du module			
		15 °C	25 °C	50 °C	75 °C
1 100	Masse d'air 1,5	NA			
1 000	Masse d'air 1,5				
800	Masse d'air 1,5				
600	Masse d'air 1,5				
400	Masse d'air 1,5				NA
200	Masse d'air 1,5			NA	NA
100	Masse d'air 1,5			NA	NA

La masse d'air 1,5 est définie dans la CEI 60904-3.

Il existe quatre procédures permettant de réaliser la matrice d'essai de performance du module en fonction de la température et de l'éclairement. La procédure simplifiée ne peut être utilisée que pour les modules linéaires selon la CEI 60904-10. Deux des procédures sont réalisées à l'extérieur, sous lumière solaire naturelle (l'une nécessitant un système de suivi, et l'autre n'en nécessitant pas). La quatrième méthode est réalisée à l'intérieur à l'aide d'un simulateur solaire.

8.2 Procédure simplifiée pour modules linéaires

Pour les modules, qui ont été déterminés être linéaires (au sens de la CEI 60904-10), la dépendance de la puissance maximale à l'égard de l'éclairement et la dépendance de la puissance maximale à l'égard de la température sont indépendantes. Dans ce cas, il suffit de mesurer:

- la dépendance des paramètres (I_{SC} , V_{OC} , P_{max} et V_{max}) à l'égard de l'éclairement à une température déterminée, sur la plage comprise entre 100 W·m⁻² et 1 100 W·m⁻².
- la dépendance des paramètres (I_{SC} , V_{OC} , P_{max} et V_{max}) à l'égard de la température à deux éclairements déterminés, l'un d'eux étant compris entre 800 W·m⁻² et 1 000 W·m⁻² et le deuxième entre 100 W·m⁻² et 300 W·m⁻².

Comparer les coefficients de température relative pour la puissance maximale et la tension en circuit ouvert, déterminés à partir des deux ensembles d'éclairement. Si les deux valeurs du coefficient de température relative de la tension en circuit ouvert sont corrélées à 10 % près et si les deux valeurs du coefficient de température relative de la puissance maximale le sont à 15 % près, la moyenne des deux coefficients de température mesurés en b) ci-dessus peut être utilisée pour compléter les tableaux. Sinon, il convient de remplir le tableau à partir des mesures effectuées pour chaque ensemble de conditions.

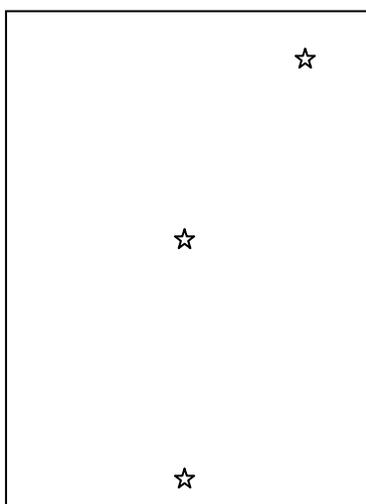
NOTE En raison de sa faible valeur, le coefficient de température relative du courant de court-circuit n'est pas pris en compte dans les critères ci-dessus.

⁵ FF = Fill factor.

8.3 Procédure sous lumière solaire naturelle avec système de suivi

8.3.1 L'équipement requis pour cette procédure est défini dans la CEI 60904-1.

La température du module en essai doit être mesurée au voisinage des trois positions indiquées sur la Figure 1 (en s'assurant que chaque position est directement derrière une cellule), et les valeurs obtenues doivent être moyennées. Concernant les modules au silicium cristallin, une autre approche consiste à utiliser la température de cellule équivalente (ECT⁶) mesurée en utilisant la méthode stipulée dans la CEI 60904-5.



IEC 2859/10

Figure 1 – Positions de mesure de la température du module en essai derrière les cellules

8.3.2 La mesure en lumière solaire naturelle doit être effectuée sur la plage des conditions d'éclairement de la journée. Les variations à court terme de l'éclairement dues aux nuages, à la brume, ou aux fumées, doivent être inférieures à $\pm 1\%$ de l'éclairement total, mesuré par le dispositif de référence pendant le relevé à chaque point de mesure, tel que spécifié dans la CEI 60904-1. Il convient que la vitesse du vent soit inférieure à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Afin d'augmenter la plage et d'améliorer la précision, il convient de relever les données pendant au moins trois jours.

8.3.3 Monter le dispositif de référence (comme défini dans la CEI 60904-2) sur le système de suivi à deux axes, dans le même plan que le module, de telle sorte qu'ils soient tous les deux perpendiculaires au faisceau solaire direct à $\pm 2^\circ$. Connecter à l'instrumentation nécessaire.

NOTE Il convient que les mesures décrites dans les paragraphes suivants soient effectuées aussi rapidement que possible, en quelques heures, le même jour, pour minimiser les effets des changements dans les conditions spectrales. Si tel n'est pas le cas, des corrections spectrales peuvent être exigées.

8.3.4 Si le module en essai et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de régulation thermique, ajuster ces dispositifs au niveau souhaité. Si les dispositifs de régulation thermique ne sont pas utilisés:

- masquer le spécimen pour le protéger du rayonnement solaire et du vent jusqu'à ce que sa température soit uniforme et atteigne celle de l'air ambiant à $\pm 2^\circ\text{C}$ près, ou
- laisser le spécimen en essai s'équilibrer jusqu'à stabilisation de sa température, ou
- préconditionner le spécimen en essai jusqu'à un point en dessous de la température cible, puis laisser le module se réchauffer naturellement.

⁶ ECT = *Equivalent cell temperature*.

NOTE Il peut y avoir des différences entre la température moyenne de la cellule et la température moyenne au dos de la cellule lorsque le module se réchauffe. La CEI 60904-5 peut être utilisée pour déterminer le changement de température en observant la variation de la tension en circuit ouvert pendant la période de mesure.

8.3.5 Retirer le dispositif de masquage (si utilisé) et consigner immédiatement les relevés simultanés de température et les caractéristiques de performance I-V (au minimum, I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max}) du module en essai, la température et le courant de court-circuit du dispositif de référence et l'éclairement spectral, à l'aide du radiomètre spectral (si un dispositif de référence adapté n'est pas utilisé).

8.3.6 L'éclairement, G_o , doit être calculé à partir du courant mesuré (I_{sc}) du dispositif de référence, et de sa valeur d'étalonnage à STC (I_{rc}). Il convient d'appliquer une correction pour prendre en compte la température du dispositif de référence pendant la mesure, T_m , en utilisant le coefficient de température relative spécifié du courant de court-circuit du dispositif de référence, α_{rc} .

$$G_o = \frac{G_{rc} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - T_{rc})]$$

où G_{rc} est l'éclairement auquel le dispositif de référence a été étalonné, habituellement $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, et T_{rc} est la température à laquelle ce même dispositif a été étalonné, habituellement $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Si le spécimen en essai et le dispositif de référence ne sont pas appariés en réponse spectrale, appliquer la correction spectrale sur G_o , en utilisant la méthode de la CEI 60904-7.

8.3.7 Si le paramètre d'essai que l'on fait varier est l'éclairement, diminuer celui-ci sur le spécimen en essai jusqu'au niveau désiré, sans affecter l'uniformité spatiale. Il existe plusieurs méthodes pour y parvenir:

- a) en utilisant des filtres maillés étalonnés, de densité uniforme, qui ne modifient pas la répartition spectrale de l'énergie lumineuse. Si cette méthode est choisie, il convient que le filtre ne couvre pas le dispositif de référence pendant le fonctionnement, afin de permettre la mesure de l'éclairement incident. Dans ce cas, l'éclairement dans le plan est réduit par le paramètre d'étalonnage du filtre (fraction de la lumière transmise). Il convient de vérifier l'uniformité de l'éclairement provenant des filtres à l'aide de la procédure d'uniformité de la CEI 60904-9, en utilisant la cellule dans le dispositif d'essai pour dimensionner le détecteur, afin de déterminer la classe d'uniformité. Il convient de fournir les résultats dans le rapport d'essai.
- b) en utilisant des filtres maillés non étalonnés, de densité uniforme. Si cette méthode est choisie, il convient que le filtre couvre aussi le dispositif de référence pendant l'essai. Dans ce cas, le dispositif de référence doit être linéaire en courant de court-circuit, conformément à la CEI 60904-10. Dans ce cas, l'éclairement dans le plan est réduit par le rapport de la sortie du dispositif de référence à sa valeur d'étalonnage. Il convient de vérifier l'uniformité de l'éclairement provenant des filtres à l'aide de la procédure d'uniformité de la CEI 60904-9, en utilisant le dispositif le plus petit (soit la cellule dans le dispositif d'essai, soit le dispositif de référence) pour dimensionner le détecteur, afin de déterminer la classe d'uniformité. Il convient de fournir les résultats dans le rapport d'essai.
- c) en réglant l'angle d'incidence. Si cette méthode est choisie, il convient que le dispositif de référence possède les mêmes propriétés réfléchissantes que le spécimen en essai, et qu'il soit monté dans le même plan que celui-ci, à $\pm 1^\circ$. Dans ce cas, le dispositif de référence doit être placé dans son boîtier comme le module en essai (de telle sorte qu'il ait le même comportement d'angle d'incidence) et être linéaire en courant de court-circuit, conformément à la CEI 60904-10. L'éclairement dans le plan est ensuite réduit par le rapport de la sortie du dispositif de référence à sa valeur d'étalonnage.

NOTE 1 La taille maximale d'écartement des mailles du filtre doit être inférieure à 1 % de la dimension linéaire minimale du dispositif de référence et du spécimen en essai, ou une erreur variable peut apparaître en raison du positionnement.

NOTE 2 L'approche de l'angle d'incidence est sensible à la différence angulaire entre le spécimen en essai et le dispositif de référence à des angles élevés. Par conséquent, il convient que cette méthode ne soit pas utilisée pour des angles supérieurs à 60°.

8.3.8 Si le paramètre d'essai que l'on fait varier est la température, régler celle-ci au moyen d'un contrôleur ou en exposant et en masquant alternativement le module en essai jusqu'à atteindre et maintenir la température souhaitée pour les niveaux naturels d'éclairement. Sinon, on peut laisser le spécimen en essai s'échauffer naturellement, en utilisant la procédure d'enregistrement des données du 8.3.5, appliquée périodiquement au cours de l'échauffement.

8.3.9 S'assurer que les températures du module en essai et du dispositif de référence sont stables et restent constantes à ± 1 °C et que l'éclairement mesuré par le dispositif de référence reste constant à ± 2 % pendant la période d'enregistrement des données.

8.3.10 Répéter les étapes 8.3.5 à 8.3.9 jusqu'à ce que les mesures de performance soient terminées pour la matrice des combinaisons de température et d'éclairement définie dans le Tableau 2. Cela signifie que toutes les matrices pour I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max} ont été remplies.

8.3.11 Trois mesures, au minimum, doivent être réalisées à chacune des conditions d'essai, sur au moins trois jours. Continuer de recueillir les données jusqu'à ce que les écarts-types de toutes les valeurs de V_{oc} , I_{sc} et P_{max} de la matrice soient inférieurs à 5 %.

NOTE La réponse angulaire, ainsi que la réponse spectrale, affectent les mesures en conditions extérieures. La réponse spectrale peut être corrigée en utilisant des cellules de référence appariées du point de vue de leurs spectres ou en utilisant un spectroradiomètre et en effectuant un calcul de désadaptation de réponse spectrale. L'effet angulaire peut être éliminé grâce à un système de suivi.

8.4 Procédure sous lumière solaire naturelle sans système de suivi

La deuxième approche pour recueillir les données à l'extérieur consiste à surveiller les modules en essai à l'extérieur sur de longues périodes et d'extraire ensuite les données nécessaires pour compléter les matrices. Cette approche est valable tant que les conditions spécifiées au 8.3.2 sont remplies. Cette approche ne nécessite pas de système de suivi, mais des corrections de réponse angulaire peuvent être nécessaires (voir note du 8.3.11).

8.5 Procédure avec un simulateur solaire

8.5.1 L'équipement requis pour cette procédure est défini dans la CEI 60904-1.

Le dispositif de référence PV, tel que défini dans la CEI 60904-2, doit être linéaire en courant de court-circuit, comme défini dans la CEI 60904-10, sur la plage d'éclairement comprise entre $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et $1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Si les méthodes a), b), c) et e) de la Section 8.5.7 sont utilisées, le dispositif de référence doit être placé dans son boîtier suivant la même méthode que le module en essai.

Il convient que le simulateur solaire soit un simulateur solaire de classe BBB ou supérieure, conformément à la CEI 60904-9.

NOTE 1 Le système d'encapsulation affecte la performance optique et la réponse spectrale d'un dispositif PV à tel point qu'il faut prendre soin de s'assurer que le dispositif de référence utilisé pour cette procédure est apparié en spectre au module en essai.

NOTE 2 Il convient de prendre des précautions, si une lampe d'émission, comme une lampe au xénon, est utilisée pour les cellules à largeur de bande directe et les cellules multijonctions. Dans la mesure où la (les) largeur(s) de bande varie(nt) en fonction de la température, elle(s) peu(ven)t traverser diverses lignes d'émission dans le spectre de la lampe et donner lieu à des décalages importants de performance. Pour les dispositifs multijonctions, ces décalages de largeurs de bande peuvent modifier l'équilibrage du courant de la sous-cellule et introduire des décalages supplémentaires de performance.

NOTE 3 Pour un dispositif multijonctions, I_{sc} et le FF sont des fonctions non linéaires de l'éclairement spectral du simulateur. On peut s'attendre à ce que les mesures réalisées avec des simulateurs solaires qui ne sont pas réglables d'un point de vue spectral présentent des erreurs importantes, dans la mesure où les courants dans la sous-cellule ne sont pas équilibrés les uns par rapport aux autres. Des erreurs supérieures à 15 % pour le courant

et la puissance ont été observées dans les modules multijonctions commerciaux, avec un simulateur solaire de classe AAA.

8.5.2 Monter le dispositif en essai et le dispositif de référence dans le même plan d'essai que le simulateur, de sorte que tous deux soient perpendiculaires à l'axe du faisceau à $\pm 2^\circ$. Connecter à l'instrumentation nécessaire.

8.5.3 Si le dispositif en essai et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de régulation thermique, ajuster ces dispositifs au niveau souhaité. Si les dispositifs de régulation thermique ne sont pas utilisés, laisser le module en essai et le dispositif de référence se stabiliser à $\pm 2^\circ\text{C}$ de la température de l'air de la chambre.

NOTE Si les mesures sont effectuées dans des conditions de température non homogène, les capteurs de température doivent être placés comme indiqué sur la Figure 1.

8.5.4 Régler l'éclairement, au niveau du plan d'essai, à la limite supérieure de la plage considérée, à l'aide du dispositif de référence.

8.5.5 Consigner des relevés simultanés de la température et des caractéristiques de performance I-V (au minimum, I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max}) du dispositif en essai, la température et le courant de court-circuit du dispositif de référence et l'éclairement spectral, à l'aide du radiomètre spectral (si un dispositif de référence adapté n'est pas utilisé).

8.5.6 L'éclairement, G_0 , doit être calculé à partir du courant mesuré (I_{sc}) du dispositif de référence PV, et de sa valeur d'étalonnage à STC (I_{rc}). Il convient d'appliquer une correction pour prendre en compte la température du dispositif de référence, T_m , en utilisant le coefficient de température relative spécifié du courant de court-circuit du dispositif de référence, α_{rc} .

$$G_0 = \frac{G_{\text{rc}} \times I_{\text{sc}}}{I_{\text{rc}}} \times [1 - \alpha_{\text{rc}}(T_m - T_{\text{rc}})]$$

où G_{rc} est l'éclairement auquel le dispositif de référence a été étalonné, habituellement $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, et T_{rc} est la température à laquelle ce même dispositif a été étalonné, habituellement 25°C . Si le spécimen en essai et le dispositif de référence ne sont pas appariés en réponse spectrale, appliquer la correction spectrale sur G_0 , en utilisant l'équation 1 de la CEI 60904-7, pour revenir à une valeur de spectre global à masse d'air 1,5 pour tous les éclairagements.

8.5.7 Si le paramètre d'essai que l'on fait varier est l'éclairement, diminuer l'éclairement sur le dispositif en essai jusqu'au niveau souhaité, sans affecter l'uniformité spatiale ou la répartition spectrale de l'énergie. Il existe plusieurs méthodes pour y parvenir:

- en augmentant la distance entre le plan d'essai et la lampe. Le dispositif de référence étant maintenu dans le même plan que le spécimen en essai, l'éclairement dans le plan est réduit par le rapport de la sortie du dispositif de référence à sa valeur d'étalonnage;
- par l'utilisation d'une lentille optique. Il convient de prendre des précautions pour s'assurer que la lentille ne modifie pas de manière significative la répartition spectrale de l'énergie dans la plage des longueurs d'ondes dans laquelle les spécimens en essai et de référence sont sensibles, ou l'uniformité spatiale dans le plan d'essai. Le dispositif de référence étant maintenu dans le même plan que le spécimen en essai, l'éclairement dans le plan est réduit par le rapport de la sortie du dispositif de référence à sa valeur d'étalonnage;
- en réglant l'angle d'incidence. Si cette méthode est choisie, la distance entre la lampe source et le spécimen doit être grande, pour limiter la variation de l'éclairement sur la surface inclinée à 2 % au plus. Si cette méthode est choisie, il convient également que le dispositif de référence possède les mêmes propriétés réfléchissantes que le spécimen en essai, et qu'il soit fixé dans le même plan que celui-ci. Dans ce cas, l'éclairement dans le plan est réduit par le rapport de la sortie du dispositif de référence à sa valeur d'étalonnage;

- d) en utilisant des filtres maillés étalonnés, de densité uniforme. Si cette méthode est choisie, le filtre ne doit pas couvrir le dispositif de référence pendant le fonctionnement, afin de permettre la mesure de l'éclairement incident. Dans ce cas, l'éclairement dans le plan est réduit par le paramètre d'étalonnage du filtre (fraction de lumière transmise);
- e) en utilisant des filtres maillés non étalonnés, de densité uniforme. Si cette méthode est choisie, le filtre doit aussi couvrir le dispositif de référence pendant l'essai. Dans ce cas, l'éclairement dans le plan est réduit par le rapport de la sortie du dispositif de référence à sa valeur d'étalonnage;
- f) en déterminant les caractéristiques du dispositif à différents niveaux d'éclairement pendant la décroissance de traîne du flash d'un simulateur solaire pulsé. Ceci nécessite un radiomètre spectral capable de mesurer l'éclairement spectral du simulateur pendant la mesure, ou de vérifier que le dispositif de référence identifié en a) est bien apparié au dispositif en essai sur la plage des éclairements, de la répartition spectrale et des températures, considérés.

NOTE 1 La taille maximale d'écartement des mailles du filtre doit être inférieure à 1 % de la dimension linéaire minimale du dispositif de référence et du spécimen en essai, ou une erreur variable peut apparaître en raison du positionnement.

NOTE 2 Dans la méthode f), il convient que l'appariement spectral du dispositif de référence au dispositif en essai soit vérifié, en enregistrant le courant de court-circuit à la sortie des dispositifs en essai et de référence pendant une impulsion décroissante du simulateur solaire. Il convient de tracer le rapport relatif normalisé du courant de court-circuit du dispositif en essai à la sortie du dispositif de référence, en fonction de l'éclairement, et il convient que l'écart du rapport par rapport à l'unité ne dépasse pas 1 % dans la plage d'éclairement considérée. Il convient de ne pas utiliser la méthode f) pour les dispositifs multijonctions.

8.5.8 Si le paramètre d'essai que l'on fait varier est la température, régler celle-ci par des moyens appropriés (voir la CEI 61215 ou la CEI 61646).

8.5.9 S'assurer que les températures du module en essai et du dispositif de référence restent constantes à ± 1 °C pendant l'essai.

8.5.10 Répéter les étapes 8.5.5 à 8.5.9 jusqu'à ce que les mesures de performance soient terminées, pour la matrice des combinaisons de température et d'éclairement définie dans le Tableau 2.

8.5.11 Au minimum trois mesures doivent être effectuées pour chacune des conditions d'essai. Continuer de recueillir les données jusqu'à ce que les écarts-types de toutes les valeurs de V_{oc} , I_{sc} et P_{max} de la matrice soient inférieurs à 5 %.

9 Caractéristiques de puissance

9.1 Interpolation de I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max}

9.1.1 Généralités

Pour déterminer I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max} à des valeurs intermédiaires d'éclairement et de température, autres que celles directement mesurées, il convient d'appliquer les procédures suivantes. Les procédures doivent donner une évaluation de l'erreur (voir 9.1.6).

9.1.2 Interpolation de I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max} par rapport à la température

Pour déterminer I_{sc} , V_{oc} , V_{max} et P_{max} à des valeurs intermédiaires de température, utiliser une méthode d'interpolation linéaire (régression), en tenant compte de la dépendance à la température mesurée.

9.1.3 Interpolation de I_{sc} par rapport à l'éclairement

Pour déterminer I_{sc} à des valeurs intermédiaires d'éclairement, utiliser une méthode d'interpolation linéaire (régression), en tenant compte de la dépendance à l'éclairement mesuré.

NOTE Pour les dispositifs non linéaires, la plage d'éclairement utilisée dans l'interpolation peut devoir être limitée, afin de réduire les erreurs.

9.1.4 Interpolation de V_{oc} par rapport à l'éclairement

Pour déterminer V_{oc} à des valeurs intermédiaires d'éclairement, il convient d'ajuster les données pour trouver v_1 et v_2 dans l'équation suivante,

$$V(G) = v_1 \times \ln(G) + v_2$$

NOTE 1 Cette relation est basée sur la variation logarithmique de V_{oc} avec l'éclairement. L'interpolation de V_{max} peut se faire en utilisant la même relation fonctionnelle que celle utilisée pour V_{oc} , avec un nouvel ensemble de coefficients.

NOTE 2 Pour les dispositifs non linéaires, la plage d'éclairement utilisée dans l'interpolation peut devoir être limitée, afin de réduire les erreurs.

9.1.5 Interpolation de P_{max} par rapport à l'éclairement

Pour déterminer P_{max} à des valeurs intermédiaires d'éclairement, il convient d'ajuster les données relatives à la région voisine de l'éclairement considéré (à $\pm 30\%$) à un polynôme, tel que celui-ci tienne compte de toute non-linéarité entre les points de données.

NOTE Dans certains cas, il peut être impossible d'obtenir un bon ajustement sur l'ensemble de la courbe P_{max} en fonction de I_{sc} . Dans ce cas, utiliser plusieurs points inférieurs et plusieurs points supérieurs à la valeur intermédiaire I_{sc} considérée. Il peut être nécessaire de faire plus de relevés expérimentaux, à des éclairements plus proches de la valeur requise.

Pour les dispositifs linéaires, si la différence entre les éclairements mesurés ne dépasse pas 30 %, une interpolation linéaire peut être utilisée pour obtenir la valeur de P_{max} à des niveaux intermédiaires d'éclairement. (Voir la CEI 60891:2009, procédure de correction 3.)

9.1.6 Pertinence de la méthode d'ajustement

Vérifier que les algorithmes de 9.1.2 à 9.1.5 sont valides, en vérifiant que le minimum absolu de la fonction d'erreur a été trouvé (en étudiant les surfaces d'erreur). Si ces algorithmes ne sont pas valides, d'autres relations appropriées peuvent être utilisées.

9.2 Caractéristiques de puissance

Pour chaque module en essai, utiliser le Tableau 2 pour P_{max} et, si nécessaire, la procédure d'interpolation donnée à l'article 9.1.5 pour déterminer P_{max} à chacune des conditions de référence de puissance, comme défini à l'Article 7 et dans le Tableau 1. Pour chaque type de module, les conditions de puissance de référence consignées (excepté pour les STC) doivent être la moyenne des valeurs déterminées pour les trois modules en essai. Cette moyenne, plus la plage des valeurs déterminées, doivent être consignées et utilisées pour les marquages de l'Article 4.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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