

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61646 ed 2.0:2008



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	7
3 Sampling	8
4 Marking	8
5 Testing	9
6 Pass criteria	9
7 Major visual defects.....	10
8 Report	10
9 Modifications	11
10 Test procedures	14
10.1 Visual inspection	14
10.1.1 Purpose.....	14
10.1.2 Procedure.....	14
10.1.3 Requirements	14
10.2 Maximum power determination	14
10.2.1 Purpose.....	14
10.2.2 Apparatus.....	14
10.2.3 Procedure.....	14
10.3 Insulation test.....	15
10.3.1 Purpose.....	15
10.3.2 Apparatus.....	15
10.3.3 Test conditions	15
10.3.4 Procedure.....	15
10.3.5 Test requirements.....	16
10.4 Measurement of temperature coefficients	16
10.4.1 Purpose.....	16
10.4.2 Apparatus.....	16
10.4.3 Procedure.....	16
10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT).....	18
10.5.1 Purpose.....	18
10.5.2 Introduction	18
10.5.3 Principle	18
10.5.4 Apparatus.....	18
10.5.5 Test module mounting	19
10.5.6 Procedure.....	19
10.6 Performance at STC and NOCT	21
10.6.1 Purpose.....	21
10.6.2 Apparatus.....	22
10.6.3 Procedure.....	22
10.7 Performance at low irradiance	22
10.7.1 Purpose.....	22
10.7.2 Apparatus.....	22
10.7.3 Procedure.....	22
10.8 Outdoor exposure test	23

10.8.1	Purpose.....	23
10.8.2	Apparatus.....	23
10.8.3	Procedure.....	23
10.8.4	Final measurements	23
10.8.5	Requirements	23
10.9	Hot-spot endurance test	23
10.9.1	Purpose.....	23
10.9.2	Hot-spot effect.....	23
10.9.3	Classification of cell interconnection	24
10.9.4	Apparatus.....	25
10.9.5	Procedure.....	25
10.9.6	Final measurements	26
10.9.7	Requirements	26
10.10	UV preconditioning test.....	27
10.10.1	Purpose	27
10.10.2	Apparatus	27
10.10.3	Procedure	27
10.10.4	Final measurements.....	27
10.10.5	Requirements	27
10.11	Thermal cycling test.....	27
10.11.1	Purpose	27
10.11.2	Apparatus	28
10.11.3	Procedure	28
10.11.4	Final measurements.....	28
10.11.5	Requirements	29
10.12	Humidity-freeze test.....	29
10.12.1	Purpose	29
10.12.2	Apparatus	29
10.12.3	Procedure.....	30
10.12.4	Final measurements.....	30
10.12.5	Requirements	30
10.13	Damp heat test.....	30
10.13.1	Purpose	30
10.13.2	Procedure	30
10.13.3	Final measurements.....	30
10.13.4	Requirements	30
10.14	Robustness of terminations test.....	31
10.14.1	Purpose	31
10.14.2	Types of terminations.....	31
10.14.3	Procedure	31
10.14.4	Final measurements.....	32
10.14.5	Requirements	32
10.15	Wet leakage current test.....	32
10.15.1	Purpose	32
10.15.2	Apparatus	32
10.15.3	Procedure	32
10.15.4	Requirements	32
10.16	Mechanical load test.....	33
10.16.1	Purpose	33

10.16.2	Apparatus	33
10.16.3	Procedure	33
10.16.4	Final measurements.....	33
10.16.5	Requirements	33
10.17	Hail test.....	33
10.17.1	Purpose	33
10.17.2	Apparatus	33
10.17.3	Procedure	35
10.17.4	Final measurements.....	36
10.17.5	Requirements	36
10.18	Bypass diode thermal test.....	36
10.18.1	Purpose	36
10.18.2	Apparatus	37
10.18.3	Procedure 1	37
10.18.4	Procedure 2	38
10.18.5	Final Measurements.....	38
10.18.6	Requirements	39
10.19	Light-soaking	39
10.19.1	Purpose	39
10.19.2	Apparatus	39
10.19.3	Procedure	39
10.19.4	Final measurements.....	39
10.19.5	Requirements	39
	Bibliography.....	40
	Figure 1 – Qualification test sequence.....	12
	Figure 2 – NOCT correction factor	21
	Figure 3 – Hot-spot effect in a thin-film module with serially connected cells. Worst case shading condition is shading of 4 cells at the same time	24
	Figure 4 – Thermal cycling test.....	28
	Figure 5 – Humidity-freeze cycle.....	29
	Figure 6 – Hail test equipment	35
	Figure 7 – Impact locations.....	36
	Figure 8 – Bypass Diode Thermal Test	38
	Table 1 – Summary of test levels	13
	Table 2 – Ice ball masses and test velocities	34
	Table 3 – Impact locations	36

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THIN-FILM TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES –
DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61646 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1996. This edition constitutes a technical revision.

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

The major change is in the pass/fail criteria. It no longer relies on meeting a plus/minus criterion before and after each test, but rather on meeting the rated power after all of the tests have been completed and the modules have been light-soaked. This was done to eliminate the technology-specific preconditioning necessary to accurately measure the changes caused by the test. (Some modules lose power in light while others lose power during dark heat.) Since all modules must work after exposure to light, this seemed like a good approach and will streamline the test procedure, hopefully reducing the testing cost.

- Updated Normative references.
- Added a definition of "minimum value of maximum output power".

- Modified the wording in Major visual defects to allow some bending and misalignment without failure.
- Added requirements to the report from ISO/IEC 17025.
- Removed the "Twist Test" as was done from IEC 61215, since no one has ever failed this test.
- Made the pass/fail criteria for insulation resistance and wet leakage current dependent on the module area.
- Added the temperature coefficient of power (δ) to the required measurements.
- Modified temperature coefficient section to allow for measurements under natural sunlight or a solar simulator.
- Deleted reference plate method from NOCT.
- Added apparatus sections to those test procedures that did not have apparatus sections in edition 1.
- Rewrote the hot-spot test.
- Eliminated edge dip method from wet leakage current test.
- Changed mechanical load test to 3 cycles to be consistent with other standards.
- Added bypass diode thermal test.

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

FDIS	Report on voting
82/512/FDIS	82/528/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.

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

THIN-FILM TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

1 Scope and object

This International Standard lays down requirements for the design qualification and type approval of terrestrial, thin-film photovoltaic modules suitable for long-term operation in general open-air climates as defined in IEC 60721-2-1. This standard is intended to apply to all terrestrial flat plate module materials not covered by IEC 61215.

The test sequence is derived from IEC 61215 for the design qualification and type approval of terrestrial crystalline silicon PV modules. However, it no longer relies on meeting a plus/minus criterion before and after each test, but rather on meeting a specified percentage of the rated minimum power after all of the tests have been completed and the modules have been light-soaked. This eliminates the technology-specific preconditioning necessary to accurately measure the changes caused by the test.

This standard does not apply to modules used with concentrators.

The object of this test sequence is to determine the electrical and thermal characteristics of the module and to show, as far as possible within reasonable constraints of cost and time, that the module is capable of withstanding prolonged exposure in climates described in the scope. The actual life expectancy of modules so qualified will depend on their design, their environment and the conditions under which they are operated.

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 60068-1: *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-21: *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-78:2001, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

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

IEC 60721-2-1, *Classification of environmental conditions – Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

IEC 60891, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic (PV) devices*

IEC 60904-1:2006, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurements 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 60904-7, *Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device*

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

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

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

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

3 Sampling

Eight modules for qualification testing (plus spares as desired) shall be taken at random from a production batch or batches, in accordance with the procedure given in IEC 60410. 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, mounting and connection instructions, including the maximum permissible system voltage.

If the bypass diodes are not accessible in the standard modules, a special sample can be prepared for the bypass diode thermal test (see 10.18). The bypass diode should be mounted physically as it would be in a standard module, with a thermal sensor placed on the diode as required in 10.18.2. This sample does not have to go through the other tests in the sequence.

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 8).

4 Marking

Each module shall carry the following clear and indelible markings:

- name, monogram or symbol of manufacturer;
- type or model number;
- serial number;
- polarity of terminals or leads (colour coding is permissible);
- maximum system voltage for which the module is suitable;
- nominal and minimum values of maximum output power at STC, as specified by the manufacturer for the product type.

The minimum value of maximum output power refers to the lowest stabilized power that the manufacturer specifies for the product type (for example after any light induced degradation or recovery).

NOTE If the modules to be tested are prototypes of a new design and not from production, the results of this test sequence may be used to establish the module minimum power rating.

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

5 Testing

The modules shall be divided into groups and subjected to the qualification test sequences in Figure 1, carried out in the order laid down. Each box refers to the corresponding subclause in this standard. Test procedures and severities, including initial and final measurements where necessary, are detailed in Clause 10. However, with regard to the tests of 10.2, 10.4, 10.6 and 10.7, it should be noted that the procedures laid down in IEC 60891 for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics apply only to linear modules. Use IEC 60904-10 to assess linearity. If the module is non-linear, these tests shall be carried out within ± 5 % of the specified irradiance and within ± 2 °C of the specified temperature.

NOTE 1 Where the final measurements for one test serve as the initial measurements for the next test in the sequence, they need not be repeated. In these cases, the initial measurements are omitted from the test.

For diagnostic purposes, intermediate measurements of maximum power (10.2) may be undertaken before and after individual tests.

NOTE 2 The control module should be stored in accordance with the manufacturer's recommendation.

Any single test, executed independently of a test sequence, shall be preceded by the initial tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

In carrying out the tests, the tester shall strictly observe the manufacturer's handling, mounting and connection instructions. Tests given in 10.4, 10.5, 10.6 and 10.7 may be omitted if future IEC 61853 has been or is scheduled to be run on this module type.

Thin film technologies can have different stabilization characteristics. It is impossible to define a single stabilisation procedure applicable to all thin film technologies. This procedure tests the modules "as received" and attempts to reach a stabilised condition before final test.

Test conditions are summarized in Table 1.

NOTE 3 The test levels in Table 1 are the minimum levels required for qualification. If the laboratory and the module manufacturer agree, the tests may be performed with increased severities.

6 Pass criteria

A module design shall be judged to have passed the qualification tests, and therefore, to be IEC type approved, if each test sample meets all the following criteria:

- a) after the final light soaking, the maximum output power at STC is not less than 90 % of the minimum value specified by the manufacturer in Clause 4;

NOTE The pass/fail criteria must consider the laboratory uncertainty of the measurement. As an example, if the laboratory extended uncertainty, 2 sigma of the STC measurement, is ± 5 %, then a maximum power measurement greater than 85,5 % of the minimum specified value would be the pass criteria.

- b) no sample has exhibited any open-circuit during the tests;
- c) there is no visual evidence of a major defect, as defined in Clause 7;
- d) the insulation test requirements are met after the tests;
- e) the wet leakage current test requirements are met at the beginning and the end of each sequence and after the damp heat test;
- f) specific requirements of the individual tests are met.

If two or more modules do not meet these test criteria, the design shall be deemed not to have met the qualification requirements. Should one module fail any test, another two modules meeting the requirements of Clause 3 shall be subjected to the whole of the relevant

test sequence from the beginning. If one or both of these modules also fail, the design shall be deemed not to have met the qualification requirements. If, however, both modules pass the test sequence, the design shall be judged to have met the qualification requirements.

7 Major visual defects

For the purposes of design qualification and type approval, the following are considered to be major visual defects:

- a) broken, cracked, or torn external surfaces, including superstrates, substrates, frames and junction boxes;
- b) bent or misaligned external surfaces, including superstrates, substrates, frames and junction boxes to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired;
- c) voids in, or visible corrosion of any of the thin film layers of the active circuitry of the module, extending over more than 10 % of any cell;
- d) bubbles or delaminations forming a continuous path between any part of the electrical circuit and the edge of the module;
- e) loss of mechanical integrity, to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired;
- f) Module markings (label) is no longer attached or the information is unreadable.

8 Report

Following type approval, a certified report of the qualification tests, with measured performance characteristics and details of any failures and re-tests, shall be prepared by the test agency in accordance with 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 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 tested.
- f) Characterization and condition of the test item.
- g) Date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate.
- h) Identification of test method used.
- i) Reference to sampling procedure, where relevant.
- j) Any deviations from, additions to or exclusions from the test method, and any other information relevant to a specific tests, such as environmental conditions.
- k) Measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate including temperature coefficients of short circuit current, open circuit voltage and peak power, NOCT, power at NOCT, STC and low irradiance, the maximum shaded cell temperature observed during the hot-spot test, spectrum of the lamp used for the UV prescreening test, minimum power observed after light soaking and any failures observed. If the maximum power loss observed after each of the tests has been measured it should also be reported.
- l) A statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant).
- m) 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.
- n) Where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested.

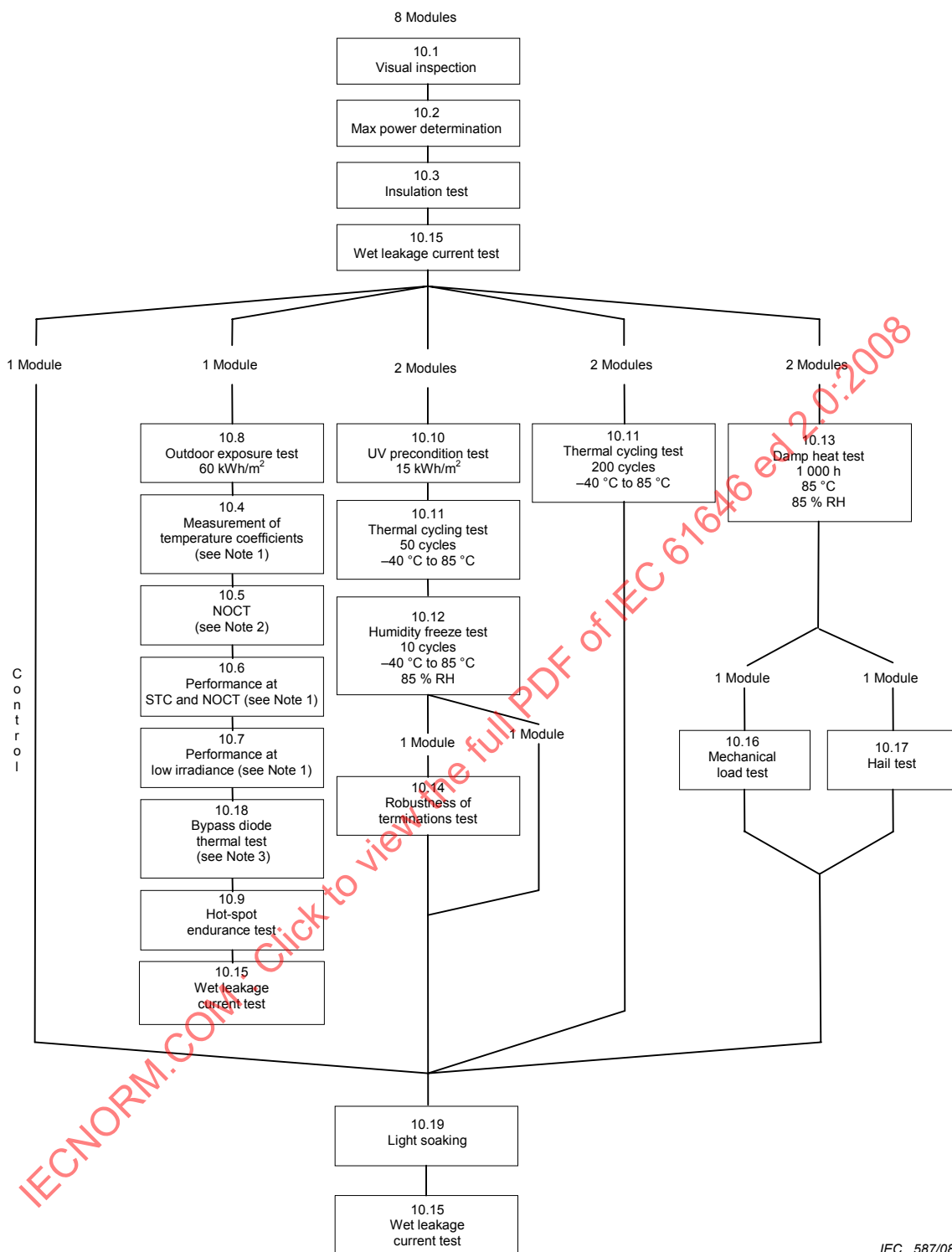
- o) A statement that the certificate or report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

A copy of this report shall be kept by the laboratory and manufacturer for reference purposes.

9 Modifications

Any change in the design, materials, components or processing of the module may require a repetition of some or all of the qualification tests to maintain type approval.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61646 ed 2.0:2008



NOTE 1 May be omitted if future IEC 61853 has been performed.

NOTE 2 In the case of modules not designed for open-rack mounting, the NOCT may be replaced by the equilibrium mean solar cell junction temperature in the standard reference environment, with the module mounted as recommended by the manufacturer.

NOTE 3 If the bypass diodes are not accessible in the standard modules, a special sample can be prepared for the bypass diode thermal test (10.18). The bypass diode should be mounted physically as it would be in a standard module, with a thermal sensor placed on the diode as required in 10.18.2. This sample does not have to go through the other tests in the sequence.

NOTE 4 For diagnostic purposes intermediate measurements of maximum power (10.2) may be undertaken before and after individual tests. If the control module is used for these measurements make sure it has been pre-conditioned per the manufacturers recommendation.

Figure 1 – Qualification test sequence

Table 1 – Summary of test levels

Test	Title	Test conditions
10.1	Visual inspection	See detailed inspection list in 10.1.2
10.2	Maximum Power Determination	See IEC 60904-1
10.3	Insulation test	Dielectric withstand at 1 000 V d.c. + twice the maximum system voltage for 1 min. For modules with an area less than 0,1 m ² the insulation resistance shall not be less than 400 MΩ. For modules with an area larger than 0,1 m ² , the measured insulation resistance times the area of the module shall not be less than 40 MΩ·m ² . Measured at 500 V or maximum system voltage, whichever is greater.
10.4	Measurement of temperature coefficients	See detail in 10.4 See IEC 60904-10 for guidance.
10.5	Measurement of NOCT	Total solar irradiance: 800 W·m ⁻² Ambient temperature: 20 °C Wind speed: 1 m·s ⁻¹
10.6	Performance at STC and NOCT	Cell temperature: 25 °C and NOCT Irradiance: 1 000 and 800 W·m ⁻² with IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.7	Performance at low irradiance	Cell temperature: 25 °C Irradiance: 200 W·m ⁻² with IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.8	Outdoor exposure test	60 kWh·m ⁻² total solar irradiation under resistive load
10.9	Hot-spot endurance test	One hour exposure to 1 000 W·m ⁻² irradiance in worst-case hot-spot condition
10.10	UV Preconditioning	15 kWh·m ⁻² total UV irradiation in the wavelength range from 280 nm to 385 nm with 5 kWh·m ⁻² UV irradiation in the wavelength range from 280 to 320 nm under resistive load.
10.11	Thermal cycling test	50 and 200 cycles from – 40 °C to +85 °C
10.12	Humidity freeze test	10 cycles from +85 °C, 85 % RH to –40 °C
10.13	Damp heat test	1 000 h at +85 °C, 85 % RH
10.14	Robustness of terminations test	As in IEC 60068-2-21
10.15	Wet leakage current test	See detail in 10.15 Test performed at test voltage 500 V or maximum systems voltage, whichever is higher for 1 min. For modules with an area less than 0,1 m ² the insulation resistance shall not be less than 400 MΩ. For modules with an area larger than 0,1 m ² the measured insulation resistance times the area of the module shall not be less than 40 MΩ·m ² .
10.16	Mechanical load test	Three cycles of 2 400 Pa uniform load, applied for 1 h to front and back surfaces in turn. Optional snow load of 5 400 Pa during last front cycle.
10.17	Hail test	25 mm diameter ice ball at 23,0 m·s ⁻¹ , directed at 11 impact locations
10.18	Bypass diode thermal test	One hour at I_{sc} and 75 °C One hour at 1,25 times I_{sc} and 75 °C
10.19	Light-soaking	Light exposure of 800 W·m ⁻² to 1 000 W·m ⁻² under resistive load until P_{max} is stable within 2 %.

10 Test procedures

10.1 Visual inspection

10.1.1 Purpose

To detect any visual defects in the module.

10.1.2 Procedure

Carefully inspect each module under an illumination of not less than 1 000 lux for the following conditions:

- cracked, bent, misaligned or torn external surfaces;
- faulty interconnections or joints;
- voids in, and visible corrosion of any of the thin film layers of the active circuit;
- visible corrosion of output connections, interconnections and busbars;
- failure of adhesive bonds;
- bubbles or delaminations forming a continuous path between a cell and the edge of the module;
- tacky surfaces of plastic materials;
- faulty terminations, exposed live electrical parts;
- any other conditions which may affect performance.

Make note of and/or photograph the nature and position of any cracks, bubbles or delamination, etc., which may worsen and adversely affect the module performance in subsequent tests.

10.1.3 Requirements

Visual conditions other than the major visual defects listed in Clause 7 are acceptable for the purpose of type approval.

10.2 Maximum power determination

10.2.1 Purpose

To determine the maximum power of the module before and after the various environmental tests. Repeatability of the test is the most important factor.

10.2.2 Apparatus

- a) A radiant source (natural sunlight or a solar simulator Class BBA or better in accordance with IEC 60904-9).
- b) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2. If a Class BBA simulator is used, the reference device shall be a reference module of the same size with the same cell technology (to match spectral response) as the test specimen.
- c) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- d) Apparatus for measuring an I-V curve in accordance with IEC 60904-1.

10.2.3 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module in accordance with IEC 60904-1 at a specific set of irradiance and temperature conditions (a recommended range is a cell

temperature between 25 and 50 °C and an irradiance between 700 W·m⁻² and 1100 W·m⁻²) using natural sunlight or a class BBA or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9. In special circumstances when modules are designed for operation under a different range of conditions, the current-voltage characteristics can be measured using temperature and irradiance levels similar to the expected operating conditions. For linear modules temperature and irradiance corrections can be made in accordance with IEC 60891. For nonlinear modules the measurement shall be performed within ±5 % of the specified irradiance and within ±2 °C of the specified temperature. Every effort should be made to assure that peak power measurements are made under similar operating conditions, that is, minimize the magnitude of the correction by making all peak power measurements on a particular module at approximately the same temperature and irradiance.

NOTE The control module may be used as a check every time the test modules are measured.

10.3 Insulation test

10.3.1 Purpose

To determine whether or not the module is sufficiently well insulated between current carrying parts and the frame or the outside world.

10.3.2 Apparatus

- a) A d.c. voltage source, with current limitation, capable of applying 500 V or 1 000 V plus twice the maximum system voltage of the module (as marked on the module – see Clause 4) according to item c) of 10.3.4.
- b) An instrument to measure the insulation resistance.

10.3.3 Test conditions

The test shall be made on modules at ambient temperature of the surrounding atmosphere (see IEC 60068-1) and in a relative humidity not exceeding 75 %.

10.3.4 Procedure

- a) Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of a d.c. insulation tester with a current limitation.
- b) Connect the exposed metal parts of the module to the negative terminal of the tester. If the module has no frame or if the frame is a poor electrical conductor, wrap a conductive foil around the edges and over the back of the module. If the module does not have a glass superstrate, also wrap the foil around the front of the module. Connect the foil to the negative terminal of the tester.
- c) Increase the voltage applied by the tester at a rate not exceeding 500 V·s⁻¹ to a maximum equal to 1 000 V plus twice the maximum system voltage (i.e. the maximum system voltage marked on the module by the manufacturer, see Clause 4). If the maximum system voltage does not exceed 50 V, the applied voltage shall be 500 V. Maintain the voltage at this level for 1 min.
- d) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up in the module.
- e) Remove the short circuit.
- f) Increase the voltage applied by the test equipment at a rate not to exceed 500 V·s⁻¹ to 500 V or the maximum system voltage for the module, whichever is greater. Maintain the voltage at this level for 2 min. Then determine the insulation resistance.
- g) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up in the module.
- h) Remove the short circuit and disconnect the test equipment from the module.

10.3.5 Test requirements

- no dielectric breakdown or surface tracking during step c);
- for modules with total area less than $0,1 \text{ m}^2$, the insulation resistance shall not be less than $400 \text{ M}\Omega$;
- for modules with total area larger than $0,1 \text{ m}^2$ the measured insulation resistance times the area of the module shall not be less than $40 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$.

10.4 Measurement of temperature coefficients

10.4.1 Purpose

To determine the temperature coefficients of current (α) and voltage (β) and peak power (δ) from module measurements. The coefficients so determined are valid at the irradiance at which the measurements were made. For linear modules, they are also valid over an irradiance range of $\pm 30\%$ of this level. This procedure supplements that in IEC 60891 for measuring these coefficients from a representative set of single cells. The temperature coefficients of a thin-film module may depend upon the irradiation and the thermal history of the module. When temperature coefficients are referred to, the history concerning the conditions and the results of irradiation along with thermal tests shall be indicated.

10.4.2 Apparatus

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

- a) a radiant source (natural sunlight or solar simulator, class BBB or better in accordance with IEC 60904-9) of the type to be used in subsequent tests;
- b) a PV reference device having a known short-circuit current versus irradiance characteristic determined by calibrating against an absolute radiometer in accordance with IEC 60904-2;
- c) any equipment necessary to change the temperature of the test specimen over the range of interest;
- d) a suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in the same plane normal to the radiant beam;
- e) apparatus for measuring an IV curve in accordance with IEC 60904-1.

10.4.3 Procedure

There are two acceptable procedures for measuring the temperature coefficients.

10.4.3.1 Procedure in natural sunlight

- a) Measurement in natural sunlight shall only be made when:
 - the total irradiance is at least as high as the upper limit of the range of interest;
 - the irradiance variation caused by short-term oscillations (clouds, haze, or smoke) is less than $\pm 2\%$ of the total irradiance as measured by the reference device;
 - the wind speed is less than $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- b) Mount the reference device co-planar with the test module so that both are normal to the direct solar beam within $\pm 5^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.

NOTE The measurements described in the following subclauses 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.

- c) If the test module and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level.
- d) If temperature controls are not used, shade the specimen and the reference device from the sun and wind until its temperature is uniform within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the ambient air temperature, or allow the test specimen to equilibrate to its stabilized temperature, or cool

the test specimen to a point below the required test temperature and then let the module warm up naturally. The reference device should also stabilize within $\pm 1^\circ\text{C}$ of its equilibrium temperature before proceeding.

- e) Record the current-voltage characteristic and temperature of the specimen concurrently with recording the short-circuit current and temperature of the reference device at the desired temperatures. If necessary, make the measurements immediately after removing the shade.
- f) The irradiance G_0 shall be calculated in accordance with IEC 60891 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 temperature coefficient of the reference device α_{rc} .

$$G_0 = \frac{1000 \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25)]$$

Where α_{rc} is the relative temperature coefficient [$^\circ\text{C}^{-1}$] at 25°C and $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

- g) Adjust the temperature by means of a controller or alternately exposing and shading the test module as required to achieve and maintain the desired temperature. Alternately, the test module may be allowed to warm-up naturally with the data recording procedure of item d) performed periodically during the warm-up.
- h) Ensure that the test module and reference device temperature are stabilized and remain constant within $\pm 1^\circ\text{C}$ and that the irradiance as measured by the reference device remains constant within $\pm 1\%$ during the recording period for each data set. All data must be taken at $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ or be translated to that irradiance level using IEC 60891. The translation can only be performed within the range of irradiance where the module is linear as defined in IEC 60904-10.
- i) Repeat steps d) through h). Module temperatures shall be such that the range of interest is at least 30°C and that it is spanned in at least four approximately equal increments. A minimum of three measurements shall be made at each of the test conditions.

10.4.3.2 Procedure with a solar simulator

- a) Determine the short-circuit current of the module at the desired irradiance at room temperature, in accordance with IEC 60904-1.
- b) Mount the test module in the equipment used to change the temperature. Connect to the instrumentation.
- c) Set the irradiance so that the test module produces the short-circuit current determined in item a).
- d) Heat or cool the module to a temperature of interest. Once the module has reached the desired temperature, measure I_{sc} , V_{oc} and peak power. Change the module temperature in steps of approximately 5°C over a range of interest of at least 30°C and repeat measurements of I_{sc} , V_{oc} and peak power.

NOTE 1 The complete current-voltage characteristic may be measured at each temperature to determine the temperature change in voltage at peak power and current at peak power.

NOTE 2 Care should be taken to assure that the test module is correctly pre-conditioned before each measurement.

10.4.3.3 Calculation of temperature coefficients

- a) Plot the values of I_{sc} , V_{oc} and P_{max} as functions of temperature and construct a least-squares-fit curve through each set of data.
- b) From the slopes of the least squares, fit straight lines for current, voltage and P_{max} . Calculate α , the temperature coefficient of short circuit current, β , the temperature

coefficient of open circuit voltage, and δ , the temperature coefficient of $P_{\max}$, for the module.

NOTE 1 See IEC 60904-10 to determine if the test modules can be considered to be linear devices.

NOTE 2 The temperature coefficients measured in this procedure are only valid at the irradiance level and spectrum at which they were measured. Relative temperature coefficients expressed as percentages can be determined by dividing the calculated α , β , and δ by the values of current, voltage and peak power at 25 °C.

NOTE 3 Because the fill factor of the module is a function of temperature, it is not sufficient to use the product of α and β as the temperature coefficient of peak power.

10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT)

10.5.1 Purpose

To determine the NOCT of the module.

10.5.2 Introduction

NOCT is defined as the equilibrium mean solar cell junction temperature within an open-rack mounted module in the following standard reference environment (SRE):

- tilt angle: at 45° tilt from the horizontal
- total irradiance: 800 W·m⁻²
- ambient temperature: 20 °C
- wind speed: 1 m·s⁻¹
- electrical load: nil (open circuit)

NOCT can be used by the system designer as a guide to the temperature at which a module will operate in the field and it is therefore a useful parameter when comparing the performance of different module designs. However, the actual operating temperature at any particular time is affected by the mounting structure, irradiance, wind speed, ambient temperature, sky temperature and reflections and emissions from the ground and nearby objects. For accurate performance predictions, these factors shall be taken into account.

In the case of modules not designed for open-rack mounting, the method may be used to determine the equilibrium mean solar cell junction temperature in the SRE, with the module mounted as recommended by the manufacturer.

10.5.3 Principle

This method is based on gathering actual measured cell temperature data under a range of environmental conditions including the SRE. The data are presented in a way that allows accurate and repeatable interpolation of the NOCT.

The temperature of the solar cell junction (T_J) is primarily a function of the ambient temperature (T_{amb}), the average wind speed (V) and the total solar irradiance (G) incident on the active surface of the module. The temperature difference ($T_J - T_{\text{amb}}$) is largely independent of the ambient temperature and is essentially linearly proportional to the irradiance at levels above 400 W·m⁻². The procedure calls for plotting ($T_J - T_{\text{amb}}$) against G for a period when wind conditions are favourable. A preliminary NOCT value is then determined by adding 20 °C to the value of ($T_J - T_{\text{amb}}$) interpolated at the SRE irradiance of 800 W·m⁻². Finally, a correction factor, dependent on the average temperature and wind speed during the test period, is added to the preliminary NOCT to correct it to 20 °C and 1 m·s⁻¹.

10.5.4 Apparatus

The following apparatus is required:

- a) An open rack to support the test module(s) and pyranometer in the specified manner (see 10.5.2). The rack shall be designed to minimize heat conduction from the modules and to interfere as little as possible with the free radiation of heat from their front and back surfaces.

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

- b) A pyranometer, mounted in the plane of the module(s) and within 0,3 m of the test array.
- c) Instruments to measure wind speed down to $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ with an accuracy of $\pm 10 \%$ or $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ whichever is greater and wind direction with an accuracy of $\pm 10^\circ$, installed approximately 0,7 m above the top of the module(s) and 1,2 m to the east or west.
- d) An ambient temperature sensor, with a time constant approaching that of the module(s), installed in a shaded enclosure with good ventilation near the wind sensors.
- e) Cell temperature sensors, attached by solder or thermally conductive adhesive to the backs of two solar cells near the middle of each test module, or other equipment necessary for IEC-approved measurement of cell temperature.
- f) A data acquisition system with temperature measurement accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$ to record the following parameters within an interval of no more than 5 s:
- irradiance;
 - ambient temperature;
 - cell temperature;
 - wind speed;
 - wind direction.

10.5.5 Test module mounting

Tilt angle: the test module(s) shall be positioned so that it is tilted at $45^\circ \pm 5^\circ$ to the horizontal with the front side pointed toward the equator.

Height: the bottom edge of the test module(s) shall be 0,6 m or more above the local horizontal plane or ground level.

Configuration: to simulate the thermal boundary conditions of modules installed in an array, the test module(s) shall be mounted within a planar surface that extends at least 0,6 m beyond the module(s) in all directions. For modules designed for free-standing, open-back installations, black aluminium plates or other modules of the same design shall be used to fill out the remaining open area of the planar surface.

Surrounding area: there shall be no obstructions to prevent full irradiance of the test module(s) during the period from 4 h before local solar noon to 4 h after local solar noon. The ground surrounding the module(s) shall not have an abnormally high solar reflectance and shall be flat and level or sloping away from the test fixture in all directions. Grass, other types of vegetation, black asphalt or dirt are acceptable for the local surrounding area.

10.5.6 Procedure

- a) Set up the apparatus with the test module(s), as described in 10.5.4. Ensure that the test module(s) are open-circuited.
- b) On a suitable, clear, sunny day with little wind, record, as a function of time, the cell temperature, the ambient temperature, the irradiance, wind speed and wind direction.
- c) Reject all data taken during the following conditions:
- irradiance below $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - in a 10 min interval after the irradiance varies by more than 10 % during a data collection run;

- wind speeds outside the range $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - ambient temperatures outside the range $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ or varying by more than $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - a 10 min interval after a wind gust of more than $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - wind direction within $\pm 20^{\circ}$ of east or west.
- d) From a minimum of 10 acceptable data points covering an irradiance range of at least $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, making sure that data points are from both before and after solar noon, plot $(T_J - T_{\text{amb}})$ as a function of irradiance. Use regression analysis to fit the data points.
- e) Determine the value of $(T_J - T_{\text{amb}})$ at $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and add $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to give the preliminary value of NOCT.
- f) Calculate the average ambient temperature, T_{amb} , and the average wind speed, V , associated with the acceptable data points and determine the appropriate correction factor from Figure 2.
- g) Add the correction factor to the preliminary NOCT to correct it to $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. This sum is the NOCT of the module.
- h) Repeat the entire procedure on a different day and average the two values of NOCT if they are within $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. If the difference is more than $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, repeat the procedure on a third day and average all three values of NOCT.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61646 Ed 2.0:2008

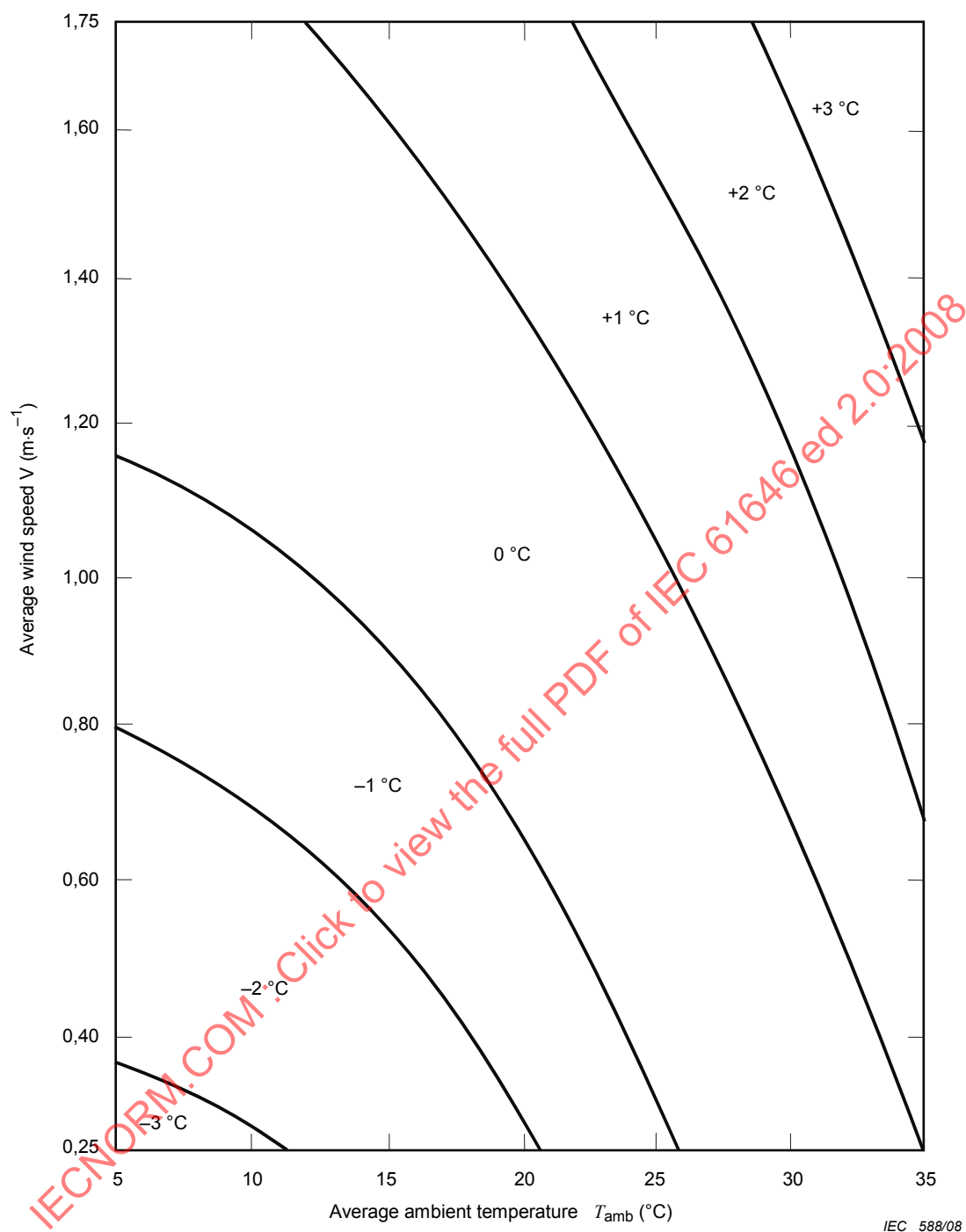


Figure 2 – NOCT correction factor

10.6 Performance at STC and NOCT

10.6.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at STC ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 25°C cell temperature, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution) and at NOCT, an irradiance of $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution.

10.6.2 Apparatus

- a) A radiant source (natural sunlight or a solar simulator Class BBB or better) in accordance with IEC 60904-9.
- b) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2. If a Class BBB simulator is used, the reference device shall be a reference module of the same size with the same cell technology to match spectral response.
- c) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- d) Apparatus for measuring an I-V curve in accordance with Clause 4 of IEC 60904-1:2006.
- e) Equipment necessary to change the temperature of the test specimen to the NOCT temperature measured in 10.5.

10.6.3 Procedure

10.6.3.1 Standard Test Conditions (STC)

Maintain the module at 25 °C and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of 1 000 W·m⁻² (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using natural sunlight or a class BBB or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9.

10.6.3.2 Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Heat the module uniformly to NOCT and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of 800 W·m⁻² (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of the IEC 60904-9.

If the reference device is not spectrally matched to the test module, use IEC 60904-7 to calculate the spectral mismatch correction.

10.7 Performance at low irradiance

10.7.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at 25 °C and an irradiance of 200 W·m⁻² (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1 using natural sunlight or a class BBB simulator conforming to IEC 60904-9.

10.7.2 Apparatus

- a) A radiant source (natural sunlight or a solar simulator Class BBB or better in accordance with IEC 60904-9.
- b) Equipment necessary to change the irradiance to 200 W·m⁻² without affecting the relative spectral irradiance distribution and the spatial uniformity in accordance with IEC 60904-10.
- c) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2.
- d) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- e) Apparatus for measuring an I-V curve in accordance with IEC 60904-1.

10.7.3 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module at 25 °C ± 2 °C and an irradiance of 200 W·m⁻² (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1 using natural sunlight or a class BBB simulator conforming to IEC 60904-9. The irradiance shall be reduced to the specified level by using neutral filters or some other technique which

does not affect the spectral irradiance distribution. (See IEC 60904-10 for guidance on reducing the irradiance without changing the spectral irradiance distribution.)

10.8 Outdoor exposure test

10.8.1 Purpose

To make a preliminary assessment of the ability of the module to withstand exposure to outdoor conditions and to reveal any synergistic degradation effects which may not be detected by laboratory tests.

NOTE Caution should be taken in making absolute judgments about module life on the basis of passing this test because of the shortness of the test and the environmental variability of the test conditions. This test should only be used as a guide or indicator of possible problems.

10.8.2 Apparatus

- a) A device capable of measuring solar irradiance, with an uncertainty of less than $\pm 50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- b) Means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation measuring device.
- c) A load sized such that at STC the module will operate near the maximum power point.

10.8.3 Procedure

- a) Attach the resistive load to the module and mount it outdoors, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor. Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.
- b) Subject the module to an irradiation totaling $60 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, as measured by the monitor, under conditions conforming to general open-air climates, as defined in IEC 60721-2-1.

10.8.4 Final measurements

Repeat tests 10.1, 10.2, and 10.3.

10.8.5 Requirements

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the maximum output power at STC shall exceed the manufacturer's minimum power rating;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.9 Hot-spot endurance test

10.9.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand hot-spot heating effects, e.g. solder melting or deterioration of the encapsulation. This defect could be provoked by faulty cells, shadowing or soiling.

10.9.2 Hot-spot effect

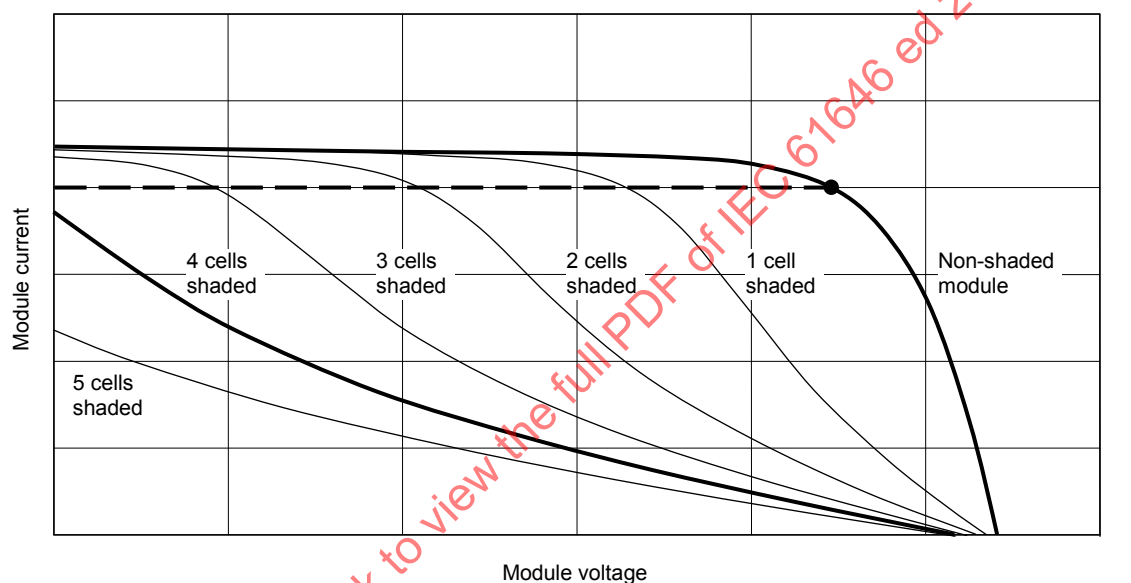
Hot-spot heating occurs in a module when its operating current exceeds the reduced short-circuit current (I_{sc}) of a shadowed or faulty cell or a group of cells. When such a condition occurs, the affected cell or group of cells is forced into reverse bias and dissipates power, which can cause overheating.

NOTE 1 Normally no bypass diodes are included in the interconnection circuit of the serially connected thin-film cells. Therefore, reverse voltage of shaded cells is not limited and module voltage can force a group of cells into reverse bias.

NOTE 2 The electrical performance of a thin-film module can already be negatively affected by short-term shading. Care must be taken that effects caused by setting worst case conditions and hot-spot endurance testing are clearly separated. The values of $P_{\max 1}$, $P_{\max 2}$ and $P_{\max 3}$ are collected for this purpose,

NOTE 3 While absolute temperature and relative power loss are not criteria of this test, the most severe hot-spot conditions are utilized to ensure safety of the design.

Figure 3 illustrates the hot-spot effect in a thin-film module consisting of a serial connection of cells, when a different number of cells is totally shadowed. The amount of power dissipated in the shaded cells is equal to the product of the module current and the reverse voltage developed across the group of shaded cells. For any irradiance level, maximum power is dissipated, when the reverse voltage across the shaded cells is equal to the voltage generated by the remaining illuminated cells in the module (worst case shading condition). This is the case when the short circuit current of the shaded module equals the maximum power current of the non-shaded module.



**Figure 3 – Hot-spot effect in a thin-film module with serially connected cells.
The worst case shading condition is shading of 4 cells at the same time**

10.9.3 Classification of cell interconnection

Solar cells in a thin-film module are connected in one of the following ways:

- Case S: Series connection of all cells in a single string (most common case). A bypass diode can only be used between the module terminals.
- Case PS: Parallel-Series connection, i.e. a parallel connection of blocks, where each block consists of a series connection of a certain number of cells. Bypass diodes can be used for each block.
- Case SP: Series-Parallel connection, i.e. a series connection of blocks, where each block consists of a parallel connection of a certain number of cells. Bypass diodes can be used for each block.

Each configuration requires a particular hot-spot testing procedure.

10.9.4 Apparatus

- a) Radiant source: Natural sunlight, or a class CCB (or better) steady-state solar simulator conforming to IEC 60904-9 with an irradiance of $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- b) Module I-V curve tracer.
- c) Equipment for current measurement.
- d) Opaque covers suitably sized to completely shadow a group of neighbouring test cells.
- e) An appropriate temperature detector, if required.

10.9.5 Procedure

The hot-spot test is performed with the module is exposed to 800 to $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.

10.9.5.1 Case S

- a) Expose the unshaded module to the radiant source at 800 to $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. When thermal stabilization is attained, measure the module I-V characteristic and determine the maximum power current range where $P > 0,99 P_{\max 1}$. (The module power measured after preconditioning).
- b) Short-circuit the module and monitor the short-circuit current.
- c) Starting from one edge of the module, use an opaque cover to shade one cell completely. Move the cover parallel to the cells and increase the shaded module area (number of shaded cells) until the short-circuit current falls within the maximum power current range of the non-shaded module. In these conditions, the maximum power is dissipated within the selected group of cells.
- d) Move an opaque cover (of the dimensions found in c) slowly across the module and monitor the module short-circuit current. If at a certain position the short-circuit current falls outside of the maximum power current of the non-shaded module range, reduce the size of the cover in small increments until the maximum power current condition is attained again. During this process, the irradiance shall not change by more than $\pm 2\%$.
- e) The final width of the cover determines the minimum area of shading that results in the worst case shading condition. This is the shaded area to be used for hot-spot testing.
- f) Remove the cover and visually inspect the module.

NOTE Reverse bias operation of the cells in step d) can cause junction breakdown and lead to visible spots irregularly spread across the module area. These defects can cause a degradation of maximum output power.

- g) Re-measure the module I-V characteristic and determine maximum power $P_{\max 2}$.
- h) Place the cover on the candidate module area and short-circuit the module.
- i) Expose the module again to 800 to $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. This test shall be performed at a module temperature in the range $50\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. Note the value of I_{sc} and keep the module in the condition of maximum power dissipation. If necessary, re-adjust the shadow to maintain the I_{sc} within the specified level determined in step a).
- j) Maintain these conditions for a total exposure time of 1 h .
- k) At the end of the endurance test, determine the hottest area on the shaded cells using an appropriate temperature detector.

10.9.5.2 Case PS

- a) Expose the unshaded module to 800 to $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. When thermal stabilisation is attained, measure the module I-V characteristic and determine the maximum power $P_{\max 1}$.

- b) Short-circuit the module and take at random at least 10 % of the parallel blocks in the module, shadow an increasing area of the block until the maximum temperature is determined using thermal imaging equipment or other appropriate means.
- c) Re-measure the module I-V characteristic and determine maximum power $P_{\max 2}$.
- d) Apply the shadow found in step b) and maintain these conditions for a total exposure time of 1 h.
- e) At the end of the endurance test, determine the hottest area on the shaded cells using an appropriate temperature detector.

10.9.5.3 Case SP

- a) Expose the unshaded module to the radiant source at 800 to 1 000 W·m⁻². When thermal stabilization is attained, measure the module I-V characteristic and determine the maximum power current range ($I_{\min} < I < I_{\max}$) where $P > 0,99 P_{\max 1}$.
- b) Then calculate the maximum power current range to be applied ($I(^*)$) according to the following formula.

$$I_{\min} / P + I_{sc} \times (P - 1) / P < I(^*) < I_{\max} / P + I_{sc} \times (P - 1) / P$$

P : number of parallel strings of the module
- c) Short-circuit the module and monitor the short-circuit current.
- d) Starting from one edge of one string of the module, use an opaque cover to shade one cell completely. Move the cover parallel to the cells and increase the shaded module area (number of shaded cells) until the short-circuit current falls in the maximum power current range ($I(^*)$) of the non-shaded module. In these conditions, the maximum power is dissipated within the selected group of cells.
- e) Cut the opaque cover to the experimentally found size.
- f) Move the cover slowly across the module and monitor the module short-circuit current. If at a certain position, the short-circuit current falls outside of the maximum power current range ($I(^*)$) of the non-shaded module, cut the cover in increments of one cell until the maximum power current condition is attained again. During this process, the irradiance shall not change by more than ± 2 %.
- g) Re-measure the module I-V characteristic and determine maximum power $P_{\max 2}$.
- h) Place the cover on the candidate module area and short-circuit the module.
- i) Expose the module again to 800 to 1 000 W·m⁻². This test shall be performed at a module temperature in the range 50 °C $\pm$ 10 °C. Note the value of I_{sc} and keep the module in the condition of maximum power dissipation. If necessary, re-adjust the shadow to maintain the I_{sc} within the specified level determined in step a).
- j) Maintain these conditions for a total exposure time of 1 h.
- k) At the end of the endurance test, determine the hottest area on the shaded cells using an appropriate temperature detector.

10.9.6 Final measurements

Repeat tests 10.1 and 10.3.

NOTE The power after hot-spot testing may be measured for diagnostic purposes.

10.9.7 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

NOTE 1 There is no pass/fail requirement for power loss during the hot-spot test.

NOTE 2 Cell damage caused by reverse bias in the hot-spot test is not considered a void or corrosion of the thin film layers.

10.10 UV preconditioning test

10.10.1 Purpose

To precondition the module with ultra-violet (UV) radiation before the thermal cycle/humidity freeze tests to identify those materials and adhesive bonds that are susceptible to UV degradation.

10.10.2 Apparatus

- Equipment to control the temperature of the module while it is irradiated by UV light. The equipment must be capable of maintaining the module temperature at $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. The temperature sensors shall be attached to the front or back surface of the module, near the middle. If more than one module is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one representative sample.
- Instrumentation capable of measuring the irradiation of the UV light produced by the UV light source at the test plane of the module(s), within the wavelength ranges of 280 nm to 320 nm and 320 nm to 400 nm with an uncertainty of $\pm 15\%$.
- A UV light source capable of producing UV irradiation with an irradiance uniformity of $\pm 15\%$ over the test plane of the module(s) with no appreciable irradiance at wavelengths below 280 nm and capable of providing the necessary irradiation in the different spectral regions of interest as defined in 10.10.3.
- A load sized such that at STC the module will operate near the maximum power point.

10.10.3 Procedure

- Using the calibrated radiometer, measure the irradiance at the proposed module test plane and ensure that at wavelengths between 280 nm and 400 nm, it does not exceed $250\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (i.e. about five times the natural sunlight level) and that it has a uniformity of $\pm 15\%$ over the test plane.
- Attach the resistive load to the module and mount it in the test plane at the location selected in a), normal to the UV irradiance beam. Make sure that the module temperature is $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Subject the module(s) to a total UV irradiation of $15\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ in the wavelength range between 280 nm and 400 nm, with 3 % to 10 % of the total energy within the wavelength band between 280 nm and 320 nm, while maintaining the module temperature within the prescribed range.

10.10.4 Final measurements

Repeat tests 10.1 and 10.3.

10.10.5 Requirements

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.11 Thermal cycling test

10.11.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand thermal mismatch, fatigue and other stresses caused by repeated changes of temperature.

10.11.2 Apparatus

- A climatic chamber with automatic temperature control, means for circulating the air inside and means to avoid condensation on the module during the test, capable of subjecting one or more modules to the thermal cycle in Figure 4.
- Means for mounting or supporting the module(s) in the chamber, so as to allow free circulation of the surrounding air. The thermal conduction of the mount or support shall be low, so that, for practical purposes, the module(s) are thermally isolated.
- Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.

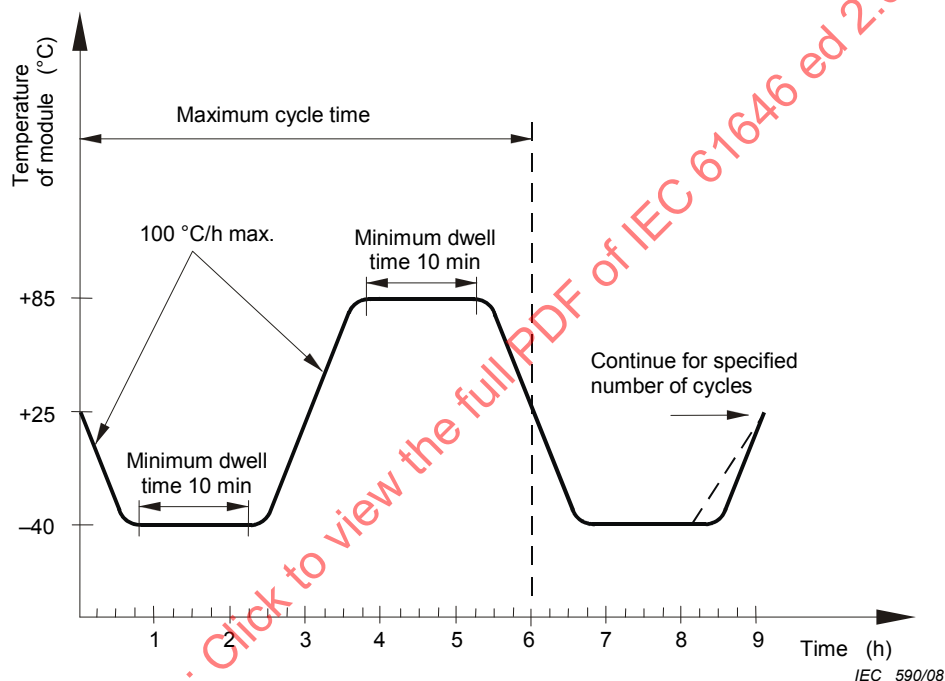


Figure 4 – Thermal cycling test

10.11.3 Procedure

- Install the module(s) at room temperature in the chamber.
- Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s). The temperature sensors shall be attached to the front or back surface of the module, near the middle. If more than one module is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one representative sample.
- Close the chamber and, subject the module(s) to cycling between module temperatures of $-40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ and $+85^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, in accordance with the profile in Figure 4. The rate of change of temperature between the low and high extremes shall not exceed 100°C/h and the module temperature shall remain stable at each extreme for a period of at least 10 min. The cycle time shall not exceed 6 h. The number of cycles shall be as shown in the relevant blocks in Figure 1.
- Throughout the test, record the module temperature and monitor the continuity of the modules.

10.11.4 Final measurements

After a minimum recovery time of 1 h, repeat test 10.1 and 10.3.

10.11.5 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- No open circuits during the course of the test.

10.12 Humidity-freeze test

10.12.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand the effects of high temperature and humidity followed by sub-zero temperatures. This is not a thermal shock test.

10.12.2 Apparatus

- A climatic chamber with automatic temperature and humidity control, capable of subjecting one or more modules to the humidity-freeze cycle specified in Figure 5.
- Means for mounting or supporting the module(s) in the chamber, so as to allow free circulation of the surrounding air. The thermal conduction of the mount or support shall be low, so that, for practical purposes, the module(s) are thermally isolated.
- Means for measuring and recording the module temperature to an accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$. (It is sufficient to monitor the temperature of one representative sample, if more than one module is being tested.)
- Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.

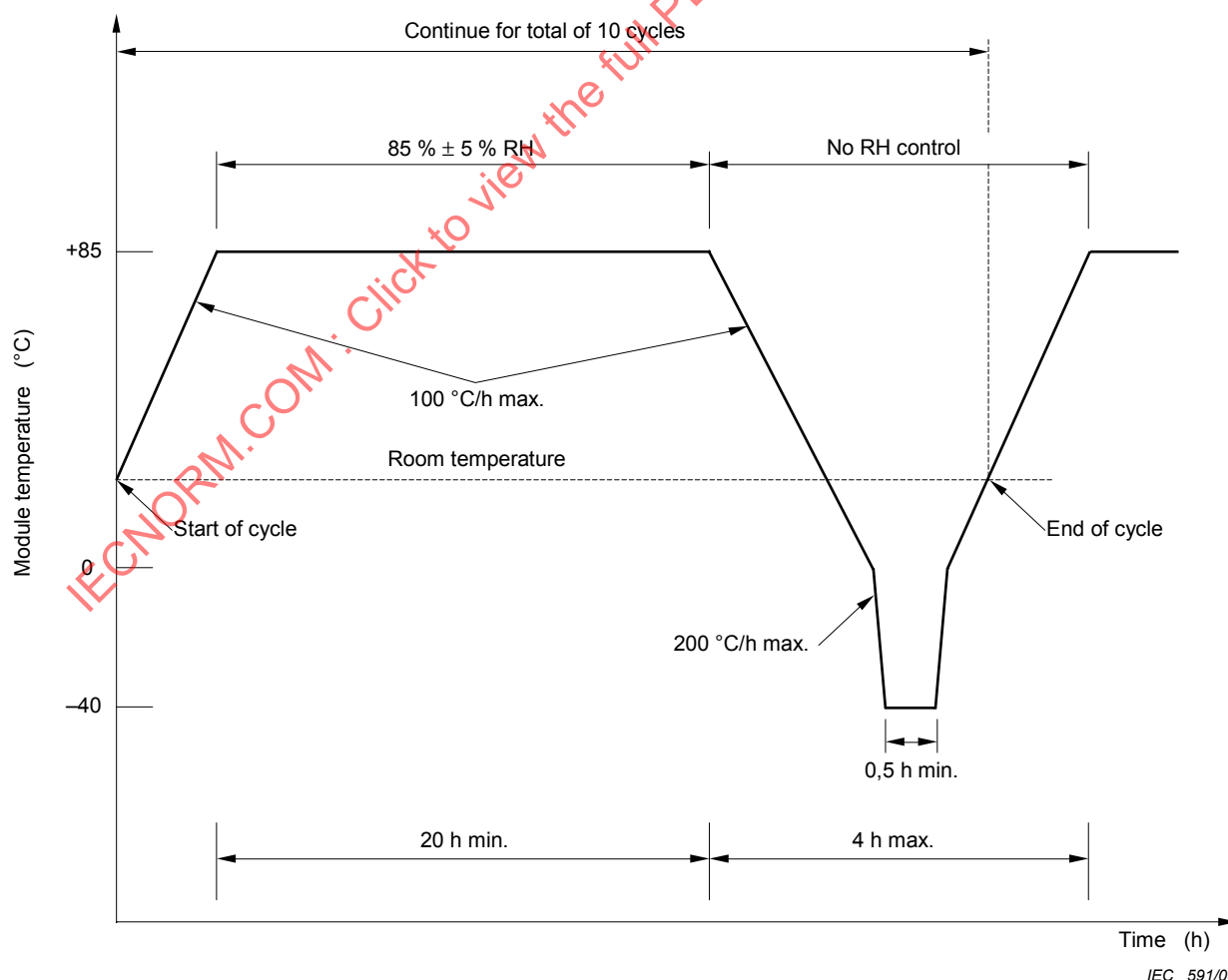


Figure 5 – Humidity-freeze cycle

10.12.3 Procedure

- a) Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle.
- b) Install the module(s) at room temperature in the climatic chamber.
- c) Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s).
- d) After closing the chamber, subject the module(s) to 10 complete cycles in accordance with Figure 5. The maximum and minimum temperatures shall be within $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ of the specified levels and the relative humidity shall be maintained within $\pm 5\%$ of the specified value at the maximum temperature ($85\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- e) Throughout the test, record the module temperature and monitor the continuity of the module(s).

10.12.4 Final measurements

Repeat tests 10.1, and 10.3 within two to four hours after the completion of the test.

10.12.5 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- No open circuits during the course of the test.

10.13 Damp heat test

10.13.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand the effects of long-term penetration of humidity.

10.13.2 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-78 with the following provisions:

- a) Preconditioning
The module(s), being at room temperature, shall be introduced into the chamber without preconditioning.
- b) Severities
The following severities are applied:

Test temperature:	$85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Relative humidity:	$85\% \pm 5\%$
Test duration:	1 000 h

10.13.3 Final measurements

After a recovery time of between 2 h and 4 h, repeat tests 10.3 and 10.15. Repeat test 10.1.

10.13.4 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- Wet leakage current test shall meet the same requirements as the initial measurements.

10.14 Robustness of terminations test

10.14.1 Purpose

To determine that the terminations and the attachment of the terminations to the body of the module will withstand such stresses as are likely to be applied during normal assembly or handling operations.

10.14.2 Types of terminations

Three types of module terminations are considered:

- type A: wire or flying lead;
- type B: tags, threaded studs, screws, etc.;
- type C: connector.

10.14.3 Procedure

Preconditioning: 1 h at standard atmospheric conditions for measurement and test.

10.14.3.1 Type A terminations

Tensile test: as described in IEC 60068-2-21, test Ua, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- tensile force shall never exceed the module weight.

Bending test: as described in IEC 60068-2-21, test Ub, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- method 1-10 cycles (one cycle is one bend in each opposite direction).

10.14.3.2 Type B terminations

Tensile and bending tests:

- a) for modules with exposed terminals, each termination shall be tested as for type A terminations;
- b) if the terminations are enclosed in a protective box, the following procedure shall be applied:

A cable of the size and type recommended by the module manufacturer, cut to a suitable length, shall be connected to the terminations inside the box using the manufacturer's recommended procedures. The cable shall be taken through the hole of the cable gland, taking care to utilize any cable clamp arrangement provided. The lid of the box shall be securely replaced. The module shall then be tested as for type A terminations.

Torque test: as described in IEC 60068-2-21, test Ud, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- severity 1.

The nuts or screws should be capable of being loosened afterwards, unless they are specifically designed for permanent attachment.

10.14.3.3 Type C terminations

A cable of the size and type recommended by the module manufacturer, cut to a suitable length, shall be connected to the output end of the connector, and the tests for type A terminations shall be carried out.

10.14.4 Final measurements

Repeat tests 10.1 and 10.3.

10.14.5 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.15 Wet leakage current test

10.15.1 Purpose

To evaluate the insulation of the module under wet operating conditions and verify that moisture from rain, fog, dew or melted snow does not enter the active parts of the module circuitry, where it might cause corrosion, a ground fault or a safety hazard.

10.15.2 Apparatus

- a) A shallow trough or tank of sufficient size to enable the module with frame to be placed in the solution in a flat, horizontal position. It shall contain a water/wetting agent solution sufficient to wet the surfaces of the module under test and meeting the following requirements:

Resistivity: 3 500 $\Omega \cdot \text{cm}$ or less

Temperature: 22 °C $\pm$ 3 °C

The depth of the solution shall be sufficient to cover all surfaces except junction box entries not designed for immersion.

- b) Spray equipment containing the same solution.
- c) DC voltage source, with current limitation, capable of applying 500 V or the maximum rated system voltage of the module, whichever is more.
- d) Instrument to measure insulation resistance.

10.15.3 Procedure

NOTE 1 All connections shall be representative of the recommended field wiring installation and precautions shall be taken to ensure that leakage currents do not originate from the instrumentation wiring attached to the module.

- a) Immerse the module in the tank of the required solution to a depth sufficient to cover all surfaces except junction box entries not designed for immersion. The cable entries shall be thoroughly sprayed with solution. If the module is provided with a mating connector, the connector should be immersed during the test.
- b) Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of the test equipment. Connect the liquid test solution to the negative terminal of the test equipment using a suitable metallic conductor.
- c) Increase the voltage applied by the test equipment at a rate not to exceed 500 V·s⁻¹ to 500 V or the maximum system voltage for the module (see marking Clause 4), whichever is greater. Maintain the voltage at this level for 1 min. Then determine the insulation resistance.
- d) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up on the module.

NOTE 2 Ensure that all of the wetting agent has been rinsed off the modules before continuing additional tests.

10.15.4 Requirements

- For modules with an area less than 0,1 m², the insulation resistance shall not be less than 400 M Ω ;

- for modules with an area larger than $0,1 \text{ m}^2$, the measured insulation resistance times the area of the module shall not be less than $40 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$.

10.16 Mechanical load test

10.16.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand wind, snow, static or ice loads.

10.16.2 Apparatus

- A rigid test base which enables the modules to be mounted front-side up or front-side down. The test base shall enable the module to deflect freely during the load application.
- Instrumentation to monitor the electrical continuity of the module during the test.
- Suitable weights or pressure means that enable the load to be applied in a gradual, uniform manner.

10.16.3 Procedure

- Equip the module so that the electrical continuity of the internal circuit can be monitored continuously during the test.
- Mount the module on a rigid structure using the method prescribed by the manufacturer. (If there are different possibilities, use the worst one, where the distance between the fixing points is at maximum).
- On the front surface, apply gradually a load corresponding to $2\,400 \text{ Pa}$, spread uniformly. Maintain this load for 1 h.
- Without removing the module from the rigid structure, apply the same load on the back surface of the module.
- Repeat steps c) and d) for a total of three cycles.

NOTE 1 $2\,400 \text{ Pa}$ correspond to a wind pressure of $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (approximately $\pm 800 \text{ Pa}$) with a safety factor of 3 for gusty winds. If the module is to be qualified to withstand heavy accumulations of snow and ice, the load applied to the front of the module during this test is increased from $2\,400 \text{ Pa}$ to $5\,400 \text{ Pa}$.

NOTE 2 Test conditions higher than $2\,400 \text{ Pa}$ might become necessary if the module is to be qualified for general use in areas with snow or wind loads exceeding $2\,400 \text{ Pa}$. For example, snow load requirements can be concluded from relevant national standards or snow load maps.

NOTE 3 If different mounting methods for the module are permitted, the test is to be performed with different test configurations representing the range of envisaged mounting methods.

10.16.4 Final measurements

Repeat tests 10.1 and 10.3.

10.16.5 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.17 Hail test

10.17.1 Purpose

To verify that the module is capable of withstanding the impact of hailstones.

10.17.2 Apparatus

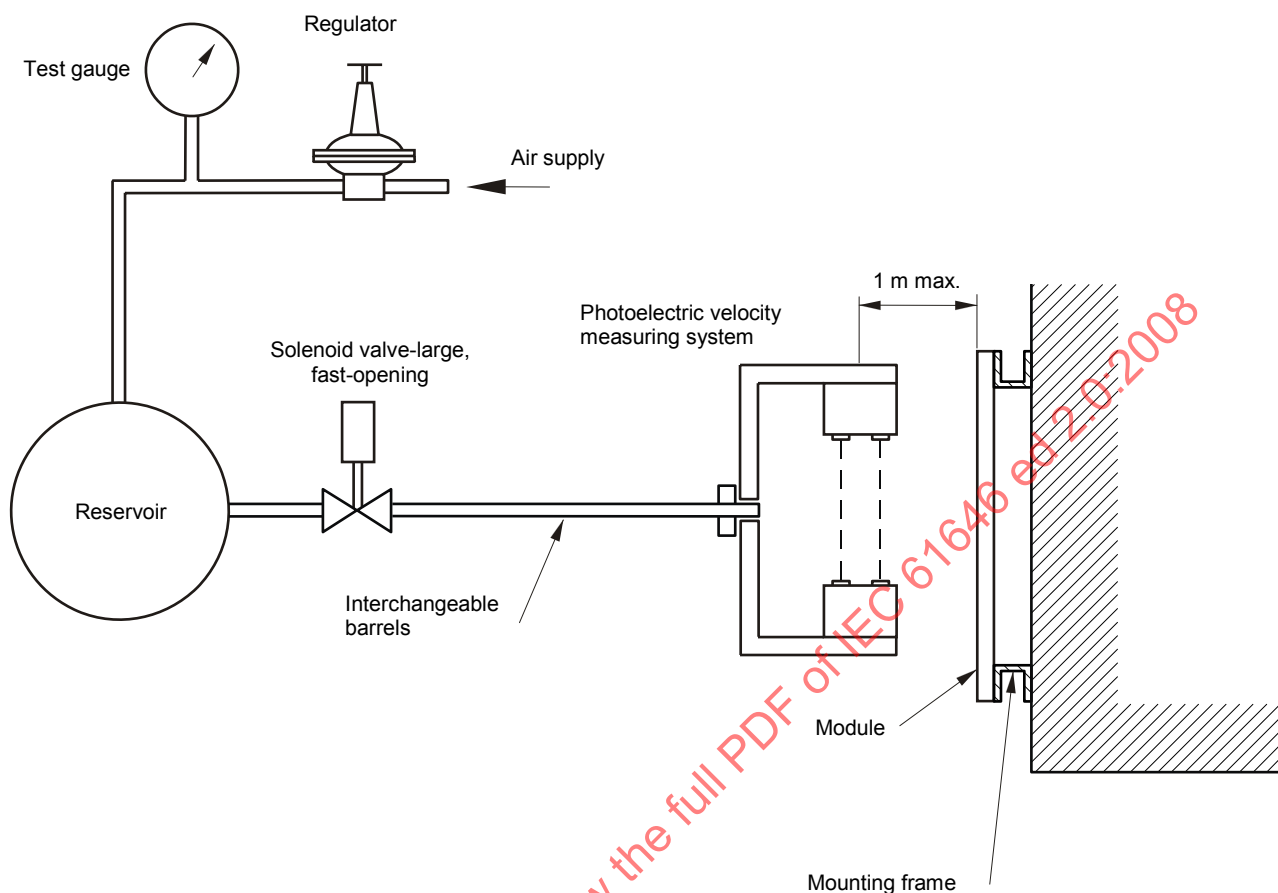
- Moulds of suitable material for casting spherical ice balls of the required diameter. The standard diameter shall be 25 mm , but any of the other diameters listed in Table 2 may be specified for special environments.

- b) A freezer, controlled at $-10\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- c) A storage container for storing the ice balls at a temperature of $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- d) A launcher capable of propelling an ice ball at the specified velocity, within $\pm 5\%$, so as to hit the module within the specified impact location. The path of the ice ball from the launcher to the module may be horizontal, vertical or at any intermediate angle, so long as the test requirements are met.
- e) Rigid mount for supporting the test module by the method prescribed by the manufacturer, with the impact surface normal to the path of the projected ice ball.
- f) A balance for determining the mass of an ice ball to an accuracy of $\pm 2\%$.
- g) An instrument for measuring the velocity of the ice ball to an accuracy of $\pm 2\%$. The velocity sensor shall be no more than 1 m from the surface of the test module.

As an example, Figure 6 shows in schematic form a suitable apparatus comprising a horizontal pneumatic launcher, a vertical module mount and a velocity meter which electronically measures the time it takes the ice ball to traverse the distance between two light beams.

Table 2 – Ice ball masses and test velocities

Diameter mm	Mass g	Test velocity $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Diameter mm	Mass g	Test velocity $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5



IEC 591/08

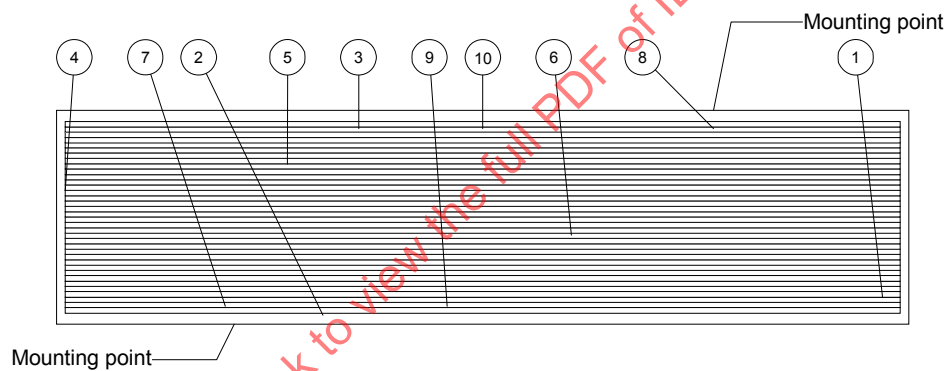
Figure 6 – Hail test equipment**10.17.3 Procedure**

- a) Using the moulds and the freezer, make enough ice balls of the required size for the test, including some for the preliminary adjustment of the launcher.
- b) Examine each one for cracks, size and mass. An acceptable ball shall meet the following requirements:
 - no cracks visible to the naked eye;
 - diameter within $\pm 5\%$ of that required;
 - mass within $\pm 5\%$ of the appropriate nominal value in Table 2.
- c) Place the balls in the storage container and leave them there for at least 1 h before use.
- d) Ensure that all surfaces of the launcher likely to be in contact with the ice balls are near room temperature.
- e) Fire a number of trial shots at a simulated target in accordance with step g) below and adjust the launcher until the velocity of the ice ball, as measured with the velocity sensor in the prescribed position, is within $\pm 5\%$ of the appropriate hailstone test velocity in Table 2.
- f) Install the module at room temperature in the prescribed mount, with the impact surface normal to the path of the ice ball.
- g) Take an ice ball from the storage container and place it in the launcher. Take aim at the first impact location specified in Table 3 and fire. The time between the removal of the ice ball from the container and impact on the module shall not exceed 60 s.

- h) Inspect the module in the impact area for signs of damage and make a note of any visual effects of the shot. Errors of up to 10 mm from the specified location are acceptable.
- i) If the module is undamaged, repeat steps g) and h) for all the other impact locations shown in Table 3, as illustrated in Figure 7.

Table 3 – Impact locations

Shot Number	Location
1	A corner of the module window, not more than 50 mm from the frame.
2	An edge of the module, not more than 12 mm from the frame.
3,4	Over the edge of the circuit.
5,6	Over the circuit near cell interconnects.
7,8	Near the point of mounting on the circuit.
9,10	In the center of the circuit, farthest from the mounting points.
11	Any point which may prove especially vulnerable to hail impact.



IEC 592/08

Figure 7 – Impact locations

10.17.4 Final measurements

Repeat tests 10.1 and 10.3.

10.17.5 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.18 Bypass diode thermal test

10.18.1 Purpose

To assess the adequacy of the thermal design and relative long-term reliability of the bypass diodes used to limit the detrimental effects of module hot-spot susceptibility.

If the bypass diodes are not accessible in the module type under test, a special sample can be prepared for this test. This sample shall be fabricated to provide the same thermal environment for the diode as a standard production modules under test and does not have to

be an active PV module, but must have access to measure the temperature of the diode(s) during the test. The test shall then proceed as normal. This special test sample shall be used only for the bypass diode thermal test and not for the other tests in the sequence.

10.18.2 Apparatus

- a) Means for heating the module to a temperature of $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- b) Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of $\pm 1\text{ °C}$.
- c) Means for measuring the temperature of any bypass diodes provided with the module. Measurement of the diode temperature can be made directly using a temperature sensor or by measuring the temperature coefficient of voltage drop across the diodes. Care should be taken to minimize any alteration of the properties of the diode or its heat transfer path.
- d) Means for measuring the junction voltage of the bypass diodes to an accuracy of 0,2 %.
- e) Means for applying a current equal to 1,25 times the STC short-circuit current of the module under test and means for monitoring the flow of current through the module, throughout the test.

10.18.3 Procedure 1

- a) Electrically short any blocking diodes incorporated in the module.
- b) Determine the rated STC short circuit current of the module from its label or instruction sheet.
- c) Measure the temperature and voltage of the bypass diodes during the test.
- d) Connect wires of the manufacturer's minimum recommended wire gauge to the output terminals of the module. Follow the manufacturer's recommendations for wire entry into the wiring compartment and replace the wire compartment cover.

NOTE 1 Some modules have overlapping bypass diode circuits. In this case, it may be necessary to install a jumper cable to assure that all of the current is flowing through one bypass diode.

- e) Heat the module to $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Apply a current to the module equal to the short circuit current of the module as measured at STC $\pm 2\%$. After 1 h measure the temperature and voltage of each bypass diode.
- f) Using the information provided by the diode manufacturer, calculate the junction temperature from the measured case temperature and the power dissipated in the diode using the following formula.

$$T_j = T_{\text{case}} + R_{\text{THjc}} \times V_D \times I_D$$

where

T_j = Diode junction temperature

T_{case} = Measure diode case temperature

R_{THjc} = Manufacturer's value relating junction temperature to case temperature

V_D = Diode voltage

I_D = Diode current

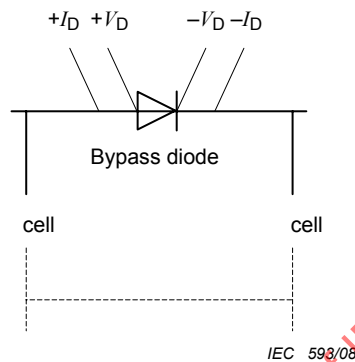
NOTE 2 If the module contains a heat sink specifically designed to reduce the operating temperature of the diode, this test may be performed at the temperature the heat sink reaches under conditions of $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $43\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ ambient with no wind rather than at 75 °C .

- g) Increase the applied current to 1,25 times the short-circuit current of the module as measured at STC while maintaining the module temperature at $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Maintain the current flow for 1 h.
- h) Verify that the diode is still operational.

NOTE 3 Diode operation can be verified by subsequently using the hot-spot test (10.9).

10.18.4 Procedure 2

- Electrically short any blocking diodes incorporated in the module.
- Determine the rated STC short circuit current of the module from its label or instruction sheet.
- Connect the lead wire for V_D and I_D on both diode terminals as shown in Figure 8.
- It is recommended that the connections be made by the module manufacturer



NOTE The lead wire should not cause heat dissipation from the terminal box.

Figure 8 – Bypass Diode Thermal Test

- Put the module into the chamber set up to $30\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ until the module temperature reaches saturation.
- Apply the pulsed current (pulse width 1 ms) equal to the STC short circuit current of the module, measure the forward voltage V_{D1} of diode.
- As the same procedure, measure V_{D2} at $50\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- As the same procedure, measure V_{D3} at $70\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- As the same procedure, measure V_{D4} at $90\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- Then, obtain the V_D versus T_j characteristic by a least-squares-fit curve from V_{D1} , V_{D2} , V_{D3} and V_{D4} .

NOTE This V_D versus T_j characteristic may be provided by diode manufacturer with a manufacturer's certification.

- Heat the module to $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Apply a current to the module equal to the short circuit current of the module as measured at STC $\pm 2\%$. After one hour measure the forward voltage of the each diodes.
- Using the V_D versus T_j characteristic obtained in item j), obtain T_j of the diode during the test in k).
- Increase the applied current to 1,25 times the short-circuit current of the module as measured at STC while maintaining the module temperature at $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Maintain the current flow for 1 h.
- Verify that the diode is still operational after completing this test.

10.18.5 Final Measurements

Repeat tests 10.1 and 10.3.

10.18.6 Requirements

- The diode junction temperature as determined in 10.18.3.f) or 10.18.4.l) shall not exceed the diode manufacturer's maximum junction temperature rating "for continuous operation".
- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- The diode shall still function as a diode after the conclusion of the test.

10.19 Light-soaking

10.19.1 Purpose

To stabilise the electrical characteristics of thin-film modules by means of natural sunlight or simulated solar irradiation.

10.19.2 Apparatus

- a) A class CCC solar simulator, in accordance with the IEC 60904-9, or natural sunlight.
- b) A suitable reference device, with integrator, for monitoring the irradiation.
- c) Means to mount the modules, as recommended by the manufacturer, co-planar with the reference device.
- d) Means for measuring the temperature of the module(s) to an accuracy of ± 1 °C.
- e) Resistive loads sized such that at STC the modules will operate near their maximum power point.

10.19.3 Procedure

- a) Attach the resistive loads to the modules and mount them, as recommended by the manufacturer, with the reference device in the test plane of the simulator.
- b) When using a solar simulator, use the reference device to set the irradiance between $600 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Record the irradiance.
- c) During the simulator exposure, module temperatures must stay in the range $50\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$.
- d) Subject each module to irradiation until its maximum power value stabilizes. Stabilization occurs when measurements from two consecutive periods of at least $43 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ each integrated over periods when the temperature is between 40 °C and 60 °C , meet the following criteria: $(P_{\text{max}} - P_{\text{min}})/P_{\text{average}} < 2\%$. All intermediate maximum power measurements shall be performed at any convenient module temperature reproduced within $\pm 2\text{ °C}$.
- e) Report the irradiation at which this stability is reached.

10.19.4 Final measurements

Repeat tests 10.1, 10.3 and 10.6 (Performance at STC).

10.19.5 Requirements

- No evidence of major visual defects, as defined in Clause 7.
- Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- After the final light-soaking, the maximum output power at STC shall be not less than 90 % of the minimum value specified by the manufacturer in Clause 4. (See Clause 6.)

Bibliography

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

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

IEC 61853, *Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules* ¹

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61646 ed 2.0:2008

¹ Under consideration.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61646 ed 2.0:2008

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
1 Domaine d'application et objet	47
2 Références normatives	47
3 Echantillonnage	48
4 Marquage	48
5 Essais	49
6 Conditions d'acceptation	49
7 Défauts visuels majeurs	50
8 Rapport d'essai	50
9 Modifications	51
10 Procédures d'essai	54
10.1 Examen visuel	54
10.1.1 Objet	54
10.1.2 Procédure	54
10.1.3 Exigences	54
10.2 Détermination de la puissance maximale	54
10.2.1 Objet	54
10.2.2 Equipement	54
10.2.3 Procédure	55
10.3 Essai d'isolement	55
10.3.1 Objet	55
10.3.2 Equipement	55
10.3.3 Conditions d'essai	55
10.3.4 Procédure	55
10.3.5 Exigences d'essai	56
10.4 Mesure des coefficients de température	56
10.4.1 Objet	56
10.4.2 Equipement	56
10.4.3 Procédure	56
10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)	58
10.5.1 Objet	58
10.5.2 Introduction	58
10.5.3 Principe	59
10.5.4 Equipement	59
10.5.5 Installation du module en essai	59
10.5.6 Procédure	60
10.6 Performance à STC et NOCT	61
10.6.1 Objet	61
10.6.2 Equipement	62
10.6.3 Procédure	62
10.7 Performance sous faible éclaircissement	62
10.7.1 Objet	62
10.7.2 Equipement	62
10.7.3 Procédure	62
10.8 Essai d'exposition en site naturel	63
10.8.1 Objet	63

10.8.2	Equipement	63
10.8.3	Procédure	63
10.8.4	Mesures finales	63
10.8.5	Exigences	63
10.9	Essai de tenue à l'échauffement localisé	63
10.9.1	Objet	63
10.9.2	Effet de l'échauffement localisé	63
10.9.3	Classification des interconnexions de cellules	64
10.9.4	Equipement	65
10.9.5	Procédure	65
10.9.6	Mesures finales	66
10.9.7	Exigences	67
10.10	Essai de préconditionnement pour les UV	67
10.10.1	Objet	67
10.10.2	Appareillage	67
10.10.3	Procédure	67
10.10.4	Mesures finales	67
10.10.5	Exigences	67
10.11	Essai de cycle thermique	68
10.11.1	Objet	68
10.11.2	Appareillage	68
10.11.3	Procédure	68
10.11.4	Mesures finales	69
10.11.5	Exigences	69
10.12	Essai humidité-gel	69
10.12.1	Objet	69
10.12.2	Appareillage	69
10.12.3	Procédure	70
10.12.4	Mesures finales	70
10.12.5	Exigences	70
10.13	Essai continu de chaleur humide	71
10.13.1	Objet	71
10.13.2	Procédure	71
10.13.3	Mesures finales	71
10.13.4	Exigences	71
10.14	Essai de robustesse des sorties	71
10.14.1	Objet	71
10.14.2	Types de sorties	71
10.14.3	Procédure	71
10.14.4	Mesures finales	72
10.14.5	Exigences	72
10.15	Essai de courant de fuite	72
10.15.1	Objet	72
10.15.2	Appareillage	72
10.15.3	Procédure	73
10.15.4	Exigences	73
10.16	Essai de charge mécanique	73
10.16.1	Objet	73
10.16.2	Appareillage	73

10.16.3	Procédure	74
10.16.4	Mesures finales	74
10.16.5	Exigences	74
10.17	Essai à la grêle	74
10.17.1	Objet	74
10.17.2	Appareillage	74
10.17.3	Procédure	75
10.17.4	Mesures finales	76
10.17.5	Exigences	77
10.18	Essai thermique de la diode bypass	77
10.18.1	Objet	77
10.18.2	Appareillage	77
10.18.3	Procédure 1	77
10.18.4	Procédure 2	78
10.18.5	Mesures finales	79
10.18.6	Exigences	79
10.19	Exposition prolongée au rayonnement lumineux	79
10.19.1	Objet	79
10.19.2	Appareillage	79
10.19.3	Procédure	79
10.19.4	Mesures finales	80
10.19.5	Exigences	80
	Bibliographie	81
	Figure 1 – Séquence d'essais de qualification	52
	Figure 2 – Facteur de correction de NOCT	61
	Figure 3 – Effet d'un échauffement localisé sur un module en couches minces avec cellules connectées en série. Le cas le plus défavorable de condition de masquage est le masquage de 4 cellules en même temps	64
	Figure 4 – Essai de cycle thermique	68
	Figure 5 – Cycle humidité-gel	70
	Figure 6 – Equipement pour l'essai de tenue à la grêle	75
	Figure 7 – Localisation des points d'impact	76
	Figure 8 – Essai thermique de la diode bypass	78
	Tableau 1 – Résumé des niveaux d'essai	53
	Tableau 2 – Masses des billes de glace et vitesses d'essai	75
	Tableau 3 – Localisation des impacts	76

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV)
EN COUCHES MINCES POUR APPLICATION TERRESTRE –
QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION**

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61646 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

La présente seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 1996. La présente édition constitue une révision technique.

La présente édition inclut les modifications techniques significatives suivantes par rapport à l'édition précédente:

La modification majeure concerne les critères d'acceptation/de refus. Il ne s'agit plus de la satisfaction à un critère plus/moins avant et après chaque essai, mais plutôt de la satisfaction de la puissance assignée après la fin de tous les essais et l'exposition prolongée au rayonnement lumineux des modules. Ceci a été réalisé en éliminant le nécessaire préconditionnement spécifique de la technologie pour mesurer avec précision les modifications engendrées par l'essai. (Certains modules perdent de la puissance à la lumière, tandis que d'autres la perdent durant la chaleur obscure.) Comme tous les modules doivent fonctionner

après l'exposition à la lumière, ceci semble être une bonne approche et rationalisera la procédure d'essai, en espérant réduire le coût des essais.

- Mise à jour des Références normatives.
- Ajout d'une définition de « valeur minimum de la puissance maximale de sortie ».
- Modification de la formulation dans les défauts visuels majeurs pour permettre quelques flexions et désalignements sans défaillance.
- Ajout d'exigences au rapport de l'ISO/CEI 17025.
- Retrait de « l'essai de vrillage » comme ce qui a été fait pour la CEI 61215, étant donné que personne n'a réussi à faire échouer cet essai.
- Etablissement de critères d'acceptation/de refus pour la résistance d'isolement et le courant de fuite en milieu humide dépendant de la surface du module.
- Ajout du coefficient de température de puissance (δ) aux mesures exigées.
- Modification du paragraphe sur le coefficient de température pour permettre les mesures en éclairage naturel ou délivré par un simulateur solaire.
- Suppression de la méthode de la plaque de référence de la NOCT.
- Ajout de paragraphes sur les équipements dans les procédures d'essai qui n'en avaient pas à l'édition 1.
- Réécriture de l'essai de tenue à l'échauffement localisé.
- Suppression de la méthode d'immersion du bord de l'essai de courant de fuite en milieu humide.
- Modification de l'essai de charge mécanique à 3 cycles pour être cohérent avec les autres normes.
- Ajout de l'essai thermique de la diode bypass.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/512/FDIS	82/528/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.

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

Le comité a décidé que le contenu de la présente publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) EN COUCHES MINCES POUR APPLICATION TERRESTRE – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale donne les exigences sur la qualification de la conception et l'homologation des modules photovoltaïques en couches minces pour application terrestre et pour une utilisation de longue durée dans les climats généraux d'air libre, définis dans la CEI 60721-2-1. La présente norme est destinée à s'appliquer à tous les équipements à module à plaque plane non couverts par la CEI 61215.

La séquence d'essais est issue de celle spécifiée dans la CEI 61215 pour la qualification de la conception et l'homologation des modules PV au silicium cristallin pour application terrestre. Toutefois, elle ne dépend plus de la satisfaction à un critère plus/moins avant et après chaque essai, mais plutôt de la satisfaction à un pourcentage spécifique de la puissance assignée minimum après la fin de tous les essais et l'exposition prolongée au rayonnement lumineux des modules. Ceci élimine le nécessaire préconditionnement spécifique de la technologie pour mesurer avec précision les modifications engendrées par l'essai.

La présente norme ne s'applique pas aux modules utilisés avec des concentrateurs.

L'objet de la présente séquence d'essais est de déterminer les caractéristiques électriques et thermiques du module et de montrer, autant que possible avec des contraintes de coût et de temps raisonnables, que le module est apte à supporter une exposition prolongée aux climats définis dans le domaine d'application. L'espérance de vie réelle des modules ainsi qualifiés dépendra de leur conception ainsi que de l'environnement et des conditions dans lesquelles ils fonctionneront.

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 60068-1, *Essais d'environnement. Première partie: Généralités et guide*

IEC 60068-2-21, *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices* (disponible en anglais seulement)

CEI 60068-2-78:2001, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

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

CEI 60721-2-1, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2-1: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

CEI 60891, *Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*

CEI 60904-1:2006, *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 60904-7, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 7: Calcul de l'erreur de désadaptation des réponses spectrales introduite dans les mesures de test d'un dispositif photovoltaïque*

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

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

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

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

3 Echantillonnage

Huit modules pour les essais de qualification (plus le nombre de modules de rechange désiré) doivent être prélevés au hasard parmi un ou plusieurs lots de production, conformément à la procédure indiquée dans la CEI 60410. Les modules doivent avoir été fabriqués à partir de matériaux et de composants spécifiés, conformément aux schémas et aux procédures de fabrication correspondants et doivent avoir été soumis au contrôle normal du fabricant et aux procédures du contrôle de la qualité et de l'acceptation de la production. Les modules doivent être dans leur intégrité, jusqu'au moindre détail, et doivent être accompagnés d'instructions de manipulation, de montage et de raccordement fournies par le fabricant, incluant la tension maximale permise du système.

Si les diodes bypass ne sont pas accessibles dans des modules standards, un échantillon spécial peut être préparé pour l'essai thermique de la diode bypass (10.18). Il est recommandé de monter physiquement la diode bypass comme elle pourrait être dans un module standard, avec un capteur thermique placé sur la diode tel qu'exigé au Paragraphe 10.18.2. Cet échantillon ne doit pas occulter les autres essais de la séquence.

Si les modules à essayer sont des prototypes d'une nouvelle conception mais non issus d'une production, la mention doit en être faite dans le rapport d'essai (voir Article 8).

4 Marquage

Chaque module doit porter clairement et de manière indélébile les indications suivantes:

- nom, monogramme ou symbole du fabricant;
- type ou numéro du modèle;
- numéro de série;
- polarité des bornes de sorties ou des conducteurs (un code de couleur est autorisé);
- tension maximale du système pour laquelle le module est adapté;

- valeur nominale et minimale de la puissance maximale de sortie dans les conditions d'essais normalisés (STC), comme spécifié par le fabricant pour le type de produit.

La valeur minimum de la puissance maximale de sortie est basée sur la plus petite puissance stabilisée que le fabricant spécifie pour le type de produit (par exemple après n'importe quelle dégradation ou rétablissement sous l'effet lumineux).

NOTE Si les modules à tester sont des prototypes d'une nouvelle conception et non issus d'une production, les résultats de cette séquence d'essais peuvent être utilisés pour établir les caractéristiques de puissance minimum du module.

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

5 Essais

Les modules doivent être répartis en groupes et soumis aux séquences d'essais de qualification de la Figure 1, les essais étant effectués dans l'ordre établi. Chaque case fait référence au paragraphe correspondant de la présente norme. Les sévérités et la procédure de l'essai en question, incluant les mesures initiales et finales si nécessaire, sont détaillées à l'Article 10. Cependant, pour les essais de 10.2, 10.4, 10.6 et 10.7, il convient de remarquer que les procédures établies dans la CEI 60891 pour la correction des caractéristiques I-V mesurées en fonction de la température et de l'éclairement s'appliquent uniquement aux modules linéaires. Utiliser la CEI 60904-10 pour évaluer la linéarité. Si le module est non linéaire, ces essais doivent être effectués dans les limites des ± 5 % de l'éclairement spécifié et dans les limites des ± 2 °C de la température spécifiée.

NOTE 1 Quand les mesures finales d'un essai servent comme mesures initiales pour l'essai suivant dans la séquence, elles n'ont pas besoin d'être répétées. Dans ce cas, les mesures initiales sont omises de l'essai.

Dans un but de diagnostic, des mesures intermédiaires de la puissance maximum (10.2) peuvent être réalisées avant et après les essais individuels.

NOTE 2 Il convient que le module de commande soit stocké selon les recommandations du fabricant.

Tout essai isolé, exécuté indépendamment de la séquence d'essais, doit être précédé par les essais initiaux de 10.1, 10.2 et 10.3.

En effectuant les essais, l'opérateur doit observer scrupuleusement les instructions de manipulation, de montage et de raccordement préconisées par le fabricant. Les essais décrits en 10.4, 10.5, 10.6 et 10.7 peuvent être omis si la future CEI 61853 a été ou est programmée pour être utilisée sur ce type de module.

Les technologies en couches minces peuvent avoir des caractéristiques de stabilisation différentes. Il est possible de définir une procédure de stabilisation unique applicable à toutes les technologies en couches minces. Cette procédure teste les modules « à la réception » et tente d'atteindre une condition stabilisée avant l'essai final.

Les conditions des essais sont résumées dans le Tableau 1.

NOTE 3 Les niveaux d'essais du Tableau 1 sont les niveaux minimum exigés pour la qualification. Si le laboratoire et le fabricant du module se mettent d'accord, les essais peuvent être réalisés avec des sévérités augmentées.

6 Conditions d'acceptation

Une conception de module doit être jugée comme satisfaisant aux essais de qualification et, par conséquent, comme étant un type approuvé par la CEI, si chaque échantillon d'essai répond à tous les critères suivants:

- a) après l'exposition prolongée finale au rayonnement lumineux, la puissance de sortie maximum aux STC n'est pas inférieure à 90 % de la valeur minimale spécifiée par le fabricant dans l'Article 4;

NOTE Il faut que les critères d'acceptation/de refus considèrent les incertitudes de mesure du laboratoire. Par exemple, si l'incertitude élargie du laboratoire, 2 sigma de la mesure aux STC, est $\pm 5\%$, alors une mesure de puissance maximum supérieure à 85,5 % de la valeur spécifiée minimum serait les conditions d'acceptation.

- b) aucun échantillon n'a présenté de circuit ouvert pendant les essais;
- c) il n'y a pas de défaut visuel majeur évident, comme ceux définis à l'Article 7;
- d) les exigences de l'essai diélectrique sont remplies après les essais;
- e) les exigences de l'essai de courant de fuite sont remplies au début et à la fin de chaque séquence et après l'essai de chaleur humide;
- f) les exigences spécifiques des essais individuels sont remplies.

Si deux modules ou plus ne satisfont pas à ces critères, on doit considérer que la conception ne répond pas aux exigences de la qualification. Si un seul module est défectueux au cours d'un essai, deux autres modules remplissant les exigences de l'Article 3 doivent être soumis à l'intégralité, depuis le début, de la séquence d'essais correspondante. Si un ou les deux modules sont également défectueux, on considérera que la conception ne répond pas aux exigences de la qualification. Si, cependant, les deux modules subissent avec succès la séquence d'essais, on considérera que la conception répond aux exigences de la qualification.

7 Défauts visuels majeurs

Pour l'appréciation de la qualification de la conception et l'homologation, chacun des défauts suivants est considéré comme un défaut visuel majeur:

- a) surfaces externes cassées, fêlées ou déchirées, y compris les supersubstrats, les substrats, les châssis et les boîtes de jonction;
- b) surfaces externes pliées ou désalignées, y compris les supersubstrats, les substrats, les châssis et les boîtes de jonction entraînant une détérioration empêchant l'installation et/ou le fonctionnement du module;
- c) vides ou corrosion visible de toute couche mince du circuit actif du module s'étendant sur plus de 10 % de n'importe quelle cellule;
- d) bulles ou délaminations formant un chemin continu entre toute partie du circuit électrique et le bord du module;
- e) perte de l'intégrité mécanique entraînant une détérioration de l'installation et/ou du fonctionnement du module;
- f) les marquages sur le module (étiquette) ne sont plus présents ou l'information est illisible.

8 Rapport d'essai

Pour l'homologation, un rapport certifié des essais de qualification, incluant les résultats de mesure des caractéristiques de performance ainsi que le détail de chaque défaut et essai de reprise, doit être préparé par le laboratoire d'essais, conformément à l'ISO/CEI 17025. Chaque certificat ou rapport d'essai doit contenir au moins les informations suivantes.

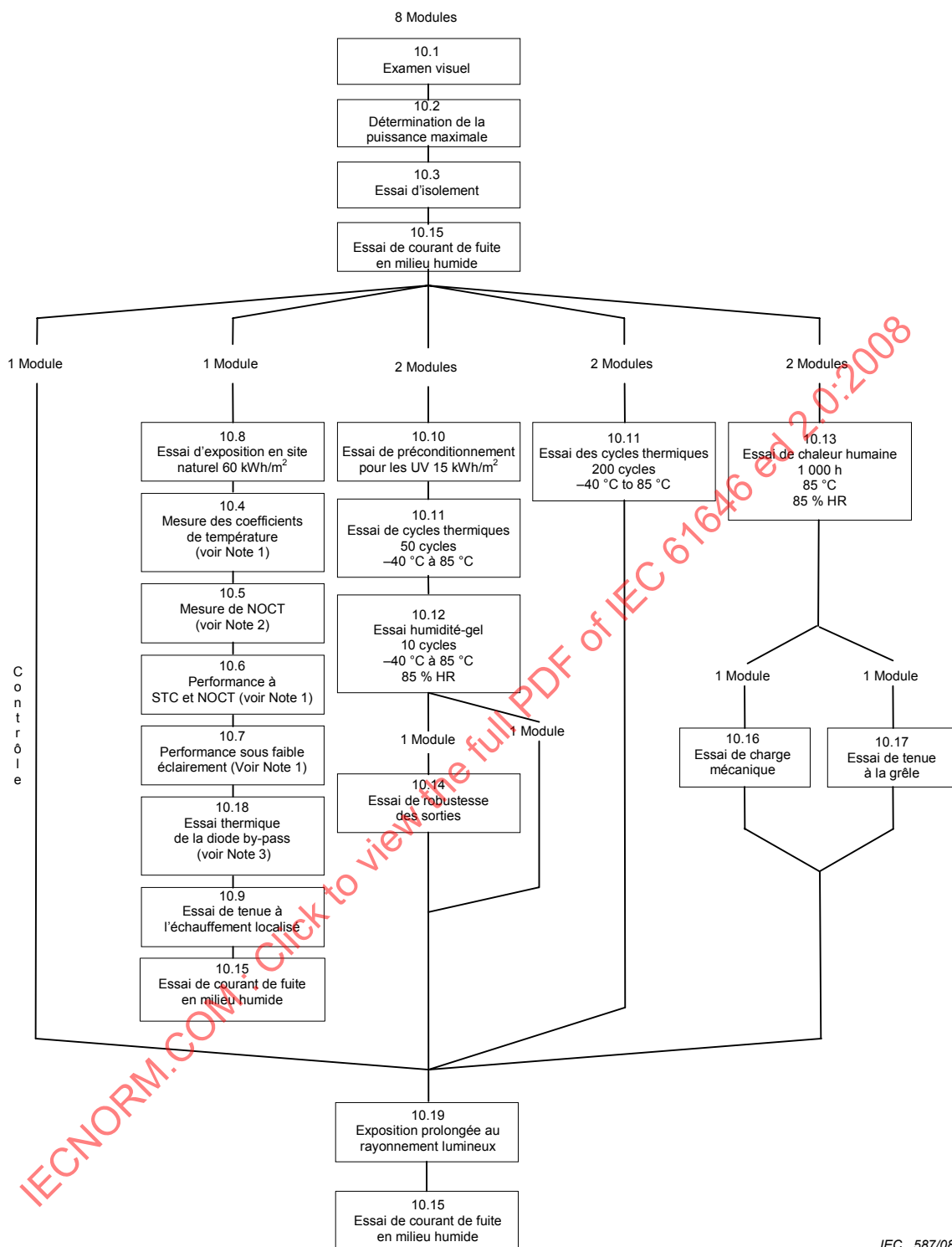
- a) Un titre.
- b) Nom et adresse du laboratoire d'essai et emplacement où les essais ont été réalisés.
- c) Identification nonéquivoque de la certification ou du rapport et de chaque page.
- d) Le nom et l'adresse du client, s'il y a lieu.
- e) La description et l'identification de l'unité soumise aux essais.
- f) Caractérisation et condition de l'unité d'essai.
- g) La date de réception de l'unité d'essai et la ou les dates de l'essai, s'il y a lieu.

- h) L'identification de la méthode d'essai utilisée.
- 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 la méthode d'essai, et toute autre information correspondant à un essai spécifique, telles que les conditions d'environnement.
- k) Mesures, examens et résultats dérivés appuyés par des tableaux, des graphiques, des croquis et des photographies selon le cas, y compris les coefficients de température du courant de court-circuit, de la tension en circuit ouvert et de la puissance de crête, la NOCT, la puissance à NOCT, les STC, et le faible éclaircissement, la température de cellule abritée maximum observée durant l'essai à l'échauffement localisé, le spectre de la lampe utilisé pour l'essai de présélection des UV, la puissance minimum observée après l'exposition prolongée ainsi que tout défaut éventuellement observé. Si la perte de puissance maximale observée après l'ensemble des essais a été mesurée, elle doit être reportée.
- l) Une indication de l'incertitude estimée des résultats d'essai (s'il y a lieu).
- m) Une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personnes acceptant d'être responsables du contenu du certificat ou du rapport, et la date d'édition.
- n) S'il y a lieu, une indication selon laquelle les résultats ne se rapportent qu'aux unités soumises aux essais.
- o) Une spécification indiquant que le certificat ou le rapport ne doivent pas être reproduits sauf dans leur totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.

Une copie de ce rapport doit être conservée par le laboratoire et le fabricant pour être utilisée en tant que référence.

9 Modifications

Tout changement dans la conception, les matériaux, les composants ou la fabrication du module peut nécessiter la répétition d'une partie des essais ou de tous les essais de qualification afin de conserver l'homologation.



IEC 587/08

NOTE 1 Peut être omis si la future CEI 61853 a été appliquée.

NOTE 2 Dans le cas de modules non conçus pour un montage sur une structure dégagée, la valeur de la NOCT peut être remplacée par la température moyenne de la jonction de cellule solaire, à l'équilibre dans les conditions de l'environnement de référence normalisé, le module étant monté conformément aux recommandations du fabricant.

NOTE 3 Si les diodes bypass ne sont pas accessibles dans des modules standards, un échantillon spécial peut être préparé pour l'essai thermique de la diode bypass (10.18). Il est recommandé de monter physiquement la diode bypass comme elle pourrait être dans un module standard, avec un capteur thermique placé sur la diode tel qu'exigé au Paragraphe 10.18.2. Cet échantillon ne doit pas occulter les autres essais de la séquence.

NOTE 4 Dans un but de diagnostic, des mesures intermédiaires de la puissance maximum (10.2) peuvent être réalisées avant et après les essais individuels. Si le module de commande est utilisé pour ces mesures, s'assurer que cela a été préconditionné par les recommandations du fabricant.

Figure 1 – Séquence d'essais de qualification

Tableau 1 – Résumé des niveaux d'essai

Essai	Titre	Conditions d'essai
10.1	Examen visuel	Voir la liste de contrôle détaillée en 10.1.2
10.2	Détermination de la puissance maximale	Voir CEI 60904-1
10.3	Essai d'isolement	Tenue diélectrique à 1 000 V en courant continu + deux fois la tension maximale des systèmes pendant 1 min. Pour les modules dont la surface est inférieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 400 MΩ. Pour les modules dont la surface est supérieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement mesurée fois la surface du module ne doit pas être inférieure à 40 MΩ·m ² . La mesure est effectuée à 500 V ou à la tension maximale du système, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée.
10.4	Mesure des coefficients de température	Voir détail en 10.4. Voir CEI 60904-10 à titre informatif.
10.5	Mesure de NOCT	Eclairement solaire total: 800 W·m ⁻² Température ambiante: 20 °C Vitesse du vent: 1 m·s ⁻¹
10.6	Performance à STC et NOCT	Température de cellule: 25 °C et NOCT Eclairement: 1 000 et 800 W·m ⁻² et une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3
10.7	Performance sous faible éclairement	Température de cellule: 25 °C Eclairement: 200 W·m ⁻² et une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3
10.8	Essai d'exposition en site naturel	60 kWh·m ⁻² exposition solaire totale sous charge résistive
10.9	Essai de tenue à l'échauffement localisé	Exposition pendant une heure à un éclairement de 1 000 W·m ⁻² dans les conditions de pire cas de l'échauffement localisé
10.10	Préconditionnement pour les UV	Eclairement total aux UV de 15 kWh·m ⁻² dans la gamme de longueur d'onde comprise entre 280 nm et 385 nm avec un éclairement aux UV de 5 kWh·m ⁻² dans la gamme de longueur d'onde comprise entre 280 et 320 nm sous charge résistive.
10.11	Essai de cycles thermiques	50 et 200 cycles de – 40 °C à +85 °C
10.12	Essai humidité-gel	10 cycles de +85 °C, 85 % HR à –40 °C
10.13	Essai continu de chaleur humide	1 000 h à +85 °C, 85 % HR
10.14	Essai de robustesse des sorties	Selon la CEI 60068-2-21
10.15	Essai de courant de fuite en milieu humide	Voir détail en 10.15 Essai réalisé à une tension d'essai de 500 V ou à une tension maximale des systèmes en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée durant 1 min. Pour les modules dont la surface est inférieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 400 MΩ. Pour les modules dont la surface est supérieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement mesurée fois la surface du module ne doit pas être inférieure à 40 MΩ · m ² .
10.16	Essai de charge mécanique	Trois cycles de charge uniforme de 2 400 Pa appliquée pendant 1 h aux surfaces avant et arrière successivement. Charge de neige optionnelle de 5 400 Pa au cours du dernier cycle de montée.

Essai	Titre	Conditions d'essai
10.17	Essai à la grêle	Bille de glace de 25 mm lancée à $23,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dirigée sur 11 points d'impact
10.18	Essai thermique de la diode bypass	Une heure à I_{sc} et 75°C Une heure à $1,25$ fois I_{sc} et 75°C
10.19	Exposition prolongée au rayonnement lumineux	Exposition à la lumière de $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sous charge résistive jusqu'à ce que P_{max} soit stable au rayonnement lumineux dans les limites des 2 %.

10 Procédures d'essai

10.1 Examen visuel

10.1.1 Objet

Détecter tout défaut visible du module.

10.1.2 Procédure

Examiner avec soin chaque module avec un éclairage supérieur ou égal à 1 000 lux pour les conditions suivantes:

- surfaces externes fêlées, pliées, désalignées ou déchirées;
- interconnexions ou jonctions défectueuses;
- vides et corrosion visible de toute couche mince du circuit actif;
- corrosion visible des connexions de sortie, des interconnexions et des barres omnibus;
- défauts de collage;
- bulles ou délaminations formant un chemin continu entre une cellule et le bord du module;
- surfaces collantes au toucher des matériaux plastiques;
- connexions défectueuses, parties électriques actives exposées;
- toute autre condition qui pourrait affecter les performances.

Un relevé ou une photographie doit être fait de la nature ou de la position des fêlures, bulles ou délamination, etc., qui peuvent s'aggraver et affecter défavorablement la performance du module lors des essais qui suivent.

10.1.3 Exigences

Des conditions d'aspect autres que les défauts visuels majeurs décrits dans l'Article 7 sont acceptables dans le but de l'homologation.

10.2 Détermination de la puissance maximale

10.2.1 Objet

Déterminer la puissance maximale du module avant et après les divers essais d'environnement. La répétabilité de l'essai est le facteur le plus important.

10.2.2 Equipement

- a) Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe BBA ou mieux, conformément à la CEI 60904-9.
- b) Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2. Si un simulateur de classe BBA est utilisé, le dispositif de référence doit être un module de référence de la même taille avec la même technologie de cellule (pour correspondre à la réponse spectrale) que le spécimen d'essai.

- c) Un support approprié pour maintenir le spécimen d'essai et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- d) Equipement pour la mesure de la courbe I-V conformément à la CEI 60904-1.

10.2.3 Procédure

Déterminer la caractéristique courant-tension du module conformément à la CEI 60904-1 à un ensemble spécifique de conditions d'éclairement et de température (une gamme recommandée est une température de cellule comprise entre 25 et 50 °C et un éclairement compris entre 700 W·m⁻² et 1 100 W·m⁻²) en utilisant l'ensoleillement naturel ou un simulateur de classe BBA ou mieux conformément aux prescriptions de la CEI 60904-9. Dans des circonstances particulières, lorsque les modules sont conçus pour fonctionner dans une gamme de conditions différente, les caractéristiques courant-tension peuvent être mesurées en utilisant les niveaux de température et d'éclairement similaires aux conditions de fonctionnement prévues. Pour la température et l'éclairement des modules linéaires, des corrections peuvent être réalisées conformément à la CEI 60891. Pour les modules non linéaires, la mesure doit être réalisée à ± 5 % de l'éclairement spécifié et à ± 2 °C de la température spécifiée. Il convient de s'efforcer d'assurer que les mesures de la puissance de crête sont réalisées dans des conditions de fonctionnement similaires, ce qui signifie minimiser l'amplitude de la correction en réalisant toutes les mesures de la puissance de crête sur un module particulier approximativement à la même température et au même éclairement.

NOTE Le module de commande peut être utilisé comme un contrôle à chaque fois que les modules en essai sont mesurés.

10.3 Essai d'isolement

10.3.1 Objet

Déterminer si oui ou non le module est suffisamment bien isolé entre les parties conductrices et le cadre ou l'environnement extérieur.

10.3.2 Equipement

- a) Une source de tension à courant continu disposant d'un limiteur de courant pouvant appliquer 500 V ou 1 000 V, à laquelle on ajoute deux fois la tension maximale du système du module (comme mentionné sur le module – Voir Article 4) conformément au Paragraphe 10.3.4.c).
- b) Un appareil pour mesurer la résistance d'isolement.

10.3.3 Conditions d'essai

L'essai doit être effectué sur les modules à la température ambiante de l'atmosphère environnante (voir la CEI 60068-1) et à une humidité relative n'excédant pas 75 %.

10.3.4 Procédure

- a) Les connexions de sortie du module sont mises en court-circuit et connectées au pôle positif d'un dispositif de mesure d'isolement à courant continu disposant d'un limiteur de courant.
- b) Le châssis du module est connecté au pôle négatif du dispositif de mesure. Si le module n'a pas de châssis ou si le châssis est un faible conducteur électrique, connecter une feuille conductrice autour des bords et sur l'arrière du module. Si le module n'a pas de supersubstrat en verre, connecter alors la feuille sur l'avant du module. Connecter la feuille au pôle négatif du dispositif de mesure.
- c) La tension délivrée par le dispositif de mesure est augmentée à raison de 500 V·s⁻¹ au maximum jusqu'à une tension égale à une valeur de 1 000 V, à laquelle on ajoute deux fois la tension maximale du système (c'est-à-dire la tension maximale du système marquée sur le module par le fabricant, voir Article 4). Dans le cas où la tension maximale du système n'excède pas 50 V, la tension appliquée doit être de 500 V. La tension est maintenue à cette valeur pendant 1 min.

- d) La tension appliquée est ramenée à zéro, puis le court-circuit des connexions de l'équipement d'essai est effectué afin de décharger la tension produite dans le module.
- e) Le court-circuit est enlevé.
- f) La tension délivrée par l'équipement d'essai est augmentée à raison de $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ au maximum jusqu'à une tension égale à 500 V ou la tension maximale du système pour le module, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée. La tension est maintenue à cette valeur pendant 2 min. La résistance d'isolement est ensuite mesurée.
- g) La tension appliquée est ramenée à zéro, puis le court-circuit des connexions de l'équipement d'essai est effectué afin de décharger la tension produite dans le module.
- h) Le court-circuit est enlevé et l'équipement d'essai est déconnecté du module.

10.3.5 Exigences d'essai

- aucune rupture diélectrique ou claquage en surface pendant l'étape c);
- pour les modules dont la surface totale est inférieure à $0,1 \text{ m}^2$, la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à $400 \text{ M}\Omega$;
- pour les modules dont la surface totale est supérieure à $0,1 \text{ m}^2$, la résistance d'isolement mesurée fois la surface du module ne doit pas être inférieure à $40 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$.

10.4 Mesure des coefficients de température

10.4.1 Objet

Déterminer les coefficients de température du courant (α) et de la tension (β) et de la puissance de crête (δ) à partir de mesures effectuées sur un module. Les coefficients ainsi déterminés sont valables pour l'éclairement sous lequel les mesures ont été effectuées. Pour les modules linéaires, ces coefficients sont également valables dans une gamme d'éclairement de $\pm 30 \%$ de ce niveau. Cette procédure complète celle décrite dans la CEI 60891 concernant la mesure de ces coefficients à partir d'un échantillon représentatif de cellules indépendantes. Les coefficients de température d'un module en couches minces peuvent dépendre de l'exposition énergétique et de l'histoire thermique du module. Lorsque référence est faite aux coefficients de température, l'histoire concernant les conditions et les résultats de l'exposition énergétique accompagnés d'essais thermiques doit être indiquée.

10.4.2 Equipement

L'équipement suivant est requis pour contrôler et mesurer les conditions d'essai:

- a) une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou simulateur solaire de classe BBB ou mieux, conformément à la CEI 60904-9) du type à utiliser lors des essais qui suivent;
- b) un dispositif PV de référence ayant un courant de court-circuit connu par rapport à la caractéristique de rayonnement déterminée par l'étalonnage par rapport à un radiomètre absolu conformément à la CEI 60904-2;
- c) tout matériel nécessaire pour modifier la température du spécimen d'essai dans la gamme présentant un intérêt;
- d) un support approprié pour maintenir le spécimen d'essai et le dispositif de référence dans le même plan perpendiculaire au rayon radiant;
- e) équipement pour la mesure de la courbe I-V conformément à la CEI 60904-1.

10.4.3 Procédure

Il y a deux procédures acceptables pour mesurer les coefficients de température.

10.4.3.1 Mode opératoire en ensoleillement naturel

- a) Les mesures en ensoleillement naturel doivent être réalisées uniquement si:
 - l'éclairement total est au moins aussi élevé que la limite supérieure de la gamme présentant un intérêt;

- la variation d'éclairement due à des oscillations à court terme (nuages, brume ou fumée) est inférieure à $\pm 2 \%$ de l'éclairement total mesuré par le dispositif de référence;
 - la vitesse du vent est inférieure à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- b) Fixer le dispositif de référence dans le même plan que le module en essai de telle sorte que tous les deux soient perpendiculaires au faisceau solaire direct à $\pm 5^\circ$. Effectuer les connexions à l'instrumentation nécessaire.
- NOTE Il convient que les mesures décrites dans les paragraphes suivants soient faites 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.
- c) Si le module en essai et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de commande de la température, les dispositifs de commande doivent être ajustés au niveau désiré.
- d) Si les dispositifs de commande de la température ne sont pas utilisés, retirer le spécimen et le dispositif de référence du soleil et du vent et les laisser se stabiliser à $\pm 1^\circ\text{C}$ de la température de l'air ambiant, ou permettre au spécimen d'essai de revenir autour de sa température stabilisée, ou refroidir le spécimen d'essai autour d'un point inférieur à la température d'essai exigée et alors laisser le module remonter en température naturellement. Il convient que le dispositif de référence se stabilise également à $\pm 1^\circ\text{C}$ de sa température d'équilibre avant de procéder à la mesure.
- e) Relever la caractéristique courant-tension et la température du spécimen en même temps que le courant de court-circuit et la température du dispositif de référence aux températures désirées. Si nécessaire, faire les mesures immédiatement après avoir enlevé le cache.
- f) L'éclairement G_0 doit être calculé conformément à la CEI 60891 à partir du courant mesuré (I_{sc}) du dispositif PV de référence, et de sa valeur d'étalonnage à STC (I_{rc}). Il convient qu'une correction soit appliquée pour prendre en compte la température du dispositif de référence T_m en utilisant le coefficient de température spécifié du dispositif de référence α_{rc} .

$$G_0 = \frac{1000 \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25)]$$

Où α_{rc} est le coefficient de température relative [$^\circ\text{C}^{-1}$] à 25°C et $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

- g) Ajuster la température au moyen d'un contrôleur ou en exposant et en retirant alternativement le module en essai comme exigé pour atteindre et maintenir la température désirée. Sinon, le module en essai peut être autorisé à s'échauffer naturellement avec la procédure d'enregistrement des données du paragraphe d) réalisée périodiquement au cours de l'échauffement.
- h) S'assurer que les températures du module en essai et du dispositif de référence sont stabilisées et restent constantes à $\pm 1^\circ\text{C}$ et que l'éclairement mesuré par le dispositif de référence reste constant à $\pm 1 \%$ au cours de la période d'enregistrement de chaque ensemble de données. Toutes les données doivent être relevées à $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ou être traduites à ce niveau d'éclairement au moyen de la CEI 60891. La traduction peut seulement être réalisée dans la gamme d'éclairement où le module est linéaire comme cela est défini dans la CEI 60904-10.
- i) Répéter les étapes d) à h). Les températures du module doivent être telles que la gamme présentant un intérêt soit d'au moins 30°C et que cela s'étende à au moins quatre incréments environ égaux. Un minimum de trois mesures doit être réalisé à chacune des conditions d'essai.

10.4.3.2 Mode opératoire avec un simulateur solaire

- a) Déterminer le courant de court-circuit du module pour l'éclairement désiré, à température ambiante, conformément à la CEI 60904-1.
- b) Installer le module en essai dans l'équipement utilisé pour changer la température. Effectuer les connexions à l'instrumentation.
- c) Ajuster l'éclairement de façon que le module en essai délivre le courant de court-circuit déterminé à l'étape a).

- d) Chauffer ou refroidir le module jusqu'à une température utile. Une fois que le module a atteint la température désirée, mesurer I_{sc} , V_{oc} et la puissance de crête. Changer la température du module par paliers d'environ 5 °C dans une gamme présentant un intérêt d'au moins 30 °C, et répéter les mesures de I_{sc} , V_{oc} et de la puissance de crête.

NOTE 1 La caractéristique courant-tension complète peut être mesurée à chaque température pour déterminer la variation de température en tension à la puissance de crête et en courant à la puissance de crête.

NOTE 2 IL convient de faire attention à s'assurer que le module en essai est correctement préconditionné avant chaque mesure.

10.4.3.3 Calcul des coefficients de température

- a) Tracer les valeurs de I_{sc} , V_{oc} et P_{max} en fonction de la température et construire, par la méthode des moindres carrés, la courbe passant par chaque groupe de données.
- b) A partir des pentes des lignes droites de la méthode des moindres carrés pour le courant, la tension et P_{max} . Calculer α , le coefficient de température du courant de court-circuit, β , le coefficient de température de la tension en circuit ouvert, et δ , le coefficient de température de P_{max} , pour le module.

NOTE 1 Voir la CEI 60904-10 pour déterminer si les modules en essai peuvent être considérés comme étant des dispositifs linéaires.

NOTE 2 Les coefficients de température mesurés dans cette procédure ne sont valables qu'au niveau d'éclairement et au spectre auxquels ils ont été mesurés. Les coefficients de température relative exprimés en pourcentages peuvent être déterminés en divisant les α , β , et δ calculés par les valeurs de courant, tension et puissance de crête à 25 °C.

NOTE 3 Du fait que le coefficient de remplissage du module est fonction de la température, il n'est pas suffisant d'utiliser le produit de α et β comme le coefficient de température de la puissance de crête.

10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)

10.5.1 Objet

Déterminer la NOCT d'un module.

10.5.2 Introduction

La température nominale d'utilisation des cellules (NOCT) est définie comme étant la température de jonction moyenne des cellules solaires à l'équilibre, pour un module monté sur une structure dégagée dans l'environnement de référence normalisé (SRE) suivant:

- angle d'inclinaison: à 45° d'inclinaison par rapport à l'horizontal
- éclairement total: 800 W·m⁻²
- température ambiante: 20 °C
- vitesse du vent: 1 m·s⁻¹
- charge électrique: aucune (circuit ouvert)

La NOCT peut être utilisée par le concepteur du système comme indication de la température de fonctionnement du module sur site et, par conséquent, est un paramètre utile pour comparer les performances des modules de conceptions différentes. Cependant, à chaque instant, la température réelle de fonctionnement est affectée par la structure du montage, l'éclairement, la vitesse du vent, la température ambiante, la température de couleur du ciel, les émissions et réflexions du sol et des objets proches. Pour des prévisions précises de performance, ces facteurs doivent être pris en compte.

Dans le cas des modules non conçus pour être montés sur une structure dégagée, la méthode peut être utilisée pour déterminer la température de jonction moyenne des cellules solaires, à l'équilibre, dans le SRE, le module étant monté suivant les recommandations du fabricant.

10.5.3 Principe

Cette méthode est basée sur l'acquisition de résultats de mesures directes de la température de cellule dans une gamme de conditions d'environnement incluant le SRE. Les résultats sont présentés de telle sorte qu'ils permettent une interpolation précise et reproductible de la valeur de NOCT.

La température de jonction d'une cellule solaire (T_J) est principalement fonction de la température ambiante (T_{amb}), de la vitesse moyenne du vent (V) et de l'éclairement solaire total (G) incident sur la surface active du module. La différence de température ($T_J - T_{amb}$) est largement indépendante de la température ambiante et est essentiellement proportionnelle linéairement à l'éclairement pour des niveaux d'éclairement supérieurs à $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. La procédure consiste à tracer ($T_J - T_{amb}$) en fonction de G pour une période en conditions de vent favorables. Une valeur préliminaire de NOCT est ainsi déterminée en ajoutant 20°C à la valeur de ($T_J - T_{amb}$) obtenue après interpolation à l'éclairement du SRE défini à $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Enfin, un facteur correctif, dépendant de la température ambiante moyenne et de la vitesse du vent durant la période d'essai, est ajouté à la valeur préliminaire de NOCT pour obtenir la valeur de NOCT corrigée à 20°C et $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

10.5.4 Equipement

L'équipement suivant est requis:

- a) Une structure dégagée pour maintenir le ou les modules en essai et les pyranomètres dans les conditions spécifiées (voir 10.5.2). La structure doit être conçue pour minimiser la conduction de chaleur dégagée par les modules et pour interférer aussi peu que possible avec le libre rayonnement de chaleur provenant de leurs surfaces avant et arrière.
NOTE Si les modules ne sont pas conçus pour être installés sur une structure dégagée, il convient que le ou les modules à essayer soient installés selon les recommandations du fabricant.
- b) Un pyranomètre, installé dans le plan du ou des modules et à $0,3 \text{ m}$ du champ d'essai.
- c) Des instruments pour mesurer la vitesse du vent jusqu'à $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ avec une précision de $\pm 10\%$ ou $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée et la direction du vent avec une précision de $\pm 10^\circ$, installés à environ $0,7 \text{ m}$ au-dessus du bord supérieur du ou des modules et à environ $1,2 \text{ m}$ vers l'est ou l'ouest.
- d) Une capteur de température ambiante ayant une constante de temps proche de celle du ou des modules, installée dans une enceinte obscure bien ventilée, près des capteurs de vent.
- e) Des capteurs de température de cellule, maintenues par soudure ou par un adhésif conducteur thermique aux faces arrières de deux cellules solaires situées près du milieu de chaque module en essai, ou bien tout autre équipement nécessaire pour la mesure de la température d'une cellule par une méthode approuvée par la CEI.
- f) Un système d'acquisition des données avec une précision de mesure de la température de $\pm 1^\circ\text{C}$ pour enregistrer les paramètres suivants à des intervalles inférieurs ou égaux à 5 s :
 - éclairement énergétique;
 - température ambiante;
 - température de cellule;
 - vitesse du vent;
 - direction du vent.

10.5.5 Installation du module en essai

Angle d'inclinaison: le ou les modules en essai doivent être mis en place de telle façon qu'ils soient inclinés à $45^\circ \pm 5^\circ$ par rapport à l'horizontale avec la partie avant dirigée vers l'équateur.

Hauteur: le bord inférieur du ou des modules à essayer doit être à au moins $0,6 \text{ m}$ au-dessus du niveau du sol ou du plan horizontal d'essai.

Configuration: pour simuler les conditions thermiques limites des modules installés sur un champ, le ou les modules à essayer doivent être montés sur une surface plane qui s'étende à au moins 0,6 m dans toutes les directions autour du ou des modules. Pour les modules conçus pour un montage libre dans des installations à structure arrière dégagée, des plaques en aluminium noir ou d'autres modules de la même conception doivent être utilisés pour couvrir l'aire non recouverte de la surface plane.

Aire environnante: il ne doit y avoir aucune obstruction empêchant l'éclairement total du ou des modules en essai pendant la période comprise entre 4 h avant midi solaire local et 4 h après midi solaire local. Le sol autour du ou des modules ne doit pas permettre de réflexion solaire anormalement élevée et doit être plat et de niveau ou en pente descendante dans toutes les directions par rapport à l'appareillage d'essai. De l'herbe, ou tout autre type de végétation, de l'asphalte noir ou un sol nu sont acceptables sur la surface environnante locale.

10.5.6 Procédure

- a) Mettre en marche l'équipement ainsi que le ou les modules en essai comme décrit en 10.5.4. S'assurer que le ou les modules en essai sont en circuit ouvert.
- b) Par une journée ensoleillée, avec un ciel dégagé et un vent faible, enregistrer en fonction du temps, les températures des cellules, la température ambiante, l'éclairement, la vitesse du vent et sa direction.
- c) Rejeter toutes les données qui ont été relevées dans les conditions suivantes:
 - éclairement inférieur à $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
 - pendant une période de 10 min après que l'éclairement ait varié de plus de 10 % au cours du relevé d'un ensemble de données;
 - vitesses du vent en dehors de la gamme $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \pm 0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
 - températures ambiantes en dehors de la gamme $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ou bien variant de plus de $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - donnée prise pendant une période de 10 min suivant un coup de vent de plus de $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
 - direction du vent dans un angle de $\pm 20^{\circ}$ par rapport à l'est ou à l'ouest.
- d) A partir d'au moins 10 points de données acceptables, couvrant une gamme d'éclairement d'au moins $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, en s'assurant que les points de données proviennent à la fois d'avant et après midi solaire, tracer $(T_J - T_{\text{amb}})$ en fonction de l'éclairement. Utiliser l'analyse par régression pour ajuster les points de données.
- e) Déterminer la valeur de $(T_J - T_{\text{amb}})$ à $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ et ajouter $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ à cette valeur pour obtenir la valeur préliminaire de NOCT.
- f) Calculer la température ambiante moyenne, T_{amb} , et la vitesse moyenne du vent, V , associées aux points de données acceptables, et déterminer le facteur correctif approprié à partir de la Figure 2.
- g) Ajouter le facteur correctif à la valeur préliminaire de NOCT pour obtenir la valeur de NOCT corrigée à $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ et $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Cette somme est la NOCT du module.
- h) Répéter la totalité de la procédure un autre jour et faire la moyenne des deux valeurs de NOCT si elles ne diffèrent pas de plus de $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sinon, répéter la procédure un troisième jour et faire la moyenne des trois valeurs de NOCT.

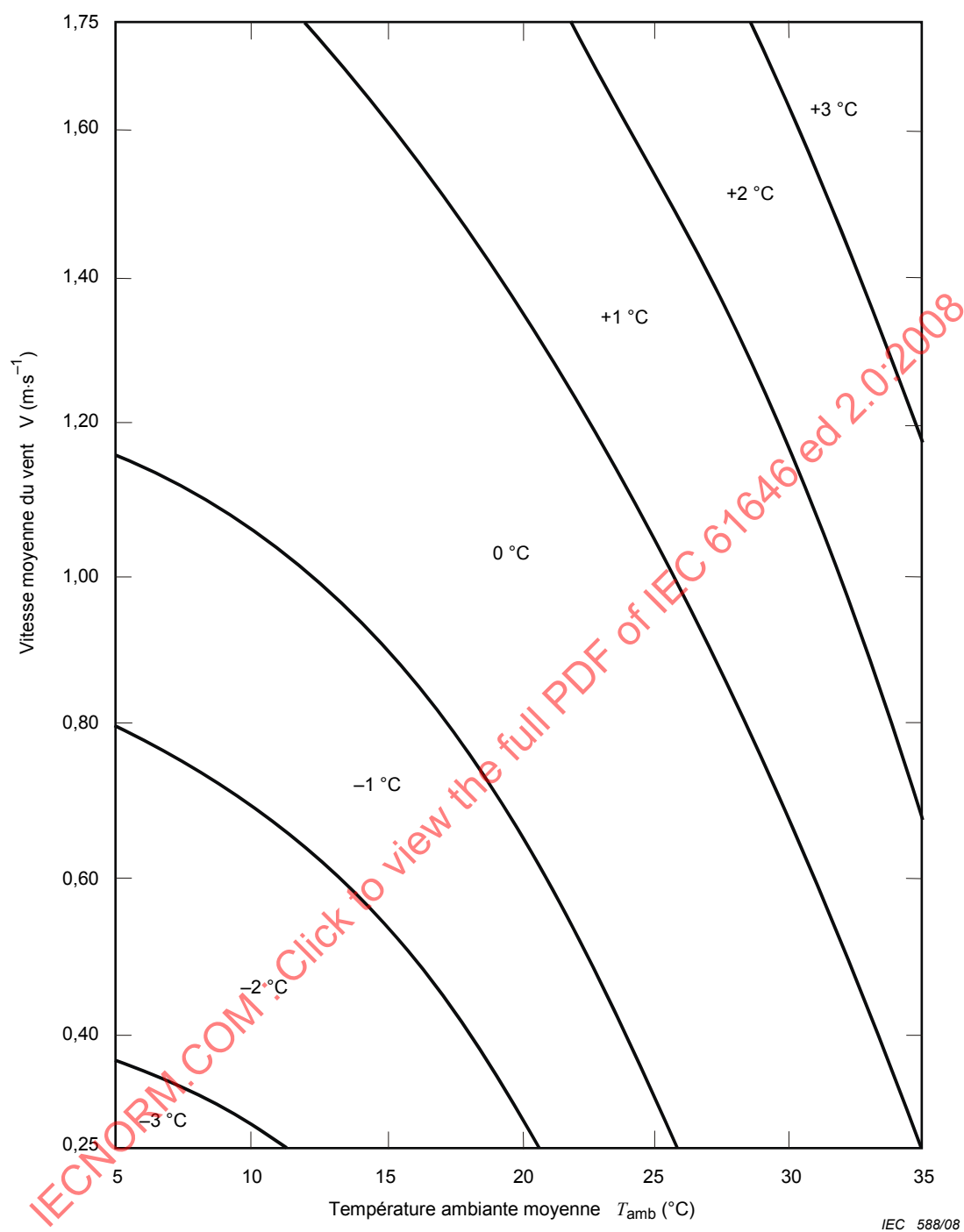


Figure 2 – Facteur de correction de NOCT

10.6 Performance à STC et NOCT

10.6.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à STC ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, température de cellule de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, avec une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3) et à NOCT et à un éclairement de $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, avec une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3.

10.6.2 Equipement

- a) Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe BBB ou mieux), conformément à la CEI 60904-9.
- b) Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2. Si un simulateur de classe BBB est utilisé, le dispositif de référence doit être un module de référence de la même taille avec la même technologie de cellule pour correspondre à la réponse spectrale.
- c) Un support approprié pour maintenir le spécimen d'essai et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- d) Equipement pour la mesure de la courbe I-V conformément à l'Article 4 de la CEI 60904-1:2006.
- e) Appareil nécessaire pour modifier la température du spécimen d'essai en température de NOCT mesurée en 10.5.

10.6.3 Procédure

10.6.3.1 Conditions d'essais normalisés (STC)

Maintenir le module à 25 °C et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairement de 1 000 W·m⁻² (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe BBB ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

10.6.3.2 Température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)

Chauffer le module uniformément jusqu'à atteindre sa NOCT et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairement de 800 W·m⁻² (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

Si le spectre du dispositif de référence n'est pas adapté au module en essai, utiliser la CEI 60904-7 pour calculer la correction de désadaptation des réponses spectrales.

10.7 Performance sous faible éclairement

10.7.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à 25 °C, sous un éclairement de 200 W·m⁻² (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 60904-1, en utilisant un éclairement solaire naturel ou un simulateur de classe BBB conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

10.7.2 Equipement

- a) Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe BBB ou mieux), conformément à la CEI 60904-9.
- b) Appareil nécessaire pour changer l'éclairement en 200 W·m⁻² sans affecter la répartition d'éclairement spectral relatif et l'uniformité spatiale conformément à la CEI 60904-10.
- c) Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2.
- d) Un support approprié pour maintenir le spécimen d'essai et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- e) Equipement pour la mesure de la courbe I-V conformément à la CEI 60904-1.

10.7.3 Procédure

Déterminer la caractéristique courant-tension du module à 25 °C ± 2 °C et à un éclairement de 200 W·m⁻² (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe BBB conformément à la CEI 60904-9. L'éclairement doit être réduit au niveau spécifié en utilisant des filtres neutres ou

toute autre technique qui ne modifie pas la répartition d'éclairement spectral. (Voir la CEI 60904-10 à titre informatif concernant la réduction de l'éclairement sans modifier la répartition d'éclairement spectral.)

10.8 Essai d'exposition en site naturel

10.8.1 Objet

Cet essai a pour but de faire une évaluation préliminaire de la capacité d'un module à supporter une exposition dans des conditions de site naturel et de révéler les effets d'une dégradation synergétique qui ne pourraient pas être détectés par des essais effectués en laboratoire.

NOTE Il y a lieu que tout jugement absolu sur la durée de vie d'un module ayant satisfait à cet essai soit considéré avec prudence parce que l'essai est de courte durée et les conditions d'environnement variées. Il convient d'utiliser cet essai seulement comme un guide ou un indicateur d'éventuels problèmes.

10.8.2 Equipement

- a) Un dispositif capable de mesurer l'éclairement solaire, avec une incertitude de moins de $\pm 50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- b) Des moyens pour monter le module, conformément aux recommandations du fabricant, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement.
- c) Une charge adaptée de telle sorte que le module fonctionnera à proximité du point de puissance maximale à STC.

10.8.3 Procédure

- a) Fixer la charge résistive au module et l'installer, conformément aux recommandations du fabricant, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions de site naturel. Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le fabricant avant que le module ne soit essayé.
- b) Exposer le module à un éclairement cumulé de $60 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, mesuré par le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions conformes aux climats généraux d'air libre définis dans la CEI 60721-2-1.

10.8.4 Mesures finales

Répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

10.8.5 Exigences

- pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme définis à l'Article 7;
- la puissance maximale de sortie aux STC doit excéder la puissance minimale définie par le fabricant;
- la résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

10.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé

10.9.1 Objet

L'essai a pour but de déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets d'un échauffement localisé dus par exemple à la rupture d'une soudure ou à la détérioration de l'encapsulation. Ce défaut peut être provoqué par des cellules défectueuses, masquées ou salies.

10.9.2 Effet de l'échauffement localisé

L'échauffement localisé d'un module se produit lorsque son courant nominal excède le courant de court-circuit (I_{sc}) réduit d'une cellule masquée ou défectueuse ou d'un groupe de cellules. Quand de telles conditions apparaissent, le groupe de cellules ou la cellule affecté(e) se trouve polarisé(e) en inverse et dissipe de la puissance, pouvant ainsi créer un échauffement.

NOTE 1 Normalement aucune diode bypass n'est incluse dans le circuit d'interconnexion des cellules en couches minces connectées en série. C'est pourquoi, la tension inverse des cellules abritées n'est pas limitée et la tension du module peut forcer un groupe de cellules à se trouver polarisé en inverse.

NOTE 2 La performance électrique d'un module en couches minces peut déjà être affectée de manière négative par des zones d'ombre de court terme. Il faut veiller à ce que les effets causés par des conditions de réglage les plus défavorables et l'essai de tenue à l'échauffement localisé soient clairement séparés. Les valeurs de $P_{\max 1}$, $P_{\max 2}$ et $P_{\max 3}$ sont collectées dans cet objectif,

NOTE 3 Bien que la température absolue et la perte relative ne soient pas des critères pour cet essai, les plus sévères conditions d'échauffement localisé sont utilisées pour assurer la sécurité de la conception.

La Figure 3 illustre l'effet d'un échauffement localisé sur un module en couches minces constitué de cellules connectées en série, lorsqu'un nombre différent de cellules est totalement masqué. La quantité de puissance dissipée dans les cellules abritées est égale au produit du courant du module par la tension inverse créée aux bornes du groupe de cellules abritées. Pour n'importe quel niveau d'éclairement, la puissance maximum est dissipée lorsque la tension inverse créée aux bornes des cellules abritées est égale à la tension générée par les cellules restant éclairées dans le module (cas le plus défavorable de condition de masquage). Ceci est le cas lorsque le courant de court-circuit du module abrité est égal au courant maximum du module non abrité.

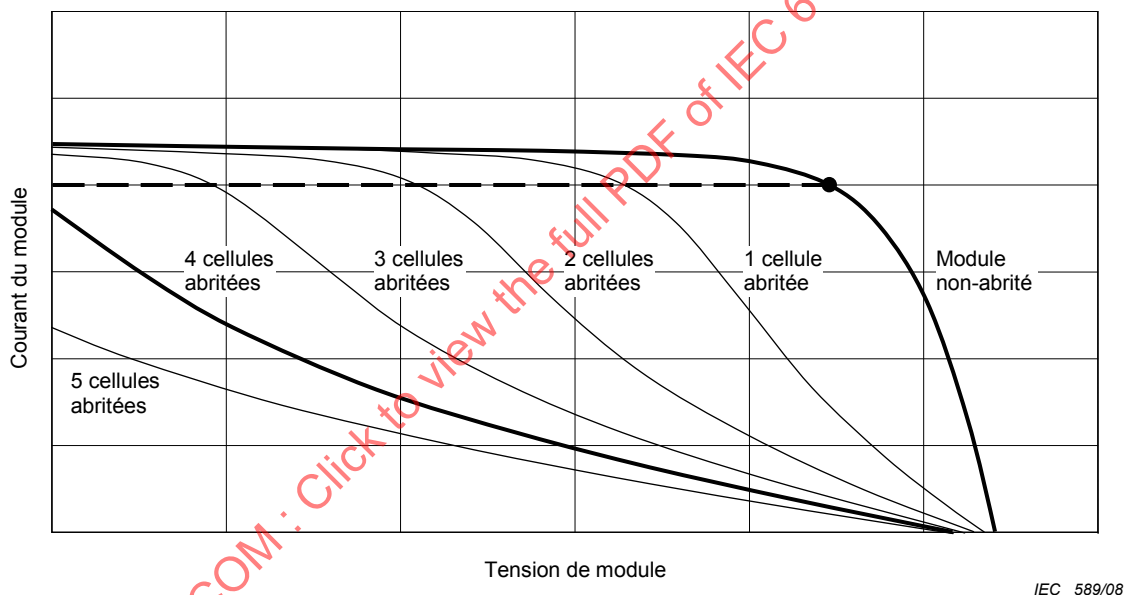


Figure 3 – Effet d'un échauffement localisé sur un module en couches minces avec cellules connectées en série. Le cas le plus défavorable de condition de masquage est le masquage de 4 cellules en même temps

10.9.3 Classification des interconnexions de cellules

Les cellules solaires d'un module en couches minces sont connectées de plusieurs manières différentes:

- Cas S: Connexion en série de toutes les cellules dans une seule branche (cas le plus commun). Une diode bypass peut seulement être utilisée entre les bornes du module.
- Cas PS: Connexion en parallèle-série, c'est-à-dire une connexion en parallèle de panneaux, où chaque panneau consiste en une connexion en série d'un certain nombre de cellules. Des diodes bypass peuvent être utilisées pour chaque bloc.
- Cas SP: Connexion en série-parallèle, c'est-à-dire une connexion en série de panneaux, où chaque panneau consiste en une connexion en parallèle d'un certain nombre de cellules. Des diodes bypass peuvent être utilisées pour chaque bloc.

Chaque configuration nécessite une procédure particulière d'essai de tenue à l'échauffement localisé.

10.9.4 Equipement

- a) Source de rayonnement: Ensoleillement naturel ou un simulateur solaire à éclairage permanent de classe CCB (ou mieux) conforme aux exigences de la CEI 60904-9 produisant un éclairage de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- b) Un traceur de courbe I-V des modules.
- c) Equipement pour la mesure de courant.
- d) Des systèmes de masquage opaques suffisamment importants pour masquer complètement un groupe de cellules voisines en essai.
- e) Un capteur de température approprié, si nécessaire.

10.9.5 Procédure

Les essais doivent être effectués lorsque le module est exposé de 800 à $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le fabricant avant que le module ne soit essayé.

10.9.5.1 Cas S

- a) Exposer le module non abrité à la source de rayonnement de 800 à $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Lorsque la stabilisation thermique est atteinte, mesurer la caractéristique I-V du module et déterminer la plage de courant maximum où $P > 0,99 P_{\text{max}1}$ (la puissance du module mesurée après préconditionnement).
- b) Court-circuiter le module et contrôler le courant de court-circuit.
- c) En partant d'un bord du module, présenter un système de masquage opaque pour abriter une cellule complètement. Déplacer le système de masquage parallèlement aux cellules et augmenter la surface du module abrité (un nombre de cellules abritées) jusqu'à ce que le courant de court-circuit tombe dans la plage de courant maximum du module non abrité. Dans ces conditions, la puissance maximale est dissipée dans le groupe de cellules sélectionné.
- d) Déplacer un système de masquage (de dimensions données en c) doucement sur le module et contrôler le courant de court-circuit du module. Si à une certaine position le courant de court-circuit tombe à l'extérieur de la plage de courant maximum du module non abrité, réduire les dimensions du système de masquage par petits incréments jusqu'à atteindre à nouveau la condition de courant maximum. Durant cette procédure, l'éclairement ne doit pas varier de plus de $\pm 2\%$.
- e) La largeur finale du système de masquage détermine la surface minimum de masquage résultant de la condition de masquage la plus défavorable. Ceci est la surface abritée à utiliser pour l'essai de tenue à l'échauffement localisé.
- f) Déplacer le système de masquage et inspecter visuellement le module.
NOTE L'opération de polarisation en inverse des cellules à l'étape d) peut causer un claquage de la jonction et conduire à une répartition irrégulière de taches visibles sur la surface du module. Ces défauts peuvent causer une dégradation de la puissance de sortie maximum.
- g) Remesurer la caractéristique I-V du module et déterminer la puissance maximum $P_{\text{max}2}$.
- h) Placer le système de masquage sur la surface du module candidat et court-circuiter le module.
- i) Exposer le module à nouveau de 800 à $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Cet essai doit être réalisé lorsque le module est à une température dans une plage de $50\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. Noter la valeur de I_{sc} et conserver le module dans la condition de dissipation de puissance maximum. Si nécessaire réajuster le masquage pour maintenir I_{sc} au niveau spécifié déterminé à l'étape a).
- j) Maintenir cette condition pendant un temps d'exposition total de 1 h.
- k) A la fin de l'essai d'endurance, déterminer la surface la plus chaude sur les cellules abritées en utilisant un détecteur de température approprié.

10.9.5.2 Cas PS

- a) Exposer le module non abrité de 800 à 1 000 W·m⁻². Lorsque la stabilisation thermique est atteinte, mesurer la caractéristique I-V du module et déterminer la puissance maximum $P_{\max 1}$.
- b) Court-circuiter le module et prendre au hasard au moins 10 % de panneaux parallèles du module, masquer une surface croissante du panneau jusqu'à déterminer la température maximum en utilisant un équipement d'imagerie thermique ou tout autre moyen approprié.
- c) Remesurer la caractéristique I-V du module et déterminer la puissance maximum $P_{\max 2}$.
- d) Appliquer le masquage donné à l'étape b) et maintenir cette condition pour un temps d'exposition total de 1 h.
- e) A la fin de l'essai d'endurance, déterminer la surface la plus chaude sur les cellules abritées en utilisant un détecteur de température approprié.

10.9.5.3 Cas SP

- a) Exposer le module non abrité à la source de rayonnement de 800 à 1 000 W·m⁻². Lorsque la stabilisation thermique est atteinte, mesurer la caractéristique I-V du module et déterminer la plage de courant maximum ($I_{\min} < I < I_{\max}$) où $P > 0,99 P_{\max 1}$.
- b) Calculer ensuite la plage de courant maximum à appliquer (I^*) à l'aide de la formule suivante :

$$I_{\min} / P + I_{sc} \times (P - 1) / P < I^* < I_{\max} / P + I_{sc} \times (P - 1) / P$$

P : nombre de branches en parallèle dans le module
- c) Court-circuiter le module et contrôler le courant de court-circuit.
- d) En partant d'un bord d'une branche du module, présenter un système de masquage opaque pour abriter une cellule complètement. Déplacer le système de masquage parallèlement aux cellules et augmenter la surface du module abrité (un nombre de cellules abritées) jusqu'à ce que le courant de court-circuit tombe dans la plage de courant maximum (I^*) du module non abrité. Dans ces conditions, la puissance maximale est dissipée dans le groupe de cellules sélectionné.
- e) Couper le système de masquage opaque selon les dimensions déterminées expérimentalement.
- f) Déplacer doucement le système de masquage sur le module et contrôler le courant de court-circuit du module. Si à une certaine position, le courant de court-circuit tombe à l'extérieur de la plage de courant maximum (I^*) du module non abrité, couper le système de masquage par incréments d'une cellule jusqu'à atteindre à nouveau la condition de courant maximum. Durant cette procédure, l'éclairement ne doit pas varier de plus de ± 2 %.
- g) Remesurer la caractéristique I-V du module et déterminer la puissance maximum $P_{\max 2}$.
- h) Placer le système de masquage sur la surface du module candidat et court-circuiter le module.
- i) Exposer le module à nouveau de 800 à 1 000 W·m⁻². Cet essai doit être réalisé à une température du module située dans la plage 50 °C $\pm$ 10 °C. Noter la valeur de I_{sc} et garder le module dans ces conditions de dissipation maximale de puissance. Si nécessaire réajuster le masquage pour maintenir I_{sc} au niveau spécifié déterminé à l'étape a).
- j) Maintenir cette condition pendant un temps d'exposition total de 1 h.
- k) A la fin de l'essai d'endurance, déterminer la surface la plus chaude sur les cellules abritées en utilisant un détecteur de température approprié.

10.9.6 Mesures finales

Répéter les essais 10.1 et 10.3.

NOTE La puissance après l'essai de tenue à l'échauffement localisé peut être mesurée dans un but de diagnostic