

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-9394-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	6
INTRODUCTION	8
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	11
4 Test procedures	12
4.1 Visual inspection (MQT 01)	12
4.1.1 Purpose	12
4.1.2 Procedure	12
4.1.3 Requirements	12
4.2 Maximum power determination (MQT 02)	12
4.2.1 Purpose	12
4.2.2 Apparatus	12
4.2.3 Procedure	13
4.3 Insulation test (MQT 03)	13
4.3.1 Purpose	13
4.3.2 Apparatus	14
4.3.3 Test conditions	14
4.3.4 Procedure	14
4.3.5 Test requirements	15
4.4 Measurement of temperature coefficients (MQT 04)	15
4.5 Placeholder section, formerly NMOT	15
4.6 Performance at STC (MQT 06.1)	15
4.6.1 Purpose	15
4.6.2 Apparatus	15
4.6.3 Procedure for measuring at STC (MQT 06.1)	16
4.7 Performance at low irradiance (MQT 07)	16
4.7.1 Purpose	16
4.7.2 Apparatus	16
4.7.3 Procedure	17
4.8 Outdoor exposure test (MQT 08)	17
4.8.1 Purpose	17
4.8.2 Apparatus	17
4.8.3 Procedure	17
4.8.4 Final measurements	18
4.8.5 Requirements	18
4.9 Hot-spot endurance test (MQT 09)	18
4.9.1 Purpose	18
4.9.2 Hot-spot effect	18
4.9.3 Classification of cell interconnection	19
4.9.4 Apparatus	20
4.9.5 Procedure	21
4.9.6 Final measurements	28
4.9.7 Requirements	28
4.10 UV preconditioning test (MQT 10)	28
4.10.1 Purpose	28

4.10.2	Apparatus	28
4.10.3	Procedure	29
4.10.4	Final measurements	29
4.10.5	Requirements	29
4.11	Thermal cycling test (MQT 11)	29
4.11.1	Purpose	29
4.11.2	Apparatus	29
4.11.3	Procedure	30
4.11.4	Final measurements	31
4.11.5	Requirements	31
4.12	Humidity-freeze test (MQT 12)	32
4.12.1	Purpose	32
4.12.2	Apparatus	32
4.12.3	Procedure	32
4.12.4	Final measurements	32
4.12.5	Requirements	32
4.13	Damp heat test (MQT 13)	33
4.13.1	Purpose	33
4.13.2	Apparatus	33
4.13.3	Procedure	33
4.13.4	Final measurements	34
4.13.5	Requirements	34
4.14	Robustness of terminations (MQT 14)	34
4.14.1	Purpose	34
4.14.2	Retention of junction box on mounting surface (MQT 14.1)	34
4.14.3	Test of cord anchorage (MQT 14.2)	34
4.15	Wet leakage current test (MQT 15)	35
4.15.1	Purpose	35
4.15.2	Apparatus	35
4.15.3	Procedure	35
4.15.4	Requirements	35
4.16	Static mechanical load test (MQT 16)	36
4.16.1	Purpose	36
4.16.2	Apparatus	36
4.16.3	Procedure	37
4.16.4	Final measurements	37
4.16.5	Requirements	37
4.17	Hail test (MQT 17)	37
4.17.1	Purpose	37
4.17.2	Apparatus	37
4.17.3	Procedure	38
4.17.4	Final measurements	39
4.17.5	Requirements	39
4.18	Bypass diode testing (MQT 18)	40
4.18.1	Bypass diode thermal test (MQT 18.1)	40
4.18.2	Bypass diode functionality test (MQT 18.2)	43
4.19	Stabilization (MQT 19)	44
4.19.1	General	44
4.19.2	Criterion definition for stabilization	44

4.19.3	Light induced stabilization procedures	45
4.19.4	Other stabilization procedures	46
4.19.5	Initial stabilization (MQT 19.1)	46
4.19.6	Final stabilization (MQT 19.2)	46
4.19.7	Stress-specific stabilization – BO LID (MQT 19.3)	47
4.20	Cyclic (dynamic) mechanical load test (MQT 20)	47
4.20.1	Purpose	47
4.20.2	Procedure	47
4.20.3	Final measurements	47
4.20.4	Requirements	48
4.21	Potential induced degradation test (MQT 21)	48
4.21.1	Purpose	48
4.21.2	Samples	48
4.21.3	Apparatus	48
4.21.4	Procedure	48
4.21.5	Final measurements	48
4.21.6	Requirements	49
4.22	Bending test (MQT 22)	49
4.22.1	Purpose	49
4.22.2	Apparatus	49
4.22.3	Procedure	49
4.22.4	Final measurements	49
4.22.5	Requirements	49
Annex A (informative)	Recommended setup for managing weights during mechanical loading (MQT 16)	50
Bibliography		54
Figure 1	– Case S, series connection with optional bypass diode	19
Figure 2	– Case PS, parallel-series connection with optional bypass diode	19
Figure 3	– Case SP, series-parallel connection with optional bypass diode	20
Figure 4	– Module I - V characteristics with different cells totally shadowed	21
Figure 5	– Module I - V characteristics with the test cell shadowed at different levels	23
Figure 6	– Hot-spot effect in a MLI thin-film module with serially connected cells	24
Figure 7	– Thermal cycling test – Temperature and applied current profile	30
Figure 8	– Proper attachment of 5 N weight to junction box for module utilizing a) electrical termination leads, b) or wire for attachment, and c) only one junction box	31
Figure 9	– Humidity-freeze cycle – Temperature and humidity profile	33
Figure 10	– Hail-test equipment	38
Figure 11	– Hail test impact locations: top for wafer/cell based technologies, bottom for monolithic processed thin film technologies	40
Figure 12	– Bypass diode thermal test	42
Figure A.1	– 3D view (at left of figure), end view (at top right), and side view (at bottom right) of gantry crane over mounting jig and loading jig	50
Figure A.2	– 3D close up views of mounting jig (right) and loading jig (left)	51
Figure A.3	– 2D view of mounting jig and loading jig	52
Figure A.4	– 3D view of loading jig	52
Figure A.5	– Close-up view of loading jig	53

Table 1 – Voltage stress levels	14
Table 2 – Ice-ball masses and test velocities	38
Table 3 – Impact locations	39

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 2: Test procedures

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61215-2 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition of IEC 61215-2 cancels and replaces the first edition of IEC 61215-2 issued in 2016; it constitutes a technical revision.

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

- a) Addition of cyclic (dynamic) mechanical load testing (MQT 20).
- b) Addition of a test for detection of potential-induced degradation (MQT 21).
- c) Addition of test methods required for bifacial PV modules.
- d) Addition of test methods required for flexible modules. This includes the addition of the bending test (MQT 22).
- e) Revision of simulator requirements to ensure uncertainty is both well-defined and minimized.

- f) Correction to the hot spot endurance test, where the procedure for monolithically integrated (MLI) thin film technologies (MQT 09.2) previously included two sections describing a procedure only appropriate for silicon modules.
- g) Selection of three diodes, rather than all, for testing in the bypass diode thermal test (MQT 18).
- h) Removal of the nominal module operating test (NMOT), and associated test of performance at NMOT, from the IEC 61215 series.

Informative Annex A of IEC 61215-1:2021 explains the background and reasoning behind some of the more substantial changes that were made in the IEC 61215 series in progressing from edition 1 to edition 2.

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

FDIS	Report on voting
82/1829/FDIS	82/1853/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 61215 series, published under the general title *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

Whereas Part 1 of this standards series describes requirements (both in general and specific with respect to device technology), the sub-parts of Part 1 define technology variations and Part 2 defines a set of test procedures necessary for design qualification and type approval. The test procedures described in Part 2 are valid for all device technologies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021

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

Part 2: Test procedures

1 Scope

This document lays down requirements for the design qualification of terrestrial photovoltaic modules suitable for long-term operation in open-air climates. The useful service life of modules so qualified will depend on their design, their environment and the conditions under which they are operated. Test results are not construed as a quantitative prediction of module lifetime.

In climates where 98th percentile operating temperatures exceed 70 °C, users are recommended to consider testing to higher temperature test conditions as described in IEC TS 63126¹. Users desiring qualification of PV products with lesser lifetime expectations are recommended to consider testing designed for PV in consumer electronics, as described in IEC TS 63163 (under development). Users wishing to gain confidence that the characteristics tested in IEC 61215 appear consistently in a manufactured product may wish to utilize IEC 62941 regarding quality systems in PV manufacturing.

This document is intended to apply to all terrestrial flat plate module materials such as crystalline silicon module types as well as thin-film modules.

This document does not apply to modules used with concentrated sunlight although it may be utilized for low concentrator modules (1 to 3 suns). For low concentration modules, all tests are performed using the irradiance, current, voltage and power levels expected at the design concentration.

The objective of this test sequence is to determine the electrical 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 outdoors. Accelerated test conditions are empirically based on those necessary to reproduce selected observed field failures and are applied equally across module types. Acceleration factors may vary with product design and thus not all degradation mechanisms may manifest. Further general information on accelerated test methods including definitions of terms may be found in IEC 62506.

Some long-term degradation mechanisms can only reasonably be detected via component testing, due to long times required to produce the failure and necessity of stress conditions that are expensive to produce over large areas. Component tests that have reached a sufficient level of maturity to set pass/fail criteria with high confidence are incorporated into the IEC 61215 series via addition to Table 1 in IEC 61215-1:2021. In contrast, the tests procedures described in this series, in IEC 61215-2, are performed on modules.

2 Normative references

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

¹ Information on 98th percentile operating temperature as a function of system location and mounting configuration is included in IEC TS 63126.

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 60068-2-78:2012, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

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

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

IEC 60904-1-1, *Photovoltaic devices – Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices*

IEC TS 60904-1-2, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices*

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

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

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

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

IEC 60904-9:2020, *Photovoltaic devices – Part 9: Classification of solar simulator characteristics*

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

IEC TR 60904-14, *Photovoltaic devices – Part 14: Guidelines for production line measurements of single-junction PV module maximum power output and reporting at standard test conditions*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61215-1:2021, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements*

IEC 61215-1-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules*

IEC 61730-1:2016, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

IEC 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*

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

IEC TS 62782, *Photovoltaic (PV) modules – Cyclic (dynamic) mechanical load testing*

IEC 62790, *Junction boxes for photovoltaic modules – Safety requirements and tests*

IEC TS 62804-1:2015, *Photovoltaic (PV) modules – Test methods for the detection of potential-induced degradation – Part 1: Crystalline silicon*

IEC TS 63163: –² *Terrestrial photovoltaic (PV) modules for consumer products – Design qualification and type approval*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC TS 61836 and IEC 61215-1:2021 apply, as well as the following.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

accuracy <of a measuring instrument>

quality which characterizes the ability of a measuring instrument to provide an indicated value close to a true value of the measurand [consistent with the International Vocabulary of Metrology (VIM), 5.18]

Note 1 to entry: This term is used in the "true value" approach.

Note 2 to entry: Accuracy is all the better when the indicated value is closer to the corresponding true value.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-08]

3.2

control device

irradiance sensor (such as a reference cell or module) that is used to detect drifts and other problems of the solar simulator.

3.3

electrically stable power output level

state of the PV module where it will operate under long-term natural sunlight

3.4

repeatability <of results of measurements>

closeness of agreement between the results of successive measurements of the same measurand, carried out under the same conditions of measurement, i.e.:

- by the same measurement procedure,
- by the same observer,
- with the same measuring instruments,
- used under the same conditions,
- in the same laboratory,

at relatively short intervals of time [$\approx$ VIM, 3.6].

² Under preparation. Stage at the time of publication: ADTS.

Note 1 to entry: The concept of "measurement procedure" is defined in VIM, 2.5.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-06]

3.5

Gate No. 1

a pass / fail comparison between the performance of a module and its nameplate specifications, as described in IEC 61215-1:2021

3.6

Gate No. 2

a pass / fail comparison between the performance of a module before versus after stress, as described in IEC 61215-1:2021

4 Test procedures

The subclauses below provide detailed instructions for performing each module quality test (MQT). Reporting and test sequence requirements for qualification are described in IEC 61215-1.

4.1 Visual inspection (MQT 01)

4.1.1 Purpose

To detect any visual defects in the module.

4.1.2 Procedure

Carefully inspect each module under an illumination of not less than 1 000 lux for conditions and observations as defined in IEC 61215-1:2021.

Make note of and/or photograph any defects that may be major visual defects as defined in IEC 61215-1. Also make note of and/or photograph the nature and position of any cracks, bubbles or delaminations, etc., which may worsen and adversely affect the module performance in subsequent tests. Record any other relevant information regarding origin of failure and associated test or lab conditions.

4.1.3 Requirements

No evidence of major visual defects permitted, as defined in IEC 61215-1:2021.

4.2 Maximum power determination (MQT 02)

4.2.1 Purpose

To determine the maximum power of the module after stabilization as well as before and after the various environmental stress tests.

4.2.2 Apparatus

- a) Apparatus for measuring I - V characteristics in accordance with IEC 60904-1.
- b) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2.

- c) At least one of the following two options to reduce the spectral mismatch component of uncertainty shall be utilized:
- Perform a spectral mismatch correction. The spectral responsivity of the module shall be measured according to IEC 60904-8. The spectral response data may originate from the same lab that is performing IEC 61215-2:2021, or from a different lab. The sample used to obtain the spectral response data may be the test module or may be a reference cell made with the same bill of materials as the test module. The spectral distribution of the solar simulator shall then be utilized to correct for spectral mismatch according to IEC 60904-7.
 - Use a matched reference cell or module. The reference device shall be of the same cell technology as the test module, to match spectral responsivity. There is no requirement on the cell or module size.
- d) A radiant source: natural sunlight or a solar simulator of class CAA or better in accordance with IEC 60904-9. For very large modules, as defined in IEC 61215-1:2021, a class CBA simulator may be used.

NOTE 1 Class CBA is defined according to IEC 60904-9: The AM1.5 spectral match is categorized as C, non-uniformity of irradiance for the module size categorized as B, and temporal stability of irradiance categorized as A.

To achieve a high accuracy of power measurement, the spectral irradiance distribution of the solar simulator should cover the whole wavelength range that is spanned by the spectral responsivity of the PV device under test. See IEC TR 60904-14 and IEC 60904-9:2020.

- e) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.

NOTE 2 MQT 02 measurement procedures are intended for minimal uncertainty, for example as performed by an accredited testing laboratory. Lesser requirements, such as use of CAB class simulators, may be appropriate for other applications, such as quality control in the factory. Applications that only require repeatability, such as comparing module performance before and after an extended stress, may wish to relax spectral mismatch correction requirements.

4.2.3 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 20 °C and 50 °C and an irradiance between 700 W/m² and 1 100 W/m²) using the apparatus described in 4.2.2. 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 (as defined in IEC 60904-10) temperature and irradiance corrections can be made in accordance with IEC 60891 in order to compare sets of measurements made on the same module before and after environmental tests. For nonlinear modules (as defined in IEC 60904-10) the measurement shall be performed within ±5 % of the specified irradiance and within ±2 °C of the specified temperature. However, every effort should be made to ensure 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.

For flexible modules, the maximum power determination shall be measured with the flexible module in the flat position.

4.3 Insulation test (MQT 03)

4.3.1 Purpose

To determine whether or not the module is sufficiently well insulated between live parts and accessible parts.

4.3.2 Apparatus

- DC voltage source, with current limitation, capable of applying the voltage as specified in the third column of Table 1 for the various module classes.
- An instrument to measure the insulation resistance.

4.3.3 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 %.

The voltage stress levels applied to the module are determined by the module's maximum system voltage (V_{sys}), the module class, and whether or not cemented joints are present. The definitions of module classes are taken from IEC 61140, and are discussed as related to PV modules in IEC 61730-1:2016, Clause 4. The definition of cemented joints is given in IEC 61730-1:2016, 3.4.2, and is further discussed in IEC 61730-1:2016, Clauses B.5 and B.9. The voltage stress levels applied in this test are the same as those applied for IEC 61730-2 MST 16.

4.3.4 Procedure

- Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of a DC insulation tester with a current limitation.
- 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. Connect all foil covered parts to the negative terminal of the tester.
- Some module technologies may be sensitive to static polarization if the module is maintained at positive voltage to the frame. In this case, the connection of the tester shall be done in the opposite way. If applicable, information with respect to sensitivity to static polarization shall be provided by the manufacturer and documented in the test report.
- Read the "one-minute preconditioning" voltage, V_{Test1} from the third column of Table 1. Increase the voltage applied by the tester at a rate not exceeding 500 V/s to a maximum equal to V_{Test1} . Maintain the voltage at this level for 1 min.
- Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up in the module.
- Remove the short-circuit.
- Read the "two-minute stress" voltage, V_{Test2} from the fourth column of Table 1. Increase the voltage applied by the test equipment at a rate not exceeding 500 V/s to V_{Test2} . Maintain the voltage at this level for 2 min. Then determine the insulation resistance.
- Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up in the module.
- Remove the short-circuit and disconnect the test equipment from the module.

Table 1 – Voltage stress levels

Module class	Are cemented joints present?	1 min preconditioning V_{Test1}	2 min stress for measuring insulation resistance, V_{Test2}
		V	V
0	No	$1\,000 + 2 \times V_{sys}$	Greater of 500 or V_{sys}
II	No	$2\,000 + 4 \times V_{sys}$	Greater of 500 or V_{sys}
III	No	500	500
0	Yes	$1,35 \times (1\,000 + 2 \times V_{sys})$	Greater of 500 or V_{sys}
II	Yes	$1,35 \times (2\,000 + 4 \times V_{sys})$	Greater of 500 or V_{sys}
III	Yes	$1,35 \times (500)$	500

4.3.5 Test requirements

- a) No dielectric breakdown or surface tracking.
- b) For modules with an area of less than $0,1 \text{ m}^2$ the insulation resistance shall not be less than $400 \text{ M}\Omega$.
- c) 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 $40 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$.

4.4 Measurement of temperature coefficients (MQT 04)

Determine the temperature coefficients of current (α), voltage (β) and peak power (δ) from module measurements as specified in IEC 60891. The coefficients so determined are valid at the irradiance at which the measurements were made. See IEC 60904-10 for evaluation of module temperature coefficients at different irradiance levels. For bifacial modules determine the temperature coefficients utilizing the same procedure, but insuring no backside irradiation. The backside shall be covered such that the contribution from the non-exposed side of the module is limited to or below the levels specified for "non-irradiated background" in IEC TS 60904-1-2. If open-circuit voltage or short-circuit current cannot be measured due to module-integrated electronics, the associated temperature coefficient shall be reported as "not measurable due to module-integrated electronics." Open-circuit voltage or short-circuit current shall not be determined by any method other than direct measurement, such as extrapolation.

NOTE For linear modules in accordance to IEC 60904-10, temperature coefficients are valid over an irradiance range of $\pm 30 \%$ of this level.

4.5 Placeholder section, formerly NMOT

The nominal module operating temperature (NMOT) test, formerly MQT 05, is no longer a part of this document. This subclause is preserved so that, in the following subclauses of the document, the MQT numbers match the subclause numbers.

4.6 Performance at STC (MQT 06.1)

4.6.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at STC ($1\,000 \text{ W/m}^2$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ cell temperature, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution). MQT 06.1 is a case of maximum power determination (MQT 02) performed at STC. MQT 06.1 is used to verify the name plate information of the module, and for determining power loss from the stress tests. Uncertainty, m_1 , shall include a component from spectral mismatch, based either on measured spectral response or the worst-case possibility for a given technology type, and the method used to set the simulator intensity. For nameplate verification, the uncertainty m_1 is subject to the limits specified in the technology-specific parts. For determining the power loss from the stress tests, reproducibility of the test, r , is subject to the limits specified in the technology-specific parts.

4.6.2 Apparatus

- a) The apparatus shall be as described in 4.2.2 (MQT 02).
- b) It shall also be equipped with a means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- c) For measurement of bifacial modules the following capability is also necessary: The radiant source utilized as specified in 4.6.2a shall be operable with adjustable irradiance levels and/or rear-side irradiance such that BNPI (as defined in IEC 61215-1:2021) can be applied by at least one method allowed by IEC TS 60904-1-2.
- d) For measurement of multi-junction modules, the simulator and reference device shall meet the additional requirements imposed by IEC 60904-1-1.

4.6.3 Procedure for measuring at STC (MQT 06.1)

Maintain the module at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using the apparatus described in 4.6.2.

Module temperature shall be corrected to $25 ^\circ\text{C}$ using temperature coefficients and IEC 60904 series and IEC 60891.

For bifacial modules, measurements shall proceed as specified in IEC TS 60904-1-2. MQT 06 shall be performed at STC and at elevated irradiance BNPI for Gate No 1. Each time MQT 06 is performed at STC, the STC bifaciality coefficients of short-circuit current ($\phi_{I_{sc}} = I_{scr} / I_{scf}$), of open circuit voltage ($\phi_{V_{oc}} = V_{ocr} / V_{ocf}$), and of power ($\phi_{P_{max}} = P_{maxr} / P_{maxf}$) shall be measured according to IEC TS 60904-1-2. Full definition of these quantities, the method to measure them, and the symbols used to describe them are specified in IEC TS 60904-1-2. When evaluating Gate No 2 (i.e. post-stress), MQT 06 shall only be performed at BNPI. Post-stress, bifaciality coefficients need not be remeasured, unless specifically noted in the MQT stress test procedure. The bifaciality coefficients measured pre-stress may be utilized to calculate the appropriate equivalent intensity in a single-sided illumination measurement. When performing MQT 06 at BNPI, any method described in IEC 60891 may be used to correct the applied irradiance to desired equivalent front-side irradiance, as long requirements on maximum uncertainty m_1 are met.

NOTE 1 Using methods from IEC 60891 to correct the applied irradiance to desired equivalent front-side irradiance can help the tester avoid using a different simulator calibration for every module with a slightly different bifaciality coefficient.

NOTE 2 Measurement of performance at BSI is not required. Where stress levels are set according to BSI, currents may be extrapolated from lower intensities, as described specifically in the MQTs utilizing BSI for bifacial modules.

For flexible modules, the maximum power determination shall be measured with the flexible module in the flat (i.e. completely unfolded) position. For very large modules (as defined in IEC 61215-1:2021), testing by the testing entity may be performed at the manufacturer's facility, but shall still meet the requirements stated in 4.6.2.

For multi-junction modules, measurements shall proceed as specified in IEC TS 60904-1-1.

4.7 Performance at low irradiance (MQT 07)

4.7.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at $25 ^\circ\text{C}$ and an irradiance of 200 W/m^2 .

4.7.2 Apparatus

a) The apparatus shall be as described in 4.2.2 (MQT 02).

The apparatus shall also have the following capabilities:

- 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 means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of $\pm 1 ^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$.
- d) For measurement of bifacial modules the following equipment is also necessary: Baffles that can be arranged around the modules edges, as well as a non-reflective cover allowing for temporarily blocking the irradiance to the opposite module side, to evaluate the front- and back-side performance of bifacial modules individually.
- e) For measurement of multi-junction modules, the simulator and reference device shall meet the additional requirements imposed by IEC 60904-1-1.

4.7.3 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and an irradiance of $(200 \pm 20) \text{ W/m}^2$ controlled by an appropriate reference device, in accordance with IEC 60904-1 using the apparatus specified in section 4.7.2. The irradiance shall be reduced to the specified level by using neutral density 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.)

Module temperature shall be corrected to $25 ^\circ\text{C}$ using temperature coefficients and IEC 60904 series and IEC 60891.

For flexible modules, the maximum power determination shall be measured with the flexible module in the flat (i.e. completely unfolded) position. For very large modules (as defined in IEC 61215-1:2021), testing by the testing entity may be performed at the manufacturer's facility, but shall still meet the requirements stated in 4.7.2.

For bifacial modules make two single-sided measurements at 200 W/m^2 , one on the front-side and one on the rear-side using baffles and back-cover screen. Calculate the bifaciality coefficients at low irradiance according to the procedure specified in IEC TS 60904-1-2, except utilizing an irradiance of 200 W/m^2 instead of 1000 W/m^2 .

For multi-junction modules, measurements shall proceed as specified in IEC TS 60904-1-1.

4.8 Outdoor exposure test (MQT 08)

4.8.1 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.

4.8.2 Apparatus

- An open rack to support the test module(s) and solar irradiation monitor in the specified manner. 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.
In the case of modules not designed for open-rack mounting, the test module(s) shall be mounted as recommended by the manufacturer.
- A solar irradiation monitor accurate to $\pm 5 \%$, mounted in the plane of the module(s) within 0,3 m of the test array.
- Means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor.
- A resistive load sized such that the module will operate near its maximum power point or an electronic maximum power point tracker (MPPT).

4.8.3 Procedure

- The test module(s) shall be positioned so that it (they) are normal to the local latitude $\pm 5^\circ$. Note the angle of tilt of the test module in the test report.
- Attach the resistive load or electronic maximum power point tracker 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.
- Subject the module to an irradiation totalling at least 60 kWh/m^2 , as measured by the monitor.

The test modules may be cleaned according to manufacturer instructions during or after the test.

4.8.4 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.8.5 Requirements

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- d) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.9 Hot-spot endurance test (MQT 09)

4.9.1 Purpose

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

4.9.2 Hot-spot effect

Reverse bias 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 group of cells. When such a condition occurs, the affected cell or group of cells is forced into reverse bias and shall dissipate power, which can cause overheating.

If the power dissipation is high enough or localized enough, the reverse biased cell(s) can overheat resulting in – depending on the technology – melting of solder, deterioration of the encapsulant, front and/or backsheet, cracking of the superstrate, substrate and/or cover glass. The correct use of bypass diodes can prevent hot spot damage from occurring.

The reverse characteristics of solar cells can vary considerably. Cells can have either high shunt resistance where the reverse performance is voltage-limited or have low shunt resistance where the reverse performance is current-limited. Each of these types of cells can suffer hot spot problems, but in different ways.

Low shunt resistance cells:

- The worst case shadowing conditions occur when the whole cell (or a large fraction) is shadowed.
- Often low shunt resistance cells are this way because of localized shunts. In this case hot spot heating occurs because a large amount of current flows in a small area. Because this is a localized phenomenon, there is a great deal of scatter in performance of this type of cell. Cells with the lowest shunt resistance have a high likelihood of operating at excessively high temperatures when reverse biased.
- Because the heating is localized, hot spot failures of low shunt resistance cells occur quickly.

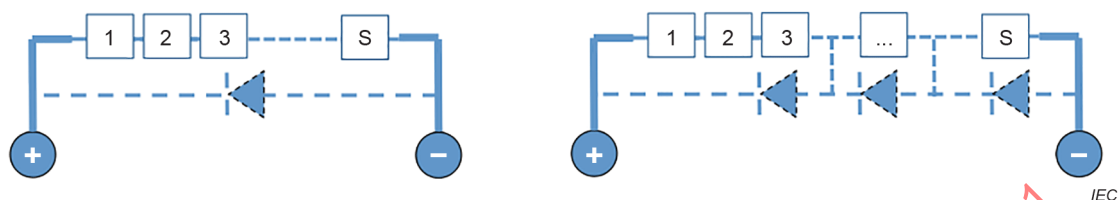
The major technical issue is how to identify the lowest shunt resistance cells and subsequently how to determine the worst case shadowing for those cells. This process is technology dependent and will be addressed in the technology specific parts of this standards series.

High shunt resistance cells:

- The worst case shadowing conditions occur when the cell is partially shadowed.
- Junction breakdown and high temperatures occur more slowly. The shadowing needs to stay in place for some time to create worst case hot-spot heating.

4.9.3 Classification of cell interconnection

Case S: Series connection of all cells in a single string. Refer to Figure 1. Modules with series-connected cells may be protected by a single (Figure 1, left) or multiple (Figure 1, right) bypass diodes.



For the example a module protected by one bypass diode (left) or three bypass diodes (right).

Figure 1 – Case S, series connection with optional bypass diode

Case PS: Parallel-series connection, i.e. a series connection of (S) blocks, where each block consists of a parallel connection of a certain number (P) of cells. Refer to Figure 2.

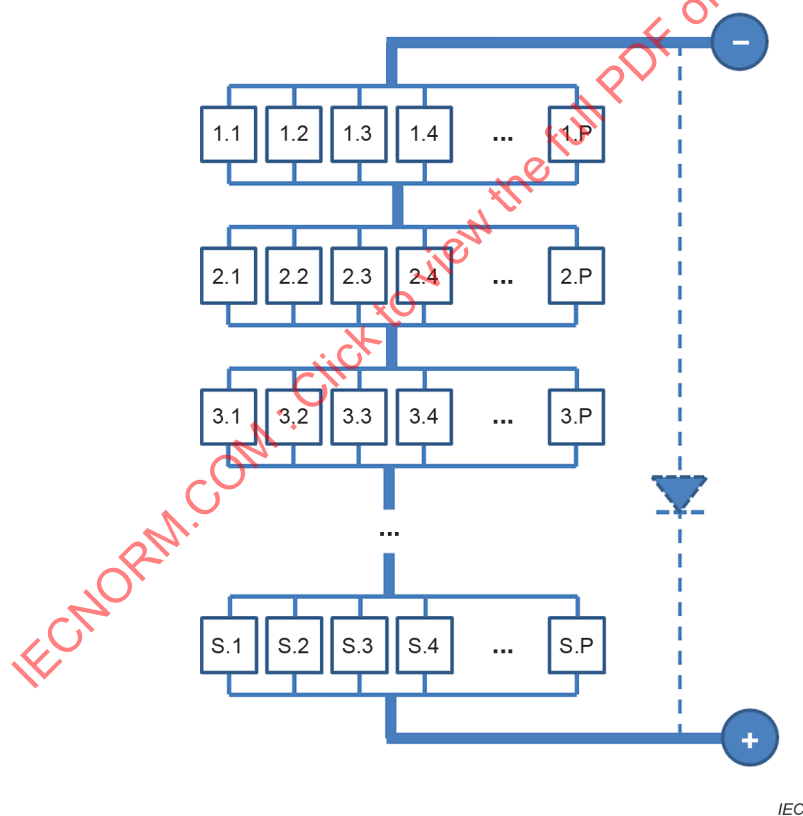


Figure 2 – Case PS, parallel-series connection with optional bypass diode

Case SP: Series-parallel connection, i.e. a parallel connection of (P) blocks, where each block consists of a series connection of a certain number of (S) cells. Refer to Figure 3.

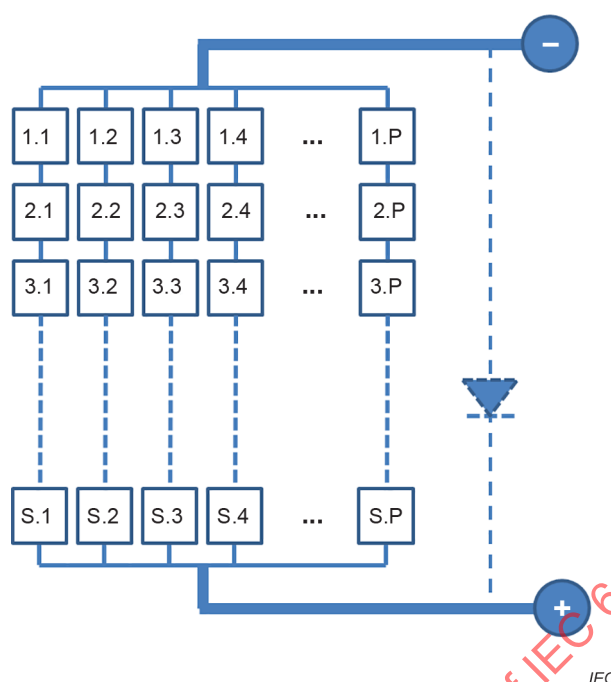


Figure 3 – Case SP, series-parallel connection with optional bypass diode

Each configuration requires a particular hot-spot testing procedure.

4.9.4 Apparatus

- Radiant source: Natural sunlight, or a class BBB (or better) steady-state solar simulator conforming to IEC 60904-9. Either type of radiant source shall have an irradiance of $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$. This radiant source will be used for applying long-duration stress when worst case shadowing has been applied to the module. This radiant source may be used in the selection of cells for shadowing, or the optional pulsed simulator (described in 4.9.4g) may be used for cell selection.

For bifacial modules, the radiant source used for prolonged exposure shall be operable with adjustable irradiance levels and/or rear-side irradiance such that BSI (as defined in IEC 61215-1:2021) can be applied by at least one method allowed by IEC TS 60904-1-2. Tolerance in the total irradiance, whether applied in a single-sided or double-sided configuration, shall be no larger than $\pm 50 \text{ W/m}^2$.

- Module I - V curve tracer.
- Equipment for current measurement.
- Completely opaque covers for test cells shadowing.
- An IR camera to measure and record module temperatures. The camera shall be operable in a manner that allows resolution of features smaller than one cell.
- Equipment to record irradiance levels, integrated irradiance and ambient temperature.

Optional:

- For selecting cells most sensitive to hot spot heating, a pulsed simulator of class BBB or better conforming to IEC 60904-9 with an irradiance of 800 W/m^2 to $1\,100 \text{ W/m}^2$ for measuring I - V performance may be used.

4.9.5 Procedure

4.9.5.1 General

Depending on the solar cell technology and the manufacturing process two different procedures exist. MQT 09.1 is typically applicable to wafer-based technologies like standard crystalline silicon. For most common, monolithically integrated, thin film technologies (CdTe, CIGS, a-Si) the procedure MQT 09.2 is applicable. Bifacial modules are also to be tested using MQT 09.1.

If MQT 09.1 is performed using a representative sample, the representative sample shall have the same number of cells per bypass diode as the full-size product. Depending on the resulting sample size, this requirement can affect the choice of radiant source needed to perform the test.

For all technologies, selection of the shadowing dimensions and location is performed in the irradiance range of 800 W/m² to 1 100 W/m². Application of the extended stress is performed with the tighter irradiance specifications described in 4.9.4 a).

4.9.5.2 Procedure for wafer-based technologies (WBT) MQT 09.1

The first step of the procedure is to select cells with the lowest and highest shunt resistances, (as detailed further in steps c), d) and e) below.) If the module circuit is accessible the current flow through the shadowed cell can be monitored directly. If the PV modules to be tested do not have removable diodes or accessible electric circuits, the following non-intrusive method can be utilized.

The selected approach is based on taking a set of I - V curves for a module with each cell shadowed in turn. Figure 4 shows the resultant set of I - V curves for a sample module. The curve with the highest leakage current at the point where the diode turns on was taken when the cell with the lowest shunt resistance was shadowed. The curve with the lowest leakage current at the point where the diode turns on was taken when the cell with the highest shunt resistance was shadowed.

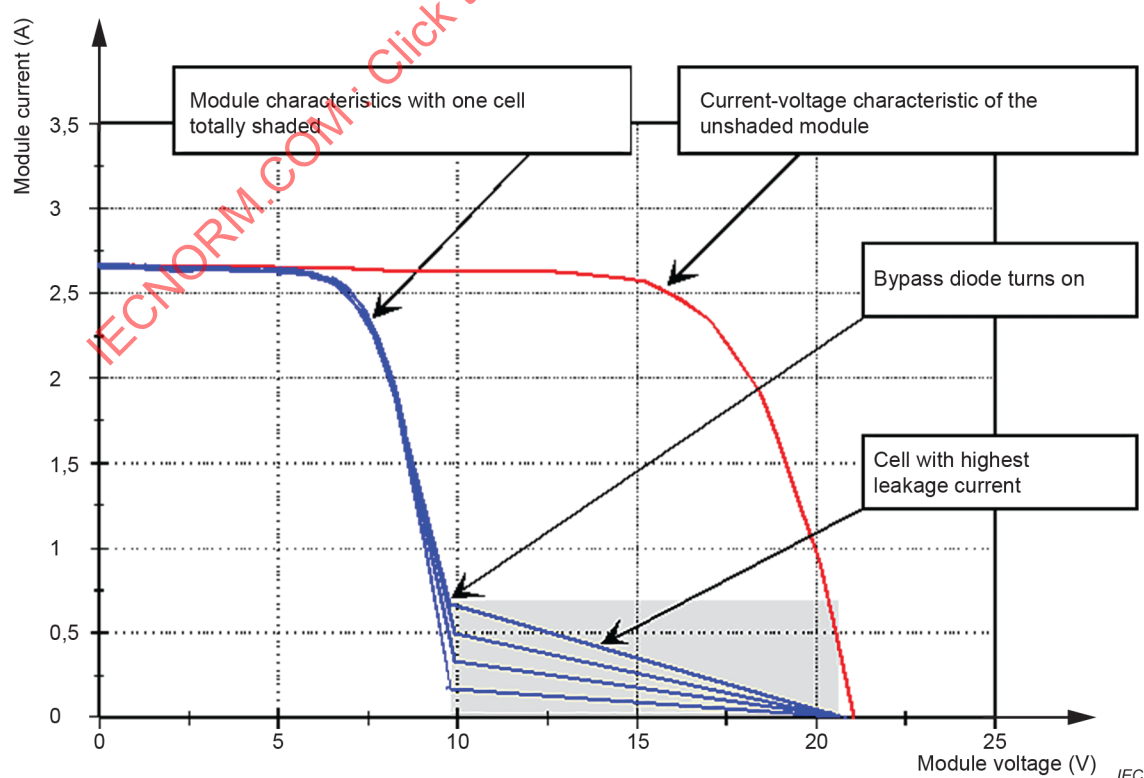


Figure 4 – Module I - V characteristics with different cells totally shadowed

Use the following procedure to identify hot spot sensitive cells:

- a) Expose the unshadowed module to the radiant source with irradiance between 800 W/m² and 1 100 W/m² using one of the following:
 - A pulsed solar simulator where the module temperature will be close to room temperature (25 ± 5) °C.
 - A steady-state solar simulator where the module temperature shall be stabilised within ±5 °C before beginning the measurements.
 - Sunlight where the module temperature shall be stabilised within ±5 °C before beginning the measurements.

For bifacial modules, exposure for cell selection is to the module front, with the module back side covered to sufficiently limit the contribution from the non-exposed side of the module to or below the levels specified for "non-irradiated background" in IEC TS 60904-1-2.

- b) Shadow each cell completely in turn, measure the resultant I - V curve and prepare a set of curves like Figure 4. For bifacial modules, if double-side illumination is utilized, both the front and the back of the cell shall be shadowed entirely. If single-side illumination is utilized, the rear shadowing is accomplished by the requirement of non-irradiated background defined in IEC TS 60904-1-2.

NOTE For the SP case the deformation of the module I - V curve is added to the sectional I - V curve of the fully illuminated parallel sub-section and so does not continue to V_{oc} .

- c) Select the cell adjacent to the edge of the module that has the lowest shunt resistance, i.e. the one with the highest leakage current.
- d) Select the two lowest shunt resistance cells (in addition to the cell in c), those with the highest leakage current.
- e) Select the cell with the highest shunt resistance.
- f) For bifacial modules, if some cells are permanently shadowed by design (e.g. junction box or back rails), those cells shall also be selected for hot-spot testing.
- g) Begin cell testing procedure by determining the worst case shadowing condition for each of the selected cells:
 - 1) Expose the unshadowed module to a single-sided irradiance in the range of 800 W/m² to 1 100 W/m². The exposure shall meet the requirements described in 4.9.5.2 a).
 - 2) After thermal stabilisation of ±5 °C is attained, measure the module I - V characteristic and determine the maximum power current I_{MP1} (initial performance P_{MP1}).
 - 3) Expose the module to irradiance meeting the requirements of 4.9.5.2 a). Then use one of the methods in step 4) below to determine the worst case shadowing for each selected cell.
 - 4) Determine the worst-case shadowing for each of the selected test cells use one of the methods i) to iii) below.
 - i) If the cell circuit is accessible, short-circuit the module and attach the current measuring equipment such that it is reading only the current through the cell string under test. For each selected test cell, shadow that cells and determine what shadow level results in the current through the shadowed cell being equal to the unshadowed I_{MP1} determined in step g)2). This is the worst case shadowing for that cell.
 - ii) If the cell circuit is not accessible, the first option for determining worst case shadowing involves taking I - V curves. Take a set of I - V curves with each of the selected test cells shadowed at different levels as shown in Figure 5. Determine the worst case shadowing condition, which occurs when the current through the shadowed cell (the point where the by-pass diode turns on) coincides with the original unshadowed I_{MP1} determined in a), like curve c) in Figure 5, at the same irradiance level as used in a). If the bypass diode does not turn on when the selected cell is fully shadowed, the worst case hot-spot condition is achieved by completely shadowing the cell.

- iii) If the cell circuit is not accessible, the second option for determining worst case shadowing involves temperature measurements. Short-circuit the module. Shadow each of the selected test cells in turn at 100 % and measure the cell temperature. Decrease the shadowing by 10 %. If the temperature decreases, then 100 % shadowing produces the worst case. If the temperature increases or stays the same, continue to decrease the shadowing by 10 % until the temperature does decrease. Use the previous shadowing level as worst case shadowing.
- 5) For the cell selected in c), (i.e. the edge cell with the lowest shunt resistance), the positioning of the mask applied during prolonged exposure shall be further specified. Short-circuit the module. Use an IR camera to determine the hottest spot on the cell when it is 100 % shadowed. If possible make sure that this hottest spot is within the illuminated area during the prolonged exposure of step i).
- h) Shadow one selected cell that was identified in steps c) through f) to the worst case condition as determined in g). If double-side illumination will be used in step i) for a bifacial module, the cell shall be masked identically on the rear side.
- i) Short-circuit the module. Expose the module to steady state irradiance. For monofacial modules, the irradiance shall be $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$. For bifacial modules, the irradiance shall be $\text{BSI} \pm 50 \text{ W/m}^2$. This test shall be performed at a module temperature in the range of $(55 \pm 15) ^\circ\text{C}$.
- j) Maintain the worst case shadowing condition determined in g) for 1 h for the selected cell. If the temperature of the shadowed cell is still increasing at the end of 1 h continue for a total exposure time of 5 h.
- k) Repeat steps h) through j) for each cell selected in steps c) through f).

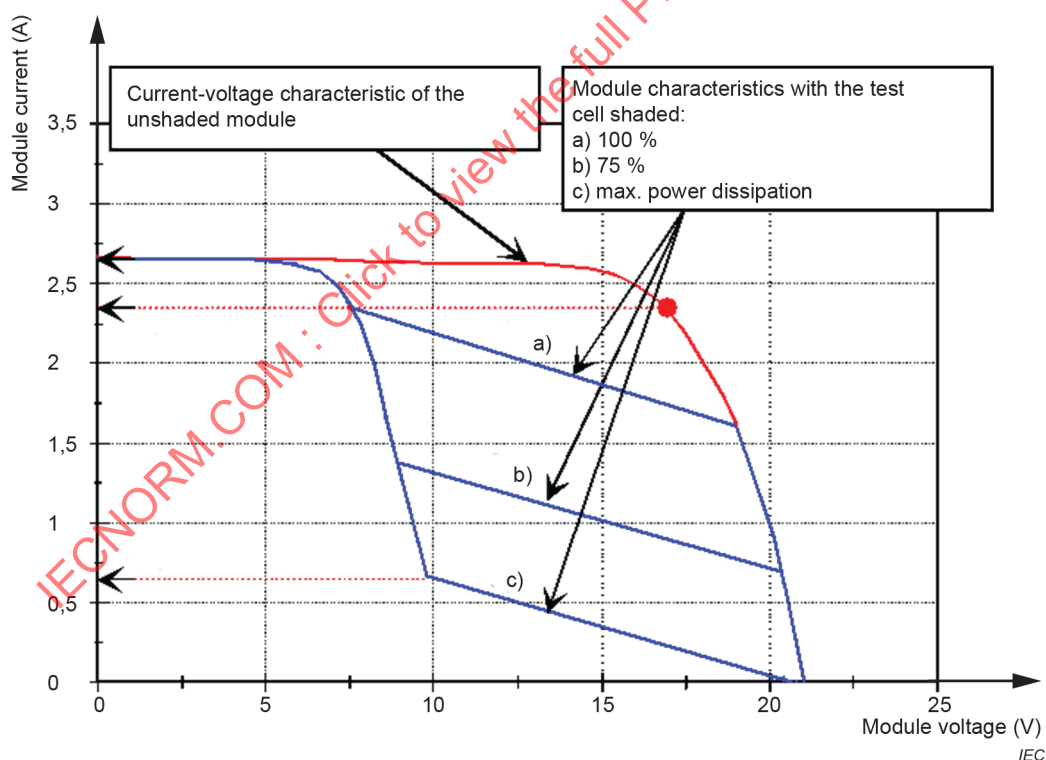


Figure 5 – Module I - V characteristics with the test cell shadowed at different levels

4.9.5.3 Procedure for monolithically integrated (MLI) thin film technologies MQT 09.2

4.9.5.3.1 General

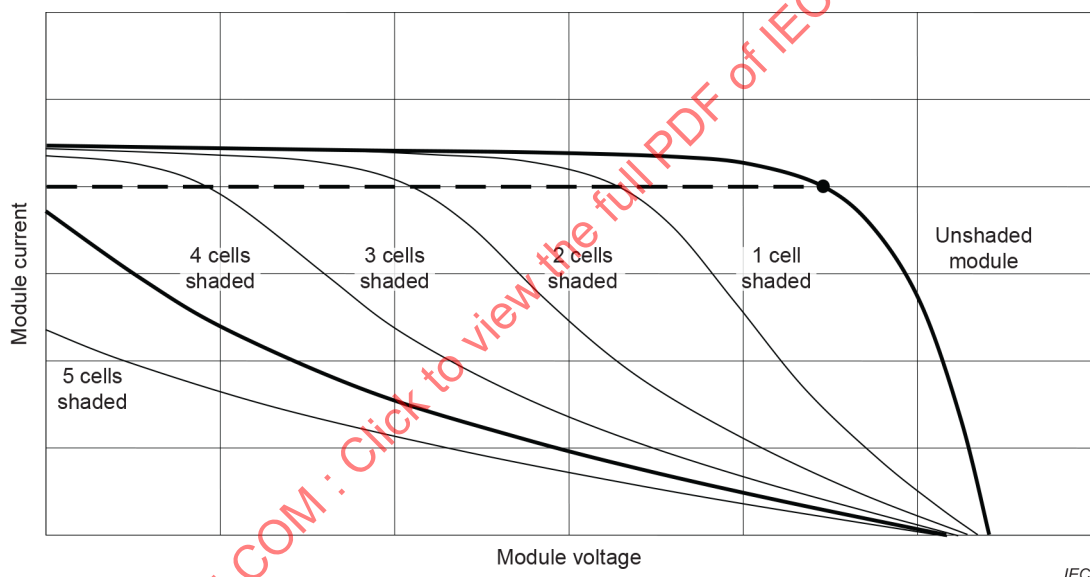
The hot-spot test is performed with the module exposed to $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ during the extended exposure.

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

The electrical performance of a MLI thin-film module can already be negatively affected by short-term shadowing. Care shall be taken that effects caused by setting worst-case conditions and hot-spot endurance testing are clearly separated. The values of $P_{\max1}$ (before any shadowing has been applied), $P_{\max2}$ (after worst case conditions have been identified via shadowing) and $P_{\max3}$ (after extended stress has been applied) are collected for this purpose.

4.9.5.3.2 Case S

Figure 6 illustrates the hot-spot effect in a MLI thin-film module consisting of a serial connection of cells, when a different number of cells are totally shadowed. The amount of power dissipated in the shadowed cells is equal to the product of the module current and the reverse voltage developed across the group of shadowed cells. For any irradiance level, maximum power is dissipated when the reverse voltage across the shadowed cells is equal to the voltage generated by the remaining illuminated cells in the module (worst case shadowing condition). This is the case when the short-circuit current of the shadowed module equals the maximum power current of the unshadowed module.



NOTE In this example, the worst case shadowing condition is shadowing of 4 cells at the same time.

Figure 6 – Hot-spot effect in a MLI thin-film module with serially connected cells

The following method shall be used to select the cell(s) to be shadowed and to determine the worst case shadowing condition for module connected in series-only (case S).

- Expose the un-shadowed module to a radiant source providing a total irradiance of 800 W/m² to 1 100 W/m² at the module surface, using one of the following:
 - A pulsed simulator where the module temperature will be close to room temperature (25 ± 5) °C.
 - A steady-state simulator where the module temperature shall be stabilised within ±5 °C before beginning the measurements.
 - Sunlight where the module temperature shall be stabilised within ±5 °C before beginning the measurements.
- After thermal stabilisation is attained, measure the module I - V characteristic and determine the maximum power current I_{MP1} and maximum power $P_{\max1}$. Determine the maximum

power current range ($I_{\min} < I < I_{\max}$) where $I_{\max}$ is the maximum power current of the unshadowed module, and $I_{\min}$ is $0,95 I_{\max}$. This current range is named $I(^*)$.

- c) Measure the short-circuit current at each position described in the next step.
 - d) Starting from one edge of the module, use an opaque cover to shadow one cell completely. Move the cover parallel to the cells and increase the shadowed module area (number of shadowed cells) until the short-circuit current falls within the current range of the non-shadowed module. In these conditions, the maximum power is dissipated within the selected group of cells (see Figure 6). The maximum step size between short-circuit current measurements is one cell width. The minimum mask width is two cell widths. If shadowing less than two cells is required to obtain a current within the specified range, then the mask width shall be fixed at the minimum. If shadowing some number of "n" cells results in a current that is too high, and if shadowing n+1 cells causes a current that is too low, then the narrower mask width (n cells) shall be chosen.
 - e) Move an opaque cover (of the dimensions found in d) above) slowly across the module and measure the short-circuit current at each position. The maximum step size between short-circuit current measurements is the mask width. (Thus, each cell in the module shall be shadowed at some point during this step.) If at a certain position the short-circuit current falls below the specified current range $I(^*)$, reduce the size of the cover in increments of one cell width until the current is within the desired range again. If at any point during this process, the mask width is reduced to its minimum value of two cell widths, its size shall not be reduced further, and the process of moving the mask across the module is complete. If shadowing some number of "n" cells results in a current that is too high, and if shadowing n+1 cells causes a current that is too low, then the narrower mask width (n cells) shall be chosen. During this process, the irradiance shall not change by more than $\pm 2 \%$. The mask is not to be made larger at any point, i.e. if, during step g), the short-circuit current exceeds the higher limit of $I(^*)$, the mask width shall be kept the same.
 - f) The final width of the cover, together with the position that exhibited the lowest current of each area subjected to the final mask width, determines the minimum area of shadowing that results in the worst case shadowing condition. This is the shadowed area to be used for hot-spot testing.
 - g) Remove the cover and visually inspect the module.
- NOTE Reverse bias operation of the cells in steps d) and e) 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.
- h) Re-measure the module I - V characteristic and determine maximum power $P_{\max 2}$.
 - i) Place the cover on the module. Put the cover on the position determined during steps e) and f).
 - j) Short-circuit the module, including a means to monitor the module current, such as an ammeter.
 - k) Expose the module to the steady-state radiant source providing a total irradiance of $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ at the module surface, using one of the following:
 - A steady-state simulator where the module temperature shall be stabilised within $\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ before beginning the measurements.
 - Sunlight where the module temperature shall be stabilised within $\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ before beginning the measurements.
 - l) This test shall be performed at a module temperature in the range $(55 \pm 15) \text{ }^{\circ}\text{C}$. Note the value of I_{sc} and keep the module current above the lower limit for $I(^*)$. If I_{sc} falls below the lower limit for $I(^*)$, decrease the mask width in increments of one cell width until I_{sc} once again exceeds the lower limit for $I(^*)$. If the current falls below the desired range but the mask is already the minimum width, no adjustment shall be made.
 - m) Maintain these conditions for a total exposure time of 1 h.
 - n) At the end of the endurance test, determine the hottest area on the shadowed cells using an IR camera or appropriate temperature detector.

4.9.5.3.3 Case SP

Figure 3 illustrates a series-parallel connection, i.e. a parallel connection of P strings each with S cells in series.

If a module is of the series-parallel type (case SP), the following method shall be used to select the cell(s) to be shadowed and to determine the worst case shadowing condition.

- a) Expose the un-shadowed module to a radiant source providing a total irradiance of 800 W/m² to 1 100 W/m² at the module surface, using one of the following:
 - A pulsed simulator where the module temperature will be close to room temperature (25 ± 5) °C.
 - A steady-state simulator where the module temperature shall be stabilised within ± 5 °C before beginning the measurements.
 - Sunlight where the module temperature shall be stabilised within ± 5 °C before beginning the measurements.

- b) After thermal stabilisation is attained, measure the module I - V characteristic and determine the maximum power current I_{MP1} and maximum power P_{max1} . Determine the maximum power current range ($I_{min} < I < I_{max}$) where I_{max} is the maximum power current of the unshadowed module, and I_{min} is $0,95 I_{max}$.

- c) Then calculate the acceptable maximum power current range to be applied $I(*)$ according to the following formula.

$$I_{min} / N + I_{sc} \cdot (N - 1) / N < I(*) < I_{max} / N + I_{sc} \cdot (N - 1) / N$$

where N is the number of parallel strings of the module.

- d) Select the substring to be measured. The following criteria are used to select the substring that is likely to experience hotter temperatures during extended stress. If some of the junction box is behind a power-generating area of the module, choose the substring that is in front of the largest fraction of the junction box area. If the junction box area is equally-divided between two substrings, or the module contains two junction boxes on two different sub-strings, choose either substring that is in front of half the junction box area. If the junction box is not located behind a power-generating portion of the module (e.g. the junction box is located in an edge-delete area) select the substring that is in front of the largest fraction of the module label. If no portion of the junction box or label is located behind a power-generating area of the module, choose the substring closest to the geometric centre of the module.
- e) Measure the short-circuit current at each position described in the next step.
- f) Starting from one edge of the module, use an opaque cover to shadow one cell of a selected substring completely. Move the cover parallel to the cells and increase the shadowed substring module area (number of shadowed cells) until the short-circuit current falls within the current range $I(*)$. In these conditions, the maximum power is dissipated within the selected group of cells (see Figure 6). The maximum step size between short-circuit current measurements is one cell width. The minimum mask width is two cell widths. If shadowing less than two cells is required to obtain a current within the specified range, then the mask width shall be fixed at the minimum. If shadowing some number of " n " cells results in a current that is too high, and if shadowing $n+1$ cells causes a current that is too low, then the narrower mask width (n cells) shall be chosen.
- g) Move an opaque cover (of the dimensions found in f) above) slowly across the module and measure the short-circuit current at each position. The maximum step size between short-circuit current measurements is the mask width. (Thus, each cell in the module shall be shadowed at some point during this step.) If, at a certain position, the short-circuit current falls below the specified current range $I(*)$, reduce the size of the cover in small increments until the current is within the desired range again. If at any point during this process, the mask width is reduced to its minimum value of two cell widths, its size shall not be reduced further, and the process of moving the mask across the module is complete. If shadowing some number of " n " cells results in a current that is too high, and if shadowing $n+1$ cells causes a current that is too low, then the narrower mask width (n cells) shall be chosen.

During this process, the irradiance shall not change by more than $\pm 2\%$. The mask is not to be made larger at any point, i.e. if, during step g), the short-circuit current exceeds the higher limit of $I(^*)$, the mask width shall be kept the same.

- h) The final width of the cover, together with the position within the substrate that exhibited the lowest current of each area subjected to the final mask width, determine the minimum area of shadowing that results in the worst case shadowing condition. This is the shadowed area to be used for hot-spot testing.
- i) Remove the cover and visually inspect the module.

NOTE Reverse bias operation of the cells in step f) and g) 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.

- j) Re-measure the module I - V characteristic and determine maximum power $P_{\max 2}$.
- k) Place the cover on the module. Put the cover on the position determined during steps g) and h).
- l) Short-circuit the module, including a means to monitor the module current, such as an ammeter.
- m) Expose the module to the steady-state radiant source providing a total irradiance of $(1\,000 \pm 100)$ W/m² at the module surface. This can be done using:
 - A steady-state simulator where the module temperature shall be stabilised within $\pm 5^\circ\text{C}$ before beginning the measurements.
 - Sunlight where the module temperature shall be stabilised within $\pm 5^\circ\text{C}$ before beginning the measurements.

This test shall be performed at a module temperature in the range $(55 \pm 15)^\circ\text{C}$. Note the value of I_{sc} and keep the module current above the lower limit for $I(^*)$. If I_{sc} falls below the lower limit for $I(^*)$, decrease the mask width in increments of one cell width until I_{sc} once again exceeds the lower limit for $I(^*)$. If the current falls below the desired range but the mask is already the minimum width, no adjustment shall be made.

- n) Maintain these conditions for a total exposure time of 1 h.
- o) At the end of the endurance test, determine the hottest area on the shadowed cells using an IR camera or appropriate temperature detector.

4.9.5.3.4 Case PS

If a module of the parallel-series type (case PS) has an inaccessible internal cell circuit but contains no internal bypass diodes nor equivalent means of reverse bias protection, the following method shall be used to select the cell(s) to be shadowed and to determine the worst case shadowing condition.

- a) Expose the un-shadowed module to a total irradiance of 800 W/m^2 to $1\,100\text{ W/m}^2$ at the module surface. This can be done using:
 - A pulsed simulator where the module temperature will be close to room temperature $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$.
 - A steady-state simulator where the module temperature shall be stabilised within $\pm 5^\circ\text{C}$ before beginning the measurements.
 - Sunlight where the module temperature shall be stabilised within $\pm 5^\circ\text{C}$ before beginning the measurements.

When thermal stabilization is attained, measure the module I - V characteristic and determine the maximum power $P_{\max 1}$.

- b) Expose the module to the steady-state radiant source providing a total irradiance $(1\,000 \pm 100)$ W/m² at the module surface. This test shall be performed at a module temperature in the range $(55 \pm 15)^\circ\text{C}$.

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

At the end of the endurance test, determine the hottest area on the shadowed cells using an IR camera or appropriate temperature detector.

4.9.6 Final measurements

Repeat tests MQT 01, MQT 02, MQT 03, and MQT 15.

4.9.7 Requirements

- a) No evidence of major visual defects permitted, as defined in IEC 61215-1:2021, particularly looking for signs of melted solder, openings in the enclosure, delaminations and burn spots. If there is evidence of serious damage that does not qualify as a major visual defect, repeat the test on two additional cells within the same module. If there is no visual damage around either of these two cells the module type passes the hot-spot test.
- b) Verify that the module shows the electrical characteristics of a functional photovoltaic device. MQT 02 is not a pass/fail requirement (Gate No 2) for power loss.
- c) Insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- d) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- e) Any damage resulting from determining the worst case shadowing shall be noted in the test report.

4.10 UV preconditioning test (MQT 10)

4.10.1 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.

NOTE MQT 10 is meant to detect gross susceptibility to UV degradation, as the dose is small compared to typical lifetime expectations for modern modules, and wavelength distribution of the UV source is not tightly specified. Documents applying MQT 10 toward other goals (such as comparative degradation studies) should consider what further requirements are necessary to achieve those goals.

4.10.2 Apparatus

- a) A temperature-controlled test chamber with a window or fixtures for a UV light source and the module(s) under test. The chamber shall be capable of maintaining the module temperature at $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- b) A means for monitoring the temperature of the module to an accuracy of $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$. The temperature sensors shall be attached to the front or back surface of the module near the middle without obstructing any of the UV light incident on the active cells within the module. If more than one module is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one of the test modules.
- c) Instrumentation capable of measuring the irradiance 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 $\pm 15 \%$ or better.
- d) A UV light source capable of producing UV radiation 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 total irradiance in the different spectral regions of interest as defined in 4.10.3.

- e) The module shall either be short-circuited or open-circuited during exposure, as per manufacturer recommendations. The circuitry condition used during this test shall be noted in the test report.

4.10.3 Procedure

- a) 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 W/m^2 (i.e. about five times the natural sunlight level) and that it has a uniformity of $\pm 15 \%$ over the test plane.
- b) According to the recommendations of 4.10.2e), short-circuit or open-circuit the module. Mount it in the test plane at the location selected in a), normal to the UV irradiance beam. Make sure that the module temperature sensors read $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$. For flexible modules, the modules shall be mounted per the manufacturer's documentation with prescribed substrate and adhesive or attachment/mounting means during the test.
- c) Subject the module(s) front side to a total UV irradiation of at least 15 kWh/m^2 in the wavelength range between 280 nm and 400 nm with at least 3 %, but not more than 10 % in the wavelength band between 280 nm and 320 nm, while maintaining the module temperature within the prescribed range.

For bifacial modules repeat the procedure of UV irradiation on the rear-side of the modules.

4.10.4 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.10.5 Requirements

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- b) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.11 Thermal cycling test (MQT 11)

4.11.1 Purpose

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

4.11.2 Apparatus

- a) A climatic chamber with automatic temperature control with means for circulating the air inside and means to minimize condensation on the module during the test, capable of subjecting one or more modules to the thermal cycle in Figure 7.
- b) 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.
- c) Measurement instrumentation having an accuracy of $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$ for measuring and recording the temperature of the module(s).
- d) Means for applying a continuous current. The value of the current is defined in the technology specific parts in this standard.
- e) Means for monitoring the flow of current through each module during the test.
- f) A 5 N weight capable of being attached to the electrical termination leads of the module.

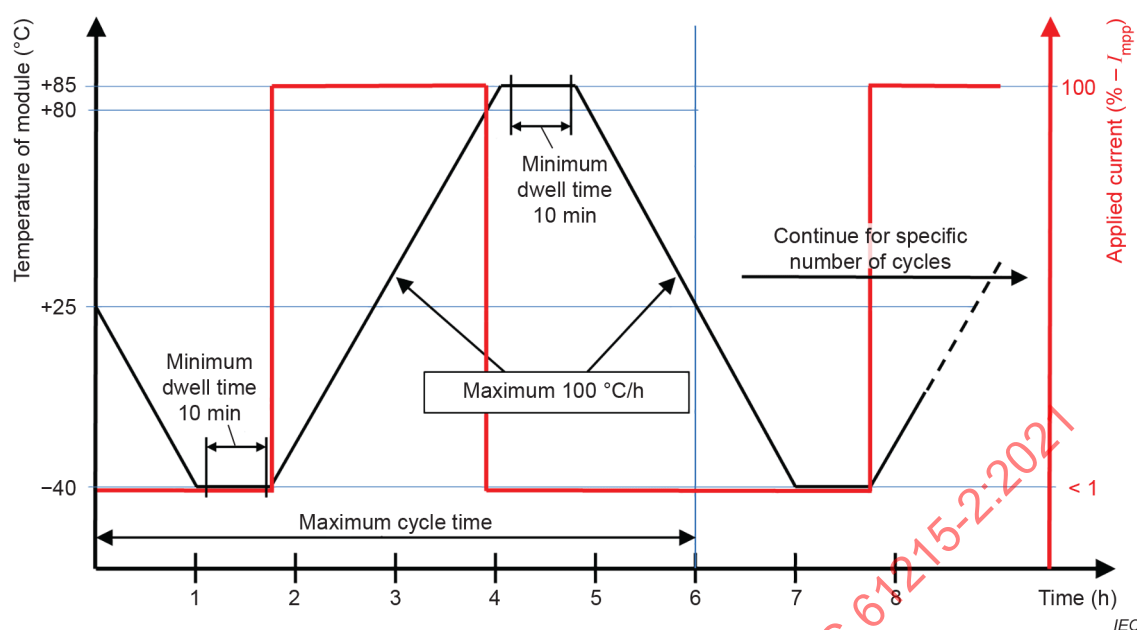


Figure 7 – Thermal cycling test – Temperature and applied current profile

4.11.3 Procedure

- Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle. If more than one module of the same type are tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one of the test modules.
- Install the module(s) at room temperature in the chamber. Attach a single 5 N weight to the junction box using one of two options. The weight may be attached utilizing the electrical termination leads of each module so that it hangs down vertically from the junction box, as shown in Figure 8a). The weight may also be attached to the junction box using a wire introduced by the tester, as shown in Figure 8b). A wire introduced by the tester shall not be attached to the junction box lid. In either case, the weight shall not impact or damage the module back surface, and shall be at least 5 cm above the floor or module frame at the start of the test, as indicated in Figure 8b). If there are more than one similar junction boxes per module, only one junction box need be weighted, as shown in Figure 8b) or Figure 8c). However, if the junction boxes differ in design, each should carry weights independently.

For flexible modules, the modules shall be mounted per the manufacturer's documentation with prescribed substrate and adhesive or attachment/mounting means during the test.

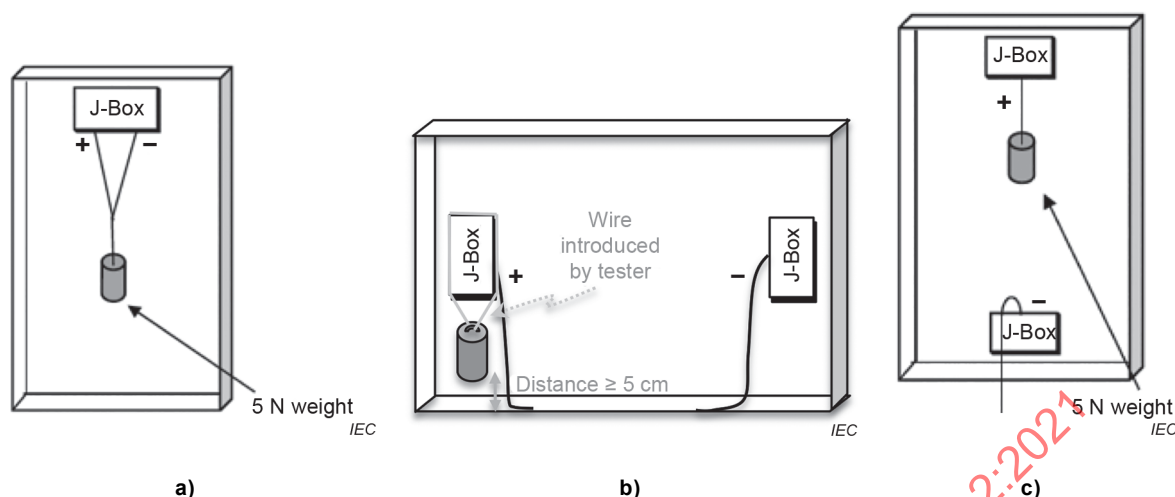


Figure 8 – Proper attachment of 5 N weight to junction box for module utilizing a) electrical termination leads, b) or wire for attachment, and c) only one junction box

- c) Connect the temperature-monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect each module to the appropriate current supply by connecting the positive terminal of the module to the positive terminal of the power supply and the second terminal accordingly. During the thermal cycling test set the continuous current flow during the heat up cycle to the technology specific current specified in 4.11.2d), at temperature from -40 °C to $+80\text{ °C}$. During cool down, the -40 °C dwell phase and temperatures above 80 °C the continuous current shall be reduced to no more than 1,0 % of the measured STC peak power current to measure continuity. If the temperature rises too fast (greater than 100 °C/h) at the lowest temperature, the start of the current flow can be delayed until the temperature has reached -20 °C .
- d) Close the chamber and subject the module(s) to cycling between measured module temperatures of $(-40 \pm 2)\text{ °C}$ and $(+85 \pm 2)\text{ °C}$, in accordance with the profile in Figure 7. 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 unless the module has such a high heat capacity that a longer cycle is required. The number of cycles shall be as shown in the relevant sequences in Figure 2 of IEC 61215-1:2021. Air circulation around the module(s) has to ensure compliance with each module under test meeting the temperature cycling profile.
- e) Throughout the test, record the module temperature and monitor the current flow through the module(s). Document in test report the actual dwell duration at high and low temperatures.

NOTE In a module with parallel circuits, an open circuit in one branch will cause a discontinuity in the voltage, but not cause the current to go to zero.

4.11.4 Final measurements

After a minimum recovery time of 1 h at $(23 \pm 5)\text{ °C}$ and a relative humidity less than 75 % under open-circuit conditions, repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.11.5 Requirements

- a) No interruption of current flow during the test; in the case of a module with parallel circuits, a discontinuity in current flow indicates an interruption of flow in one of the parallel circuit.
- b) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- c) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.12 Humidity-freeze test (MQT 12)

4.12.1 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.

4.12.2 Apparatus

- a) A climatic chamber with automatic temperature and humidity control, capable of subjecting one or more modules to the humidity-freeze cycle specified in Figure 9.
- b) 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) is (are) thermally isolated.
- c) Measurement instrumentation having an accuracy of $\pm 2,0$ °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C for measuring and recording the temperature of the module(s).
- d) Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.

4.12.3 Procedure

- a) Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle. If more than one module of the same type is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one of the test modules.
- b) Install the module(s) at room temperature in the climatic chamber. For flexible modules, the modules shall be mounted per the manufacturer's documentation with prescribed substrate and adhesive or attachment/mounting means during the test.
- c) Connect the temperature-monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect each module to the appropriate current supply by connecting the positive terminal of the module to the positive terminal of the power supply and the second terminal accordingly. During the humidity freeze test set the continuous current flow to no more than 0,5 % of the measured STC peak power current. If 0,5 % of the measured STC current is less than 100 mA, then 100 mA may be applied instead.
- d) After closing the chamber, subject the module(s) to 10 cycles in accordance with the profile in Figure 9. The maximum and minimum temperatures shall be within ± 2 °C of the specified levels and the relative humidity shall be maintained within ± 5 % of the specified value when the temperature is at the maximum value of 85 °C. Air circulation around the module(s) has to ensure compliance with each module under test meeting the temperature cycling profile.
- e) Throughout the test, record the module temperature and monitor the current and voltage through the module.

4.12.4 Final measurements

After a recovery time between 2 h and 4 h at (23 ± 5) °C and a relative humidity less than 75 % under open-circuit conditions, repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.12.5 Requirements

- a) No interruption of current flow or discontinuity in voltage during the test; in the case of a module with parallel circuits, a discontinuity in current flow indicates an interruption of flow in one of the parallel circuits.
- b) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- c) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

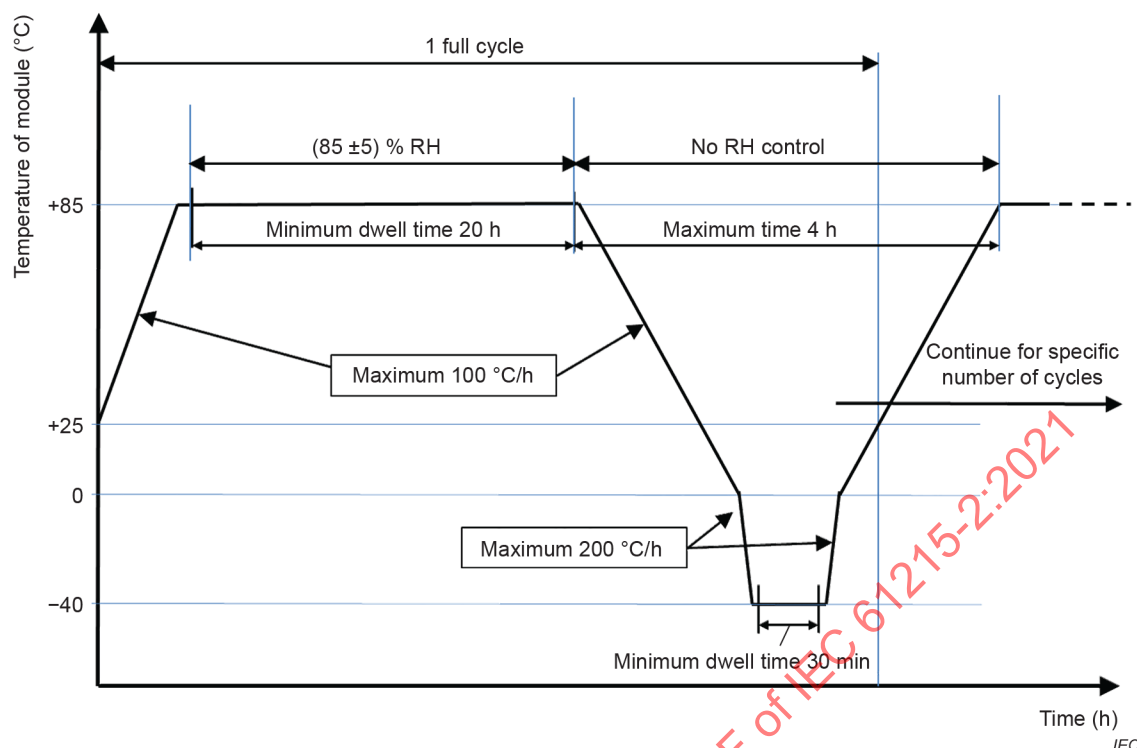


Figure 9 – Humidity-freeze cycle – Temperature and humidity profile

4.13 Damp heat test (MQT 13)

4.13.1 Purpose

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

4.13.2 Apparatus

Requirements for the test chamber are listed in IEC 60068-2-78:2012, 4.1.

4.13.3 Procedure

The procedure for introducing the sample into the chamber and starting the test is described in IEC 60068-2-78:2012, 4.4. The test shall be carried out with the following provisions.

Severities:

Test temperature: $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Relative humidity: $(85 \pm 5) \%$

Test duration: $(1000^{+48}_0) \text{ h}$

No preconditioning shall be performed.

Module connectors shall be short-circuited, unless current is being applied according to options provided in some of the technology-specific parts.

For flexible modules, the modules shall be mounted per the manufacturer's documentation with prescribed substrate and adhesive or attachment/mounting means during the test.

4.13.4 Final measurements

After a recovery time of 2 h, and no more than 4 h, at $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ and a relative humidity less than 75 % under open-circuit conditions, repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.13.5 Requirements

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- b) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.14 Robustness of terminations (MQT 14)

4.14.1 Purpose

To determine that the terminations, the attachment of the terminations, and the attachment of the cables to the body of the module will withstand stresses that are likely to be applied during normal assembly or handling operations. Test in 4.14.2 (MQT 14.1) and test in 4.14.3 (MQT 14.2) are to be performed in Sequence C after MQT 12 as given by the test flow in IEC 61215-1:2021.

4.14.2 Retention of junction box on mounting surface (MQT 14.1)

4.14.2.1 Apparatus

Means for applying a force of 40 N to the centre of the test object. Prevent torque from being applied to the junction box.

Attaching the means for applying the force to the junction box shall not impair its functions.

4.14.2.2 Procedure

A force of 40 N shall be gradually applied for (10 ± 1) s (in accordance to IEC 60068-2-21) in each direction parallel to the mounting surface parallel to the module edges, in steps of 90° .

A force of 40 N shall be gradually applied for (10 ± 1) s without jerks, in a direction perpendicular to the mounting surface.

The pull force should be applied at the centre point of the box.

4.14.2.3 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.14.2.4 Requirements

During test, there shall be no displacement of the junction box at the mounting surface impairing isolating characteristics.

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- b) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.14.3 Test of cord anchorage (MQT 14.2)

The junction box, separate from the module, shall be tested to IEC 62790 "Test of cord anchorage" and shall meet the requirements therein. If the junction box has been pre-qualified prior to IEC 61215-2:2021 testing, the test report shall note the test lab name and date when the requirement was met. The cord anchorage test cannot be applied to junction boxes with integrated connectors, and thus junction boxes with integrated connectors are exempt from this requirement. Exemption shall be noted in the test report.

4.15 Wet leakage current test (MQT 15)

4.15.1 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, an earth fault or a safety hazard.

4.15.2 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 Ω -cm or less

Solution temperature: $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$

The depth of the solution shall be sufficient to cover all surfaces except junction box entries.

- 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.

4.15.3 Procedure

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. The cable entries shall be thoroughly sprayed with solution. If the module is provided with a mating connector, the connector should be sprayed 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.

Some module technologies may be sensitive to static polarization if the module is maintained at positive voltage to the frame. In this case, the connection of the tester shall be done in the opposite way. If applicable, information with respect to sensitivity to static polarization shall be provided by the manufacturer and documented in the test report.

- c) Increase the voltage applied by the test equipment at a rate not exceeding 500 V/s 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.
- 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.
- e) Ensure that the used solution is well rinsed off the module before continuing the testing.

4.15.4 Requirements

- For modules with an area of 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 m² the measured insulation resistance times the area of the module shall not be less than 40 M Ω ·m².

4.16 Static mechanical load test (MQT 16)

4.16.1 Purpose

The purpose of this test is to determine the ability of the module to withstand a minimum static load. The minimum required design load for a particular site will depend on construction, applicable standards, building codes, probability of event occurrence, design assumptions and location/climate and might require higher sampling rates and other safety factors γ_m .

To determine the maximum possible test load, e.g. by test-to-fail of a construction is not part of this document.

MQT 16 verifies minimum test loads. The manufacturer's minimum design load is back calculated from the above minimum test load. The test load is defined as:

$$\text{Test load} = \gamma_m \times \text{design load}$$

where the safety factor γ_m is at least $\geq 1,5$.

The minimum required design load per this document is 1 600 Pa, resulting in a minimum test load of 2 400 Pa.

The manufacturer may specify higher design load(s) for positive (downward) and negative (upward) and also a higher γ_m for certain applications. The design load(s) and γ_m are to be specified in the documentation of the manufacturer per each mounting method.

EXAMPLE Manufacturer specifies the following design loads: positive 3 600 Pa and negative 2 400 Pa with $\gamma_m = 1,5$. The test sequence will contain 3 cycles each performed at 5 400 Pa positive and 3 600 Pa negative loading.

Each module undergoing MQT 16 test shall be pre-tested according to Sequence E in IEC 61215-1:2021, unless a module is an additional, full-size, very large module tested alongside representative samples, as described in IEC 61215-1:2021 Clause 4.

NOTE Inhomogeneous snow loads are not covered by this test. IEC 62938:2020 may be used.

4.16.2 Apparatus

- a) 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 within the constraints of the manufacturers prescribed method of mounting.
- b) Instrumentation to monitor the electrical continuity of the module during the test.
- c) Suitable weights or pressure means that enable the load to be applied in a gradual, uniform manner. The test load may be applied pneumatically or by means of weights. All force shall be applied normal to the module surface. The apparatus shall not contribute to the rigidity of the module (e.g. force applied via a large, flat, plate).
- d) The entire payload should be applied to the module surface uniformly and gradually without causing impact spikes. The weight shall only be applied on the frontsheet (e.g. the glass) and not on the module frame or cross support rails in the module. If weights are used to load the module, Annex A provides additional recommendations to ensure quality control and consistency of test results.

NOTE 1 With incremental loading where weights are loaded by hand, impact shocks not representative of field stress have been observed and are undesirable.

- e) If an automated system using pistons (or other discrete-point application) is used to load the module, document the coverage ratio in the test report. Coverage ratio is the area under the suction cups (connected to pistons or other contacting points to module) to the surface area of the module. A minimum coverage ratio of 10 % is recommended to assure uniformity of loading on the module.

- f) The environmental conditions for performing the tests are $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ in a relative humidity not exceeding 75 %.

NOTE 2 As most adhesives will perform worse under elevated temperatures, room temperature is considered to be a best case condition for testing.

4.16.3 Procedure

- a) Equip the module so that the electrical continuity of the internal circuit can be monitored continuously during the test.
- b) Mount the module on a rigid structure using the method prescribed by the manufacturer including the mounting means (clips/clamps and any kind of fastener) and underlying support rails. If there are different possibilities each mounting method needs to be evaluated separately. For all mounting methods, mount the module in a manner where the loading is worst case. If there are different possibilities, each mounting configuration needs to be evaluated separately. Worst case loading is typically associated with largest cantilever (overhang span) or largest deflection. For all mounting configurations, mount the module in a manner where the distance between the fixing points is worst case, which typically results in the worst deflection of the module, while following manufacturer recommendations for the specified mounting means. Allow the modules to equilibrate for a minimum of 2 h after MQT 13 before applying the load. For flexible modules, the modules shall be mounted per the manufacturer's documentation with prescribed substrate and adhesive or attachment means during the test.
- c) On the front surface, gradually and uniformly apply the test load. Load uniformity needs to be better than ± 5 % across the module with respect to the test load. Maintain this load for 1 h.
- d) Apply the same procedure as in step c) to the back surface of the module or as uplift load to the front surface.
- e) Repeat steps c) and d) for a total of three cycles.

4.16.4 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.16.5 Requirements

- a) No intermittent open-circuit fault detected during the test.
- b) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- c) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.17 Hail test (MQT 17)

4.17.1 Purpose

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

4.17.2 Apparatus

- a) Moulds of suitable material for casting spherical ice balls of the required diameter. Minimum requirement is a diameter of 25 mm. For hail prone locations larger ice balls may be required for testing as listed in Table 2. The test report should indicate what ice ball diameter and test velocity was used for the hail test.
- b) A freezer controlled at $(-10 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- c) A storage container for storing the ice balls at a temperature of $(-4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- d) A launcher capable of propelling an ice ball at the specified velocity, within ± 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) A 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 ± 2 %.
- g) An instrument for measuring the velocity of the ice ball to an accuracy of ± 2 %. The velocity sensor shall be no more than 1 m from the surface of the test module.

As an example, Figure 10 shows in schematic form a suitable apparatus comprising a horizontal pneumatic launcher, a vertical module mount and a velocity meter which measures electronically the time it takes the ice ball to traverse the distance between two light beams. This is only one example as other types of apparatus including slingshots and spring-driven testers have been successfully utilized.

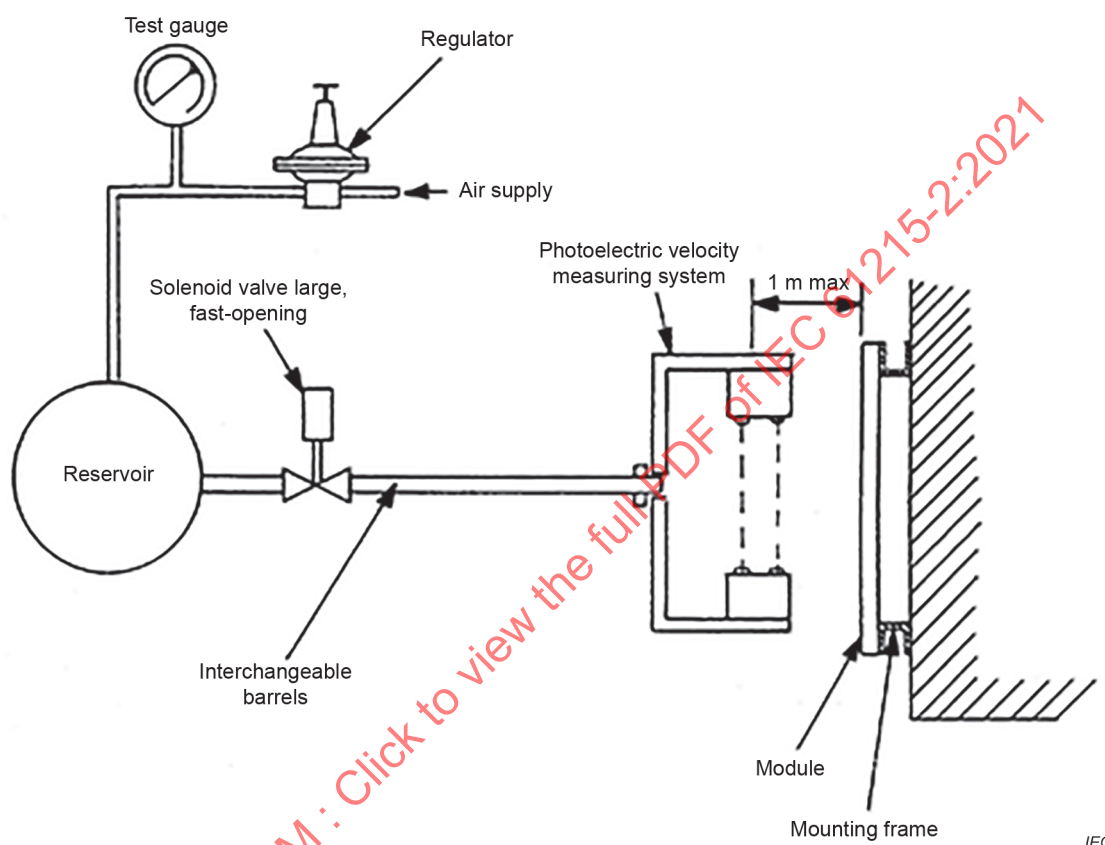


Figure 10 – Hail-test equipment

Table 2 – Ice-ball masses and test velocities

Diameter mm	Mass g	Test velocity m/s	Diameter mm	Mass g	Test velocity m/s
25	7,53	23,0	55	80,2	33,9
35	20,7	27,2	65	132,0	36,7
45	43,9	30,7	75	203,0	39,5

4.17.3 Procedure

- a) Using the moulds and the freezer, make a sufficient number of 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 criteria:
 - no cracks visible to the unaided eye;
 - diameter within ± 5 % of that required;

- mass within ± 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 ± 5 % of the appropriate hailstone test velocity in Table 2.
- f) Mount the module according to manufacturer specifications. The module shall be at room temperature, with the impact surface normal to the path of the ice ball. For flexible modules, the modules shall be mounted per the manufacturer's documentation with prescribed substrate and adhesive or attachment/mounting means during the test. If the manufacturer's specified application allows mounting in a rigid or flexible mounting condition, testing shall be done on the worst-case condition. The test configuration(s) shall be documented in the test report.
- 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 in Table 3, as illustrated in Figure 11.

Table 3 – Impact locations

Shot No.	Location
1	Any corner of the module window, not more than one radius of ice-ball from the module edge.
2	Any edge of the module, not more than one radius of ice-ball from the module edge.
3, 4	Over the circuit near interconnects (i.e. cell interconnects and bus ribbons).
5, 6	Over edges of the circuit (e.g. individual cells).
7, 8	On the module window, not more than half diameter of ice ball from one of the points at which the module is mounted to the supporting structure.
9, 10	On the module window, at points farthest from the points selected above.
11	Any points which may prove especially vulnerable to hail impact like over the junction box.

4.17.4 Final measurements

Repeat tests MQT 01 and MQT 15.

4.17.5 Requirements

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- b) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

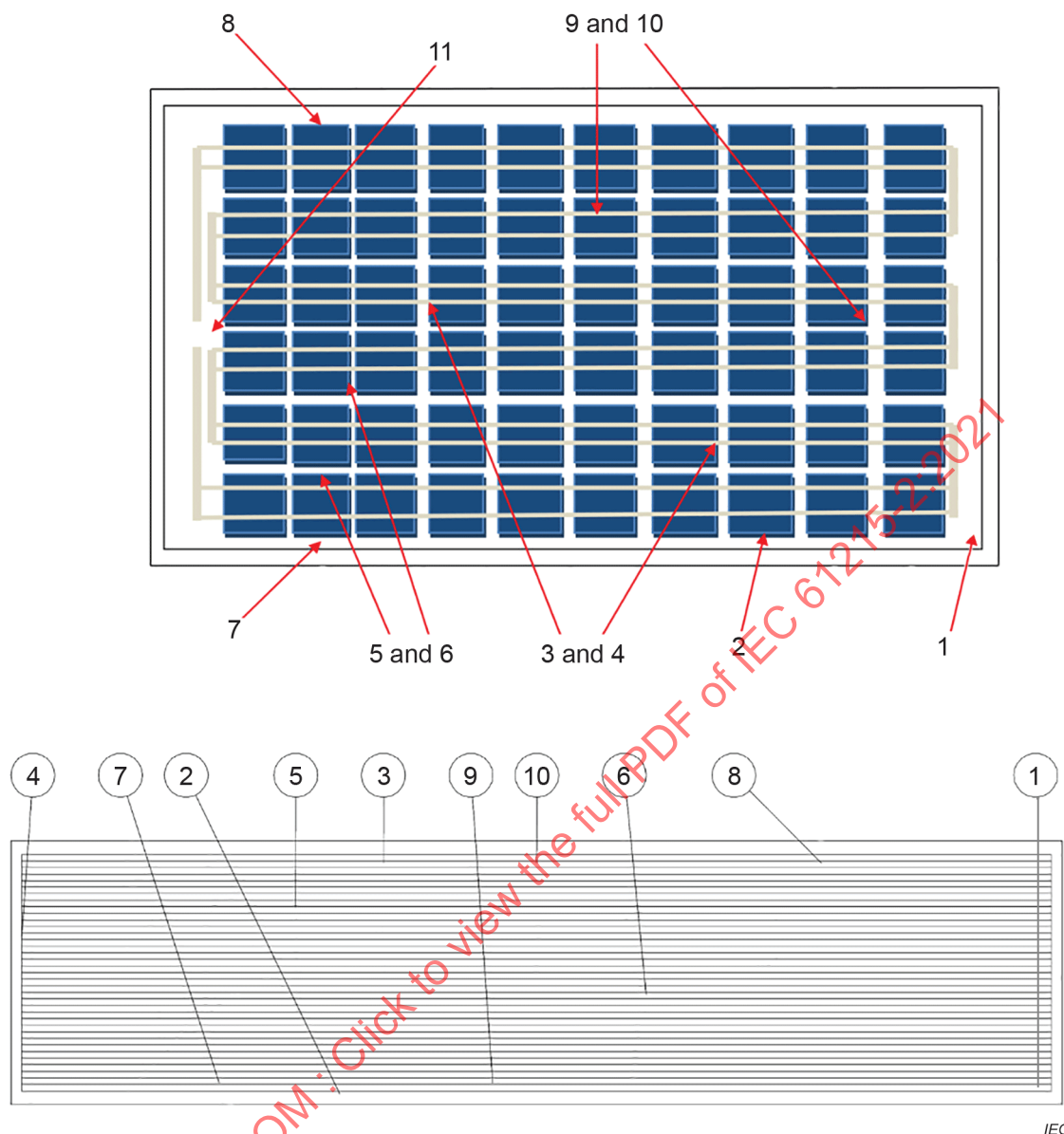


Figure 11 – Hail test impact locations: top for wafer/cell based technologies, bottom for monolithic processed thin film technologies

4.18 Bypass diode testing (MQT 18)

4.18.1 Bypass diode thermal test (MQT 18.1)

4.18.1.1 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.

The test is designed to determine the diode's temperature characteristic and its maximum diode junction temperature T_J under continuous operation.

4.18.1.2 Test sample

If the module contains three or fewer bypass diodes, then all diodes shall be tested for forward voltage as per 4.18.1.4 and for functionality as per 4.18.2. If the module contains more than three diodes, then three bypass diodes are to be selected for testing. These bypass diodes are to be selected by the test laboratory and should be representative bypass diodes which are subject to the most stress in the design. The test lab shall indicate in the test report which three bypass diodes were selected and why they were selected.

- a) For more than three diodes embedded in a laminate, select the diodes in these locations:
 - 1) Closest to the centre of the junction box (may be underneath the junction box).
 - 2) Closest to the module frame (or module edge, in case of frameless module).
 - 3) Closest to module centre.
- b) For more than three diodes in a junction box, select diodes in these locations.
 - 1) Closest to the centre of the junction box.
 - 2) Next closest to the centre of the junction box.
 - 3) Closest to the edge of the junction box.

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 module and does not have to be an active PV module. The test shall then proceed as normal. This special test sample shall be used only for measuring the bypass diode temperature in 4.18.1.4 c) to k). Exposure to 1,25 times the STC short-circuit current shall be performed on a fully functional module which is then used for making the final measurements of 4.18.1.5. The special sample shall allow electrical access to the three bypass diodes in locations complying with the above selection criteria.

4.18.1.3 Apparatus

- a) Means for heating the module up to a temperature of $(90 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- b) Means for monitoring the temperature of the module to an accuracy of $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$.
- c) Means for measuring the junction voltage V_D of the bypass diodes to an accuracy of 2 %.
- d) Means for applying a current equal to 1,25 times the STC short-circuit current of the module under test with a pulse width not exceeding 1 ms and means for monitoring the flow of current through the module, throughout the test. For bifacial modules, the applicable current is 1,25 times short-circuit current at elevated irradiance G_{BSI} , as defined in IEC 61215-1:2021. The short-circuit current at irradiance G_{BSI} may be determined either by a measurement (MQT 06.1) at irradiance G_{BSI} , or by assuming linearity of short-circuit current with irradiance (as defined in IEC 60904-10). Assuming linearity allows one to calculate the short-circuit current at G_{BSI} , I_{sc-BSI} , using I_{sc} values measured for Gate No. 1 (I_{sc-STC} and $I_{sc-BNPI}$), and the relevant equivalent irradiances: $1\,000\text{ Wm}^{-2}$, G_{BNPI} , and G_{BSI} . To extrapolate I_{sc-BSI} , these quantities are combined as follows:

$$I_{sc-BSI} = I_{sc-BNPI} + \frac{(I_{sc-BNPI} - I_{sc-STC})}{G_{BNPI} - 1\,000\text{ Wm}^{-2}} \cdot (G_{BSI} - G_{BNPI})$$

In the above formula, equivalent irradiance are calculated as in IEC TS 60904-1-2, specifically:

$$G_{BNPI} = 1\,000\text{ Wm}^{-2} + \varphi \cdot 135\text{ Wm}^{-2}$$

$$G_{BSI} = 1\,000\text{ Wm}^{-2} + \varphi \cdot 300\text{ Wm}^{-2}$$

$$\varphi = \text{Min}(\varphi_{\text{ISC}}, \varphi_{\text{Pmax}})$$

4.18.1.4 Procedure

- 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. For bifacial modules, use the value of the short-circuit current at elevated irradiance BSI, as defined in IEC 61215-1:2021.
- Connect the lead wire for V_D and I_D on both diode terminals as shown in Figure 12.

If the diodes are potted the connections shall be made by the module manufacturer before delivery of the module.

Care shall be taken that the lead wires do not cause heat dissipation from the terminal box leading to misinterpretation of the test results. Thus, current connections should be made as far as possible away from the terminal box, and voltage probes made as small and thin as possible.

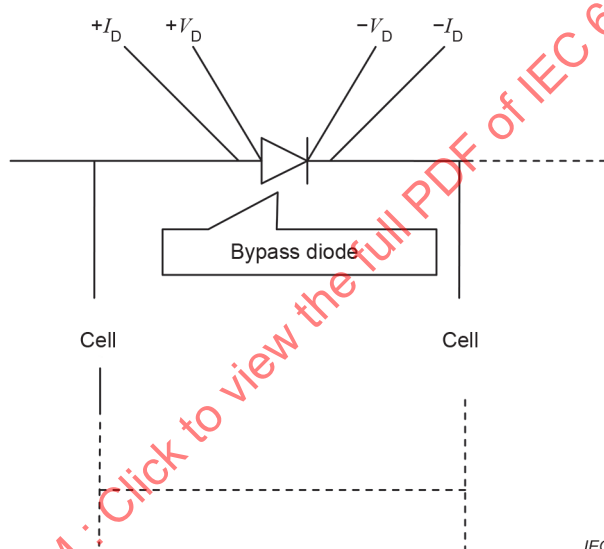


Figure 12 – Bypass diode thermal test

- Heat the module and junction box up to a temperature of $(30 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- 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. For bifacial modules, use the value of the short-circuit current at elevated irradiance BSI.
- Using the same procedure, measure V_{D2} at $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Using the same procedure, measure V_{D3} at $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Using the same procedure, measure V_{D4} at $(90 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- 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} .

T_J is assumed to be the ambient temperature of the junction box for steps d) to i).

- j) Heat the module to $(75 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Apply a current to the module equal to the short-circuit current $I_{\text{sc}} \pm 2\%$ as determined in step b). After 1 h measure the forward voltage of each of the selected diodes.

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 $1\,000\text{ W/m}^2$, $(43 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ambient with no wind rather than at $75 ^\circ\text{C}$.

- k) Using the V_{D} versus T_{J} characteristic obtained in item i), obtain T_{J} from V_{D} at $T_{\text{amb}} = 75 ^\circ\text{C}$, $I_{\text{D}} = I_{\text{sc}}$ of the diode during the test in j).
- l) Increase the applied current to 1,25 times the short-circuit current of the module as determined in step b) while maintaining the module temperature at $(75 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- m) Maintain the current flow for 1 h.

4.18.1.5 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01, MQT 15 and MQT 18.2.

4.18.1.6 Requirements

- a) The diode junction temperature T_{J} as determined in 4.18.1.4 k) shall not exceed the diode manufacturer's maximum junction temperature rating for continuous operation.
- b) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- c) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.
- d) The diode shall still function as a diode after the conclusion of the test as per MQT 18.2.

4.18.2 Bypass diode functionality test (MQT 18.2)

4.18.2.1 Purpose

The purpose of this test is to verify that the bypass diode(s) of the test samples remain(s) functional following MQT 09 and MQT 18.1. In case of PV modules without bypass diodes this test can be omitted.

4.18.2.2 Apparatus

Means for measuring current-voltage curve within 1 s; e.g. I - V curve tracer, with an accuracy of the voltage and current measurements of $\pm 1\%$ of the open-circuit voltage and short-circuit current, respectively.

4.18.2.3 Procedure

4.18.2.3.1 General

The test can be conducted according to either of the following two methods.

4.18.2.3.2 Method A

This procedure shall be conducted in any ambient temperature within $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$. During the test the sample shall not be subjected to illumination.

- a) Electrically short any blocking diodes incorporated to the test sample.
Some modules have overlapping bypass diode circuits. In this case it may be necessary to install a jumper cable to ensure that all of the current is flowing through one bypass diode.
- b) Determine the rated STC short-circuit current of the test sample from its name plate. For bifacial modules, use the value of I_{SC} measured at STC.

- c) Connect the DC power source's I - V curve tracer's positive output to the test sample's negative terminal and the DC power source's I - V curve tracer's negative output to the test sample's positive terminal, respectively. With this configuration the current shall pass through the solar cells in the reverse direction and through the bypass diode(s) in the forward direction.
- d) Run current sweep from 0 A to $1,25 \times I_{sc}$ and record voltage. Use the value of I_{sc} determined in step b).

4.18.2.3.3 Method B

Successive I - V measurements of the PV module can be performed in conjunction with maximum power determination (MQT 02) with portions of a string in the interconnection circuit completely shadowed in order to "turn on" the diode. This procedure should be repeated for each substring.

4.18.2.4 Requirements

4.18.2.4.1 Method A

In the current sweep of 4.18.2.3.2 d), identify the largest current at which the forward voltage is specified on the data sheet. The diode(s) forward voltage measured at the identified current is defined as V_{FM} and shall meet the following requirement:

$$V_{FM} = (N \times V_{FMrated}) \pm 10 \%$$

where:

N is the number of bypass diodes;

$V_{FMrated}$ is the diode forward voltage as defined in diode data sheet for 25 °C.

4.18.2.4.2 Method B

The bypass diode belonging to the shadowed string is working properly, if the characteristic bend in the I - V curve is observed.

Example: a crystalline silicon PV module with 60 cells and three strings protected each by one diode will have a power drop to roughly 2/3, if cells in one string are shadowed.

4.19 Stabilization (MQT 19)

4.19.1 General

All PV modules need to be electrically stabilized. For this purpose, all modules shall be exposed to a defined procedure, and the output power shall be measured directly afterwards. This procedure and output power measurement shall be repeated until the module is assessed to have reached an electrically stable power output level. Where light is used for stabilization, simulated solar irradiance is preferred over natural light.

4.19.2 Criterion definition for stabilization

The following formula shall be taken as the criterion to assess whether a module has reached its stabilized electrical power output:

$$(P_{\max} - P_{\min}) / P_{\text{average}} < x$$

where x is defined in the technology specific parts of this standards series.

Here, $P_{\max}$, $P_{\min}$ and P_{average} are defined as extreme values of three consecutive output power measurements P_1 , P_2 and P_3 taken from a sequence of alternating stabilization and measurement steps using MQT 02. P_{average} is the average of all three, P_1 , P_2 and P_3 . STC output power is determined using procedure MQT 06.1.

4.19.3 Light induced stabilization procedures

4.19.3.1 Apparatus for indoor stabilization

- A class CCC solar simulator or better, in accordance with IEC 60904-9.
- A suitable reference device, with integrator, for monitoring the irradiation.
- Means to mount the modules, as recommended by the manufacturer, co-planar with the reference device.
- Use the reference device to set the irradiance between 800 W/m² and 1 000 W/m².
- During the simulator exposure, module temperatures shall stay in the range of $(50 \pm 10) ^\circ\text{C}$. All subsequent stabilizations should be done at the same temperature as the initial within $\pm 2 ^\circ\text{C}$.
- Means for monitoring the temperature of the module to an accuracy of $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$. The temperature sensor shall be mounted on a representative position for the average module temperature.
- A resistive load sized such that the module will operate near its maximum power point or an electronic maximum power point tracker (MPPT).

4.19.3.2 Requirements for outdoor exposure for stabilization

- A suitable reference device, with integrator, for monitoring the irradiation.
- Means to mount the modules, as recommended by the manufacturer, co-planar with the reference device.
- Only irradiance levels above 500 W/m² will count for total irradiance dose required to check stabilization. Temperature limits are specified in the technology specific parts.
- Means for monitoring the temperature of the module to an accuracy of $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ and repeatability of $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$. The temperature sensor shall be mounted on a representative position for the average module temperature.
- A resistive load sized such that the module will operate near its maximum power point or an electronic maximum power point tracker (MPPT).

A maximum power point tracking device is advisable, e.g. a micro-inverter.

4.19.3.3 Procedure

- Measure the output power of each module using the maximum power determination (MQT 02) procedure at any convenient module temperature within the allowable range that can be reproduced within $\pm 2 ^\circ\text{C}$ for future intermediate measurements.
- Attach the load to the modules and mount them, as recommended by the manufacturer, with the reference device in the test plane of the simulator.
- Record the irradiance levels, integrated irradiation, temperature and used resistive load of the module.
- Subject each module to at least two intervals of the irradiation as defined in the technology specific parts of MQT 19 of this standard until its maximum power value stabilizes. Stabilization is defined in 4.19.2.
- The output power shall be measured using MQT 02. The time period between light exposure including MQT 02 measurements and the final determination of maximum power in accordance to MQT 06.1 is specified in the technology specific part.

- f) Intermediate measurements of MQT 02 shall be performed in approximately equal integrated irradiation dose intervals. Minimum doses are defined in the technology specific parts of this standard. All intermediate maximum power measurements shall be performed at any convenient module temperature reproduced within ± 2 °C.
- g) Report the integrated irradiation and all parameters at which this stability is reached. For outdoor procedure, where applicable, state the type of load used and show temperature and irradiance profiles.

4.19.4 Other stabilization procedures

Other stabilization techniques can be used after validation. It is known that the application of current or voltage bias can lead to similar effects in solar cells as is the case for light exposure. Such alternate stabilization procedures will be provided by the manufacturer.

This subclause defines the validation process for alternate stabilization procedure.

Alternate procedures can be used instead of light exposure if validated according to this procedure. Validation shall be done with three modules. The validation shall be performed in sequence A as initial stabilization. Perform the following to validate alternate procedures:

- a) Perform alternate procedure.
- b) Measure MQT 06.1 after the minimum and no more than the maximum time specified in the technology specific parts.
- c) Perform indoor light induced stabilization procedure 4.19.3.1 in accordance to technology specific requirements.
- d) Measure MQT 06.1 after the minimum and no more than the maximum time specified in the technology specific parts.

An alternate method is considered valid if the two MQT 06.1 measurements from b) and d) above are within 2 % for all three evaluated modules. If one module does not meet the pass criteria the method is not validated.

4.19.5 Initial stabilization (MQT 19.1)

Initial stabilization is performed following procedure and requirements defined in MQT 19. Stabilization is reached if 4.19.2 is fulfilled.

The initial stabilization is performed to verify manufacture label values as defined in the pass criterion in IEC 61215-1:2021, 7.2.2 (Gate No. 1).

The number of modules subjected to MQT 19.1 is defined in the technology specific parts of this standard.

4.19.6 Final stabilization (MQT 19.2)

Final stabilization is performed following procedure and requirements defined in MQT 19. Stabilization is reached if 4.19.2 is fulfilled.

The final stabilization is performed to determine module degradation during the test as defined in the pass criterion in IEC 61215-1:2021, 7.2.3 (Gate No. 2).

If not otherwise stated all modules from sequences A, and C to E have to undergo MQT 19.2 testing.

4.19.7 Stress-specific stabilization – BO LID (MQT 19.3)

4.19.7.1 General

Some stress conditions may change the state of semiconductor defects in a way that is not representative of field behavior and is not related to the degradation mechanisms that are targeted by the stress tests. In this case, a stress-specific stabilization may be required to set the defects into a reproducible state either before or after stress. When to apply a stress-specific stabilization is prescribed in the technology-specific parts.

MQT 19.3 describes a stabilization procedure that puts the defects causing boron-oxygen light induced degradation into the regenerated state. It shall only be used at points in the test flow specifically allowed in IEC 61215-1-1:2021.

4.19.7.2 Apparatus for BO-LID stress-specific stabilization

- A climatic chamber with automatic temperature control.
- 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) is (are) thermally isolated.
- Measurement instrumentation having an accuracy of $\pm 2,0$ °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C for measuring and recording the temperature of the module(s).
- Means for applying, throughout the test, a current equal to the module short-circuit current I_{sc} .

4.19.7.3 Procedure

- Install the module(s) at room temperature in the climatic chamber.
- Connect the temperature-monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect each module to the appropriate current supply by connecting the positive terminal of the module to the positive terminal of the power supply and the second terminal accordingly.
- Close the chamber, and apply a current of $I_{sc} \pm 5\%$ to each module. As long as the current applied to each module is within 5 % of its I_{sc} , the currents applied through multiple modules in one chamber need not be the same.
- Increase the climatic chamber setpoint such that the temperature of each module reaches (80 ± 5) °C, and never exceeds 85 °C.
- Maintain the current and temperature within the limits prescribed in steps c) and d) for (48 ± 2) h.

4.20 Cyclic (dynamic) mechanical load test (MQT 20)

4.20.1 Purpose

The purpose of this test is to evaluate if components within the module are extremely susceptible to low levels of mechanical stress. The most likely reason for extreme susceptibility to low levels of mechanical stress is a module assembly process that compromises the integrity of module components (for example tabbing that puts too much pressure on the cell and creates microcracks). Components that may be evaluated by the cyclic dynamic mechanical load test (DML) include solar cells, interconnect ribbons, electrical bonds, and edge seals.

4.20.2 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC TS 62782.

4.20.3 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.20.4 Requirements

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- b) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.21 Potential induced degradation test (MQT 21)

4.21.1 Purpose

The purpose of this test is to measure the module design's ability to withstand degradation from applied system voltage, also known as Potential Induced Degradation (PID).

NOTE The test is not designed to evaluate PID involving polarization mechanisms (PID-p) and therefore PID-p may not be detected.

4.21.2 Samples

If the module documentation and the nameplate specify usage of the module in strings of only one voltage polarity with respect to earth ground (one terminal of the module string tied to earth ground), then the number of modules selected for test shall be halved and stressed only in that specified polarity. Four samples (two for each polarity of the system voltage that is specified or allowed in the module documentation) per Clause 4 of IEC 61215-1:2021 shall be procured for each test. Modules not explicitly requiring string connections with one terminal earthed shall be tested in both polarities. If only two modules are tested (i.e. one allowed polarity), the two modules not subjected to stress during MQT 21 shall only progress through the test flow (IEC 61215-1:2021, Figure 2) as far as MQT 21, then shall not be subjected to further testing. Specifically, the two unused modules shall progress through Gate No 1 but not Gate No 2.

If the PV module is provided with or is specified for use with a specific means for earthing, then the earthing means shall be included and considered a part of the test sample. If the PV module is provided with or is specified for use with means for mounting that could additionally influence the module grounding, then the means for mounting shall be included and considered a part of the test sample.

4.21.3 Apparatus

The test shall be carried out using the apparatus described in IEC TS 62804-1:2015, 4.3.1.

4.21.4 Procedure

The test shall be carried out in accordance with the stress method testing in damp heat using an environmental chamber as given in IEC TS 62804-1:2015, 4.3.2 with the following provisions

Severities:

Module temperature: $85\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

Chamber relative humidity: $85\% \pm 3\%$ relative humidity

Dwell: 96 h at the above stated temperature and relative humidity (not including stabilization)

Voltage: module rated system voltage and polarities applied for the above given dwell duration and during ramp down of temperature to ambient conditions.

4.21.5 Final measurements

Repeat the MQT 01 and MQT 15 tests. The MQT 15 test shall be performed within 8 h of the end of the PID stress described in 4.21.4.

As per the test flow shown in IEC 61215-1:2021, Figure 2, modules shall be subjected to MQT 19.2, MQT 06.1 (including gate 2), and MQT 03 following the PID test (MQT 21). Bifaciality coefficients shall be remeasured when performing MQT 06.1 for gate 2. Modules from sequence F do not need to repeat MQT 15 at the end of the test flow. In order to maximize repeatability when partially-reversible PID may be present, the modules that have undergone PID testing shall be stored with controlled conditions between testing steps after PID (i.e. MQT 19.2, MQT 6.1, MQT 03). Between these test steps, the modules shall be maintained indoors, in the dark, and at temperatures 25 °C or below. For the post-PID tests, no more than 48 h shall elapse between the end of MQT 21 and the beginning of MQT 19.2. The time limit between MQT 19.2 and MQT 06.1 shall be either 48 h or the time limit specified in the technology-specific stabilization procedure, whichever is shorter.

4.21.6 Requirements

- a) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021, Clause 8.
- b) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

4.22 Bending test (MQT 22)

4.22.1 Purpose

The purpose of this test is to verify that a flexible module can be rolled up (without damage) to form a radius of curvature defined by the module manufacturer in at least one direction per the manufacturer's specification. If the manufacturer's installation guide allows bending in more than one direction, the worst-case condition shall be used. The test may be performed on a representative sample, as described in IEC 61215-1:2021, Clause 4.

NOTE Once the radius of curvature is defined, the bending stresses are the same as long as the thickness is the same between "representative sample" and a longer module.

4.22.2 Apparatus

- a) A cylinder with a diameter of twice the radius of curvature specified by the module manufacturer. The flexible module will be bent over this cylinder.
- b) Instrumentation to monitor the electrical continuity of the module during the test.
- c) The environmental conditions for performing the tests are (25 ± 5) °C.

4.22.3 Procedure

- a) Equip the module so that the electrical continuity of the internal circuit can be monitored continuously during the test.
- b) Roll the flexible module from a flat/planar starting position over the cylinder of the specified radius of curvature. If the module is large enough, it shall roll up on the cylinder in excess of 360°.
- c) Unroll the flexible module back to the flat/planar position.
- d) Repeat b) and c) 25 times.

4.22.4 Final measurements

Repeat the tests of MQT 01 and MQT 15.

4.22.5 Requirements

- a) No intermittent open-circuit fault detected during the test when a continuous current is applied and monitored as performed per MQT 11.
- b) No evidence of major visual defects, as defined in IEC 61215-1:2021.
- c) Wet leakage current shall meet the same requirements as for the initial measurements.

Annex A (informative)

Recommended setup for managing weights during mechanical loading (MQT 16)

Many factors are known to introduce noise into test that can lead to false module failures during MQT 16. These factors include nonuniformity of loads, periodic spikes of pressure from weight placement, frequency of loading, heavy bags, flowing media in bags, and ergonomics of loading weights. In the absence of an automated system (for example, a pneumatic system) which can place the entire payload in a controlled and uniform fashion on the test module, recommendations to ensure quality control of the test methodology are indicated in this annex.

A gantry crane arrangement such as that illustrated in Figure A.1 is recommended to place the entire payload in a controlled and uniform manner onto the test module. The gantry crane should be equipped with a variable frequency drive controlled motor which can control the rate of load placement on the module. The hoist should be rated adequately to handle the expected loads and should have adequate clearance to accommodate the loading jig to be lifted above the mounting jig and placed on the module mounted into the mounting jig.

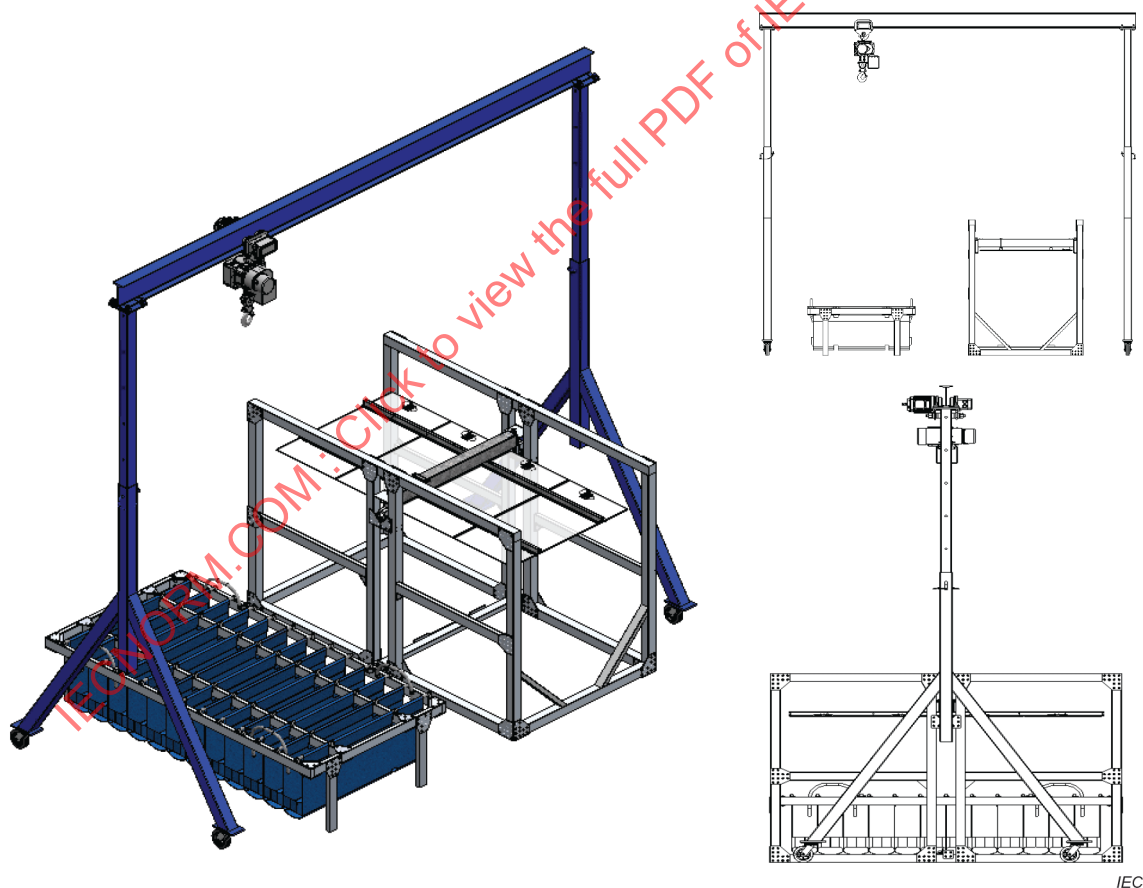
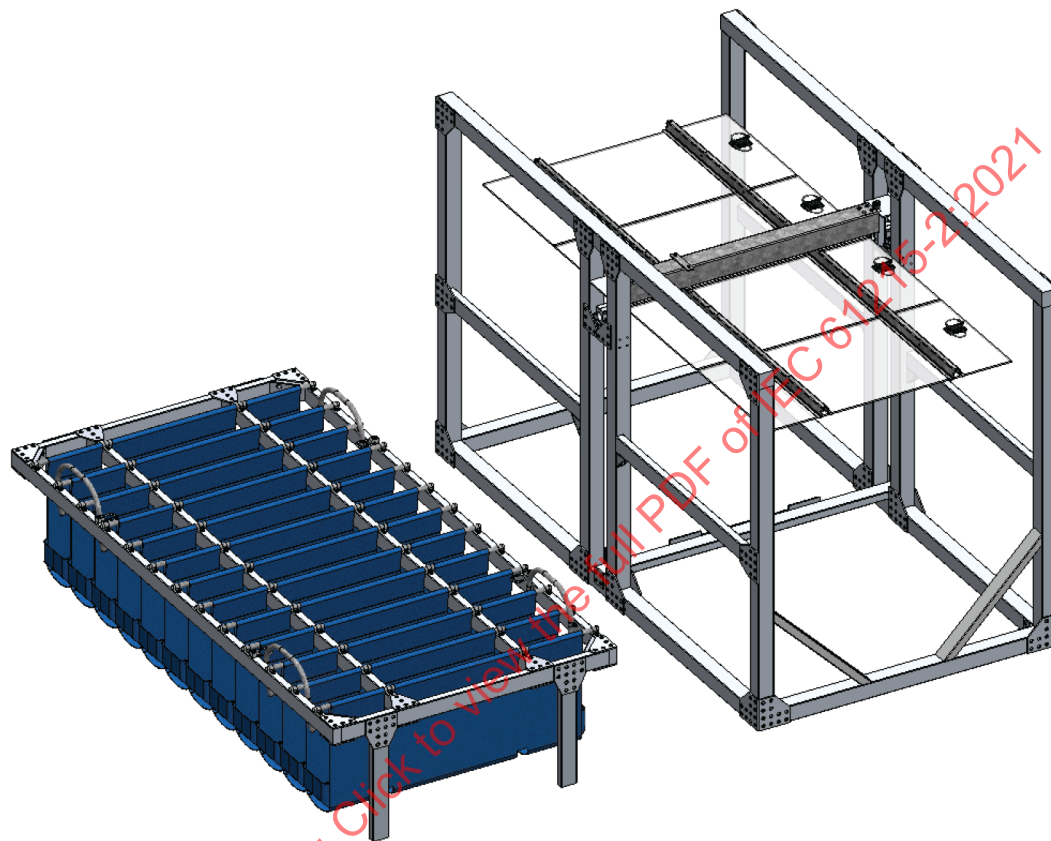


Figure A.1 – 3D view (at left of figure), end view (at top right), and side view (at bottom right) of gantry crane over mounting jig and loading jig

The mounting jig should be designed to mount the module per manufacturer requirements and should provide sufficient clearance for the load to be placed on the module surface. The mounting jig illustrated in Figure A.2 shows a module mounting arrangement on a central torque tube mounted tracker. The example jig in Figure A.2 is fabricated using T-slot aluminium extrusions. Figure A.3 illustrates a profile view of the mounting jig, which illustrates a pivoting mechanism to easily turn the module over for loading the opposite side without removing the fasteners. Alternative arrangements to accommodate a girder based tracker or purlins in fixed tilt structures are possible.



IEC

Figure A.2 – 3D close up views of mounting jig (right) and loading jig (left)

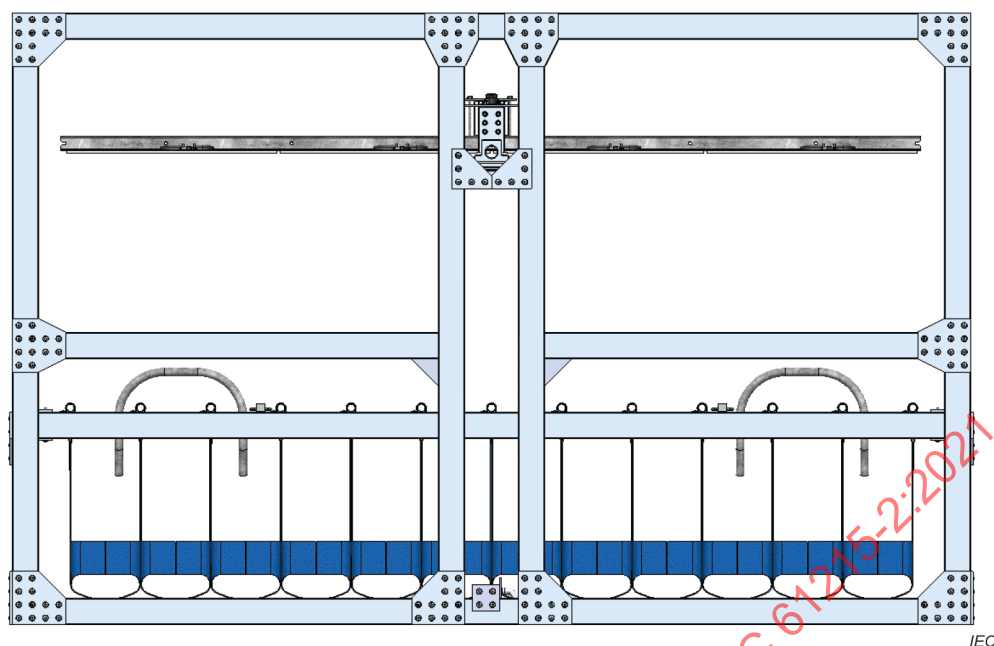


Figure A.3 – 2D view of mounting jig and loading jig

Figure A.4 and Figure A.5 show further detail of the loading jig with configurable channels where weights can be placed. The configurable channels can be fabricated from thick tarpaulin and adhesive tape, and are supported by rods. The rods can be moved on the T-slot rails of the mounting jig and clamped down by U clamps as illustrated to make room for any cross support rails in the module frame, thus avoiding loading such members. It is a critical to ensure load is not placed on frame members. The legs of the mounting jig are shorter than the depth of the channels so the weight can bottom out on the load surface before the legs make contact.

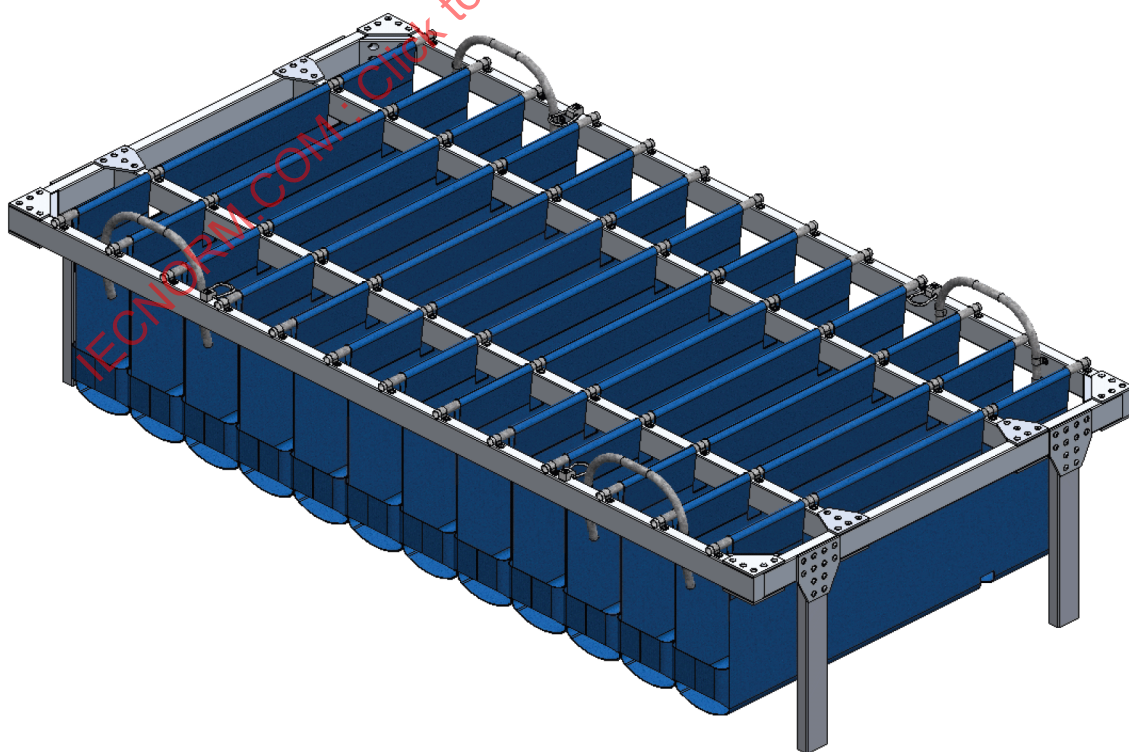
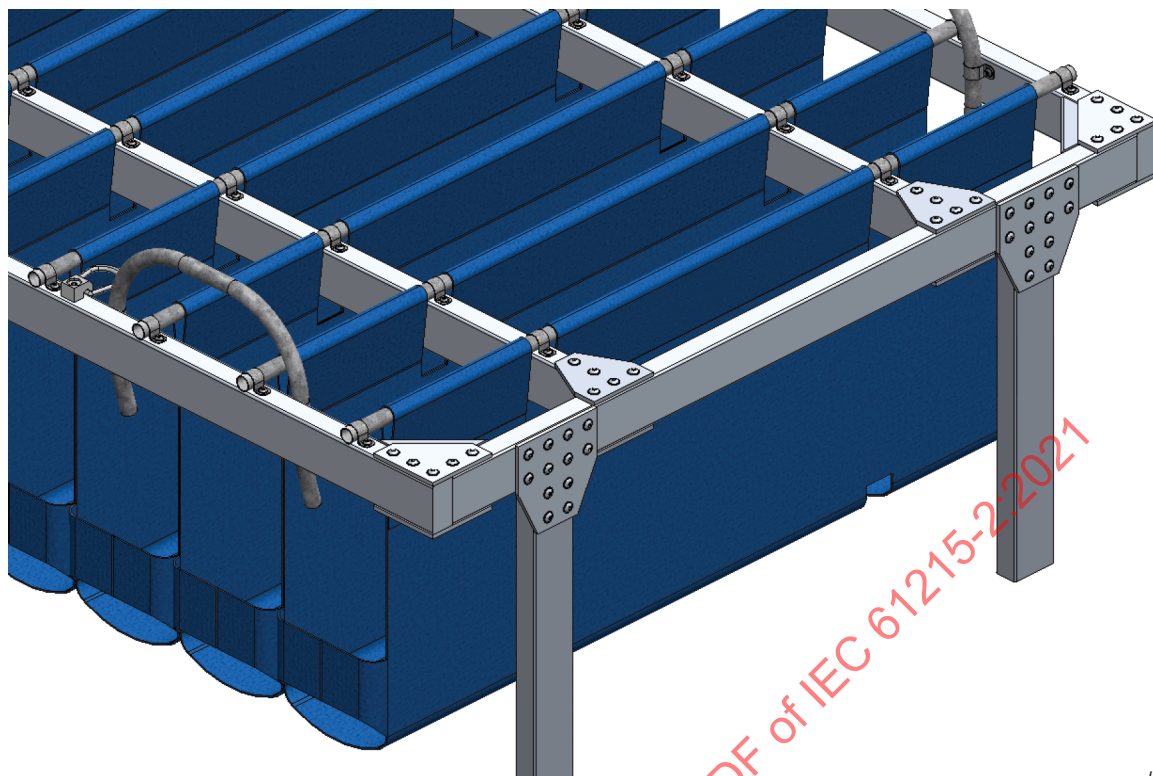


Figure A.4 – 3D view of loading jig



IEC

Figure A.5 – Close-up view of loading jig

While the media used for the load can vary (lead shot, sand, metal pellets, bricks etc.), some form of metal pellet is recommended as the load medium. The columnar bags should be constructed of heavy duty material, so that they can retain their shape and surface area. The size and shape of the bag chosen should be ergonomic and hold no more than 10 kg of weight. Each bag should be filled of same medium and measured by a calibrated scale prior to placing in the appropriate channel to assure a uniform load distribution on the module. Each channel should carry equal amount of weight to assure a loading uniformity of <5 % as specified in the test.

Bibliography

IEC 60050-311, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 300: Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements – Part 312: General terms relating to electrical measurements – Part 313: Types of electrical measuring instruments – Part 314: Specific terms according to the type of instrument*

IEC 62506, *Methods for product accelerated testing*

IEC 62938:2020, *Photovoltaic (pv) modules – Non-uniform snow load testing*

IEC 62941, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Quality system for PV module manufacturing*

IEC TS 63126, *Guidelines for qualifying PV modules, components and materials for operation at high temperatures*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	60
INTRODUCTION	62
1 Domaine d'application	63
2 Références normatives	64
3 Termes et définitions	65
4 Procédures d'essai	66
4.1 Examen visuel (MQT 01)	66
4.1.1 Objet	66
4.1.2 Procédure	66
4.1.3 Exigences	67
4.2 Détermination de la puissance maximale (MQT 02)	67
4.2.1 Objet	67
4.2.2 Appareillage	67
4.2.3 Procédure	67
4.3 Essai diélectrique (MQT 03)	68
4.3.1 Objet	68
4.3.2 Appareillage	68
4.3.3 Conditions d'essai	68
4.3.4 Procédure	68
4.3.5 Exigences d'essai	69
4.4 Mesurage des coefficients de température (MQT 04)	69
4.5 Espace réservé, auparavant NMOT	69
4.6 Performances dans les STC (MQT 06.1)	70
4.6.1 Objet	70
4.6.2 Appareillage	70
4.6.3 Procédure de mesure dans les STC (MQT 06.1)	70
4.7 Performances sous faible éclairage (MQT 07)	71
4.7.1 Objet	71
4.7.2 Appareillage	71
4.7.3 Procédure	71
4.8 Essai d'exposition en site naturel (MQT 08)	72
4.8.1 Objet	72
4.8.2 Appareillage	72
4.8.3 Procédure	72
4.8.4 Mesurages finaux	72
4.8.5 Exigences	72
4.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé (MQT 09)	73
4.9.1 Objet	73
4.9.2 Effet de l'échauffement localisé	73
4.9.3 Classification des interconnexions de cellules	74
4.9.4 Appareillage	75
4.9.5 Procédure	76
4.9.6 Mesurages finaux	84
4.9.7 Exigences	84
4.10 Essai de préconditionnement aux UV (MQT 10)	84
4.10.1 Objet	84

4.10.2	Appareillage	84
4.10.3	Procédure.....	85
4.10.4	Mesurages finaux	85
4.10.5	Exigences.....	85
4.11	Essai de cycle thermique (MQT 11)	85
4.11.1	Objet	85
4.11.2	Appareillage	85
4.11.3	Procédure.....	86
4.11.4	Mesurages finaux	87
4.11.5	Exigences.....	87
4.12	Essai humidité-gel (MQT 12).....	88
4.12.1	Objet	88
4.12.2	Appareillage	88
4.12.3	Procédure.....	88
4.12.4	Mesurages finaux	88
4.12.5	Exigences.....	89
4.13	Essai de chaleur humide (MQT 13)	89
4.13.1	Objet	89
4.13.2	Appareillage	89
4.13.3	Procédure.....	89
4.13.4	Mesurages finaux	90
4.13.5	Exigences.....	90
4.14	Essai de robustesse des sorties (MQT 14)	90
4.14.1	Objet	90
4.14.2	Maintien de la boîte de jonction sur la surface de montage (MQT 14.1)	90
4.14.3	Essai du serre-cordon (MQT 14.2)	91
4.15	Essai de courant de fuite en milieu humide (MQT 15)	91
4.15.1	Objet	91
4.15.2	Appareillage	91
4.15.3	Procédure.....	91
4.15.4	Exigences.....	92
4.16	Essai de charge mécanique statique (MQT 16)	92
4.16.1	Objet	92
4.16.2	Appareillage	93
4.16.3	Procédure.....	93
4.16.4	Mesurages finaux	94
4.16.5	Exigences.....	94
4.17	Essai à la grêle (MQT 17)	94
4.17.1	Objet	94
4.17.2	Appareillage	94
4.17.3	Procédure.....	95
4.17.4	Mesurages finaux	96
4.17.5	Exigences.....	96
4.18	Essai de la diode de dérivation (MQT 18).....	97
4.18.1	Essai thermique de la diode de dérivation (MQT 18.1).....	97
4.18.2	Essai fonctionnel de la diode de dérivation (MQT 18.2)	100
4.19	Stabilisation (MQT 19)	101
4.19.1	Généralités	101
4.19.2	Définition de critères pour la stabilisation	102

4.19.3	Procédures de stabilisation induite par la lumière	102
4.19.4	Autres procédures de stabilisation	103
4.19.5	Stabilisation initiale (MQT 19.1)	103
4.19.6	Stabilisation finale (MQT 19.2)	104
4.19.7	Stabilisation spécifique aux contraintes – BO LID (MQT 19.3)	104
4.20	Essai de charge mécanique cyclique (dynamique) (MQT 20)	105
4.20.1	Objet	105
4.20.2	Procédure	105
4.20.3	Mesurages finaux	105
4.20.4	Exigences	105
4.21	Essai de dégradation induite par le potentiel (MQT 21)	105
4.21.1	Objet	105
4.21.2	Échantillons	105
4.21.3	Appareillage	106
4.21.4	Procédure	106
4.21.5	Mesurages finaux	106
4.21.6	Exigences	106
4.22	Essai de flexion (MQT 22)	107
4.22.1	Objet	107
4.22.2	Appareillage	107
4.22.3	Procédure	107
4.22.4	Mesurages finaux	107
4.22.5	Exigences	107
Annexe A (informative) Configuration recommandée pour la gestion des poids pendant la charge mécanique (MQT 16)		108
Bibliographie		112
Figure 1 – Cas S, connexion en série avec diode de dérivation facultative		74
Figure 2 – Cas PS, connexion en parallèle-série avec diode de dérivation facultative		74
Figure 3 – Cas SP, connexion en série-parallèle avec diode de dérivation facultative		75
Figure 4 – Caractéristiques $I-V$ d'un module équipé de cellules totalement ombrées		77
Figure 5 – Caractéristiques $I-V$ d'un module avec la cellule d'essai ombrée à différents niveaux		79
Figure 6 – Effet de l'échauffement localisé dans un module à couches minces à intégration monolithique composé de cellules montées en série		80
Figure 7 – Essai de cycle thermique – Profil de température et de courant appliqué		86
Figure 8 – Fixation correcte d'un poids de 5 N à la boîte de jonction pour le module en utilisant a) des fils de sortie électriques, b) ou un fil de fixation et c) une seule boîte de jonction		87
Figure 9 – Cycle humidité-gel – Profil température/humidité		89
Figure 10 – Équipement pour l'essai à la grêle		95
Figure 11 – Points d'impact de l'essai à la grêle: en haut pour les technologies fondées sur des plaques/cellules, en bas pour les technologies à couches minces à intégration monolithique		97
Figure 12 – Essai thermique de la diode de dérivation		99
Figure A.1 – Vues en 3D (à gauche de la figure), de face latérale (en haut à droite), et de profil (en bas à droite) d'un pont-portique sur un dispositif mécanique de montage et un dispositif mécanique de chargement		108

Figure A.2 – Vues en 3D rapprochées du dispositif mécanique de montage (à droite) et de chargement (à gauche)	109
Figure A.3 – Vue en 2D du dispositif mécanique de montage et de chargement	110
Figure A.4 – Vue en 3D du dispositif mécanique de chargement	110
Figure A.5 – Vue rapprochée du dispositif mécanique de chargement.....	111
 Tableau 1 – Niveaux de contrainte de tension.....	 69
Tableau 2 – Masses des billes de glace et vitesses d'essai	95
Tableau 3 – Points d'impact.....	96

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) POUR APPLICATIONS TERRESTRES – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION –

Partie 2: Procédures d'essai

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61215-2 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition de l'IEC 61215-2 annule et remplace la première édition de l'IEC 61215-2 parue en 2016; elle constitue une révision technique.

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

- a) Ajout de l'essai de charge mécanique cyclique (dynamique) (MQT 20 - Module Quality Test, essai de qualité du module).
- b) Ajout d'un essai de détection de la dégradation induite par le potentiel (MQT 21).

- c) Ajout de méthodes d'essai exigées pour les modules PV bifaces.
- d) Ajout de méthodes d'essai exigées pour les modules flexibles. Cette disposition inclut l'ajout de l'essai de flexion (MQT 22).
- e) Révision des exigences du simulateur pour assurer à la fois la définition appropriée et la réduction le plus possible de l'incertitude.
- f) Correction de l'essai de tenue à l'échauffement localisé, dont la procédure pour les technologies à couches minces à intégration monolithique (MLI - monolithic integration) (MQT 09.2) comprenait précédemment deux sections décrivant une méthode uniquement adaptée aux modules en silicium.
- g) Choix de trois diodes, plutôt que de toutes les diodes d'essai, pour l'essai thermique de la diode de dérivation (MQT 18).
- h) Suppression de l'essai nominal de fonctionnement du module (NMOT - nominal module operating test), et de l'essai associé de performances à la température nominale de fonctionnement du module (NMOT - nominal module operating temperature), issus de la série IEC 61215.

L'Annexe A informative de l'IEC 61215-1:2021, explique le contexte et la justification qui sous-tendent certaines des modifications les plus significatives apportées à la série IEC 61215 lors du passage de l'édition 1 à l'édition 2.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1829/FDIS	82/1853/RVD

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

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61215, publiées sous le titre général *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

INTRODUCTION

Alors que la Partie 1 de la présente série de normes décrit les exigences (de manière générale et spécifiques par rapport à la technologie du dispositif), les sous-parties de la Partie 1 définissent les variations technologiques, tandis que la Partie 2 définit un ensemble de procédures d'essai nécessaires pour la qualification de la conception et l'homologation. Les procédures d'essai décrites dans la Partie 2 sont valides pour toutes les technologies de dispositifs.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61215-2:2021

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) POUR APPLICATIONS TERRESTRES – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION –

Partie 2: Procédures d'essai

1 Domaine d'application

Le présent document établit les exigences concernant la qualification de conception des modules photovoltaïques terrestres appropriés à un fonctionnement de longue durée dans des climats à l'air libre. La durée de vie utile des modules ainsi qualifiés dépend de leur conception, de leur environnement et de leurs conditions de fonctionnement. Les résultats d'essai ne sont pas une prévision quantitative de la durée de vie des modules.

Sous des climats pour lesquels les températures de fonctionnement du 98^e centile dépassent 70 °C, il est recommandé que les utilisateurs tiennent compte des essais dans des conditions d'essai à des températures plus élevées telles qu'elles sont décrites dans l'IEC TS 63126¹. Il est recommandé que les utilisateurs qui recherchent la qualification de produits PV dont la durée de vie prévue est inférieure tiennent compte des essais conçus pour les PV de l'électronique grand public, tels qu'ils sont décrits dans l'IEC TS 63163 (en cours d'élaboration). Les utilisateurs qui souhaitent avoir l'assurance que les caractéristiques soumises à l'essai dans l'IEC 61215 apparaissent de manière constante dans un produit fabriqué peuvent souhaiter utiliser l'IEC 62941 pour ce qui concerne les systèmes de qualité pour la fabrication des modules photovoltaïques.

Le présent document est destiné à s'appliquer à tous les matériaux de modules à plaque plane pour applications terrestres, tels que les types de modules au silicium cristallin et les modules à couches minces.

Le présent document ne s'applique pas aux modules utilisés avec un ensoleillement intense, même s'il peut être utilisé pour les modules à faible concentration (ensoleillement 1 à 3). Pour les modules à faible concentration, tous les essais sont réalisés en utilisant les niveaux d'éclairement, de courant, de tension et de puissance prévus à la concentration théorique.

L'objet de cette séquence d'essais est de déterminer les caractéristiques électriques du module et d'indiquer, dans la mesure du possible avec des contraintes de coût et de temps raisonnables, que le module est capable de supporter une exposition prolongée en site naturel. Les conditions d'essais accélérés sont fondées de manière empirique sur les conditions nécessaires pour reproduire les défaillances sur le terrain observées sélectionnées et sont appliquées de manière égale aux types de modules. Les facteurs d'accélération peuvent varier avec la conception du produit et ainsi les mécanismes de dégradation peuvent ne pas tous se produire. D'autres informations générales concernant les méthodes d'essais accélérés y compris les définitions des termes peuvent être consultées dans l'IEC 62506.

Certains mécanismes de dégradation à long terme ne peuvent raisonnablement être détectés que par l'intermédiaire d'essais des composants, car une longue période est nécessaire à l'apparition des défaillances et car des conditions de contraintes chères à produire sur des zones étendues sont nécessaires. Les essais de composants qui ont atteint un niveau de maturité suffisant pour établir un degré élevé de confiance des critères d'acceptation/de refus sont intégrés dans la série IEC 61215 au sein du Tableau 1 de l'IEC 61215-1:2021. A l'inverse, les procédures d'essai décrites dans cette série sont effectuées sur des modules dans l'IEC 61215-2.

¹ L'IEC TS 63126 donne des informations relatives aux températures de fonctionnement du 98^e centile en fonction de l'emplacement du système et de la configuration du montage.

2 Références normatives

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

IEC 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 60068-2-21, *Essais d'environnement – Partie 2-21: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de montage incorporés*

IEC 60068-2-78:2012, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

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

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

IEC 60904-1-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1-1: Mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions*

IEC TS 60904-1-2, *Photovoltaic devices – Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices* (disponible en anglais seulement)

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

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

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

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

IEC 60904-9:2020, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Classification des caractéristiques des simulateurs solaires*

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

IEC TR 60904-14 *Photovoltaic devices – Part 14: Guidelines for production line measurements of single-junction PV module maximum power output and reporting at standard test conditions* (disponible en anglais seulement)

IEC 61140, *Protection contre les chocs électriques - Aspects communs aux installations et aux matériels*

IEC 61215-1:2021, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie -1: Exigences d'essai*

IEC 61215-1-1, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation - Partie 1-1: Exigences particulières d'essai des modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin*

IEC 61730-1:2016, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1: Exigences pour la construction*

IEC 61730-2, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2: Exigences pour les essais*

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

IEC TS 62782, *Photovoltaic (PV) modules – Cyclic (dynamic) mechanical load testing* (disponible en anglais seulement)

IEC 62790, *Boîtes de jonction pour modules photovoltaïques – Exigences de sécurité et essais*

IEC TS 62804-1:2015, *Photovoltaic (PV) modules – Test methods for the detection of potential-induced degradation – Part 1: Crystalline silicon* (disponible en anglais seulement)

IEC TS 63163: –² *Terrestrial photovoltaic (PV) modules for consumer products – Design qualification and type approval* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC TS 61836 et de l'IEC 61215-1:2021, ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

exactitude <d'un appareil de mesure>

qualité qui caractérise l'aptitude d'un appareil de mesure à donner une valeur indiquée proche d'une valeur vraie du mesurande [conforme au Vocabulaire International de Métrologie (VIM) 5.18]

Note 1 à l'article: Ce terme est utilisé dans l'approche "valeur vraie".

Note 2 à l'article: L'exactitude est d'autant meilleure que la valeur indiquée est plus proche de la valeur vraie correspondante.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-08]

3.2

dispositif de commande

capteur d'éclairement (cellule ou module de référence, par exemple) utilisé pour détecter les dérives et autres problèmes du simulateur de rayonnement solaire

² En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: ADTS.

3.3

niveau de sortie de puissance électriquement stable

état du module photovoltaïque (PV) dans lequel il fonctionnera sous une exposition prolongée à un éclairage solaire naturel

3.4

répétabilité <des mesures>

étroitesse de l'accord entre les résultats des mesures successives du même mesurande, effectuées dans les mêmes conditions de mesure, c'est-à-dire:

- suivant le même mode opératoire,
- par le même observateur,
- au moyen des mêmes appareils de mesure,
- utilisés dans les mêmes conditions,
- dans le même laboratoire,

à des intervalles de temps assez courts [$\approx$ VIM 3.6].

Note 1 à l'article: La notion de "mode opératoire" est définie en 2.5 dans le VIM.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-06]

3.5

point 1

comparaison des critères d'acceptation / de rejet entre les performances d'un module et ses spécifications de plaque signalétique, comme cela est décrit dans l'IEC 61215-1:2021

3.6

point 2

comparaison des critères d'acceptation / de rejet entre les performances d'un module avant et après contrainte, comme cela est décrit dans l'IEC 61215-1:2021

4 Procédures d'essai

Les paragraphes suivants fournissent des instructions détaillées sur la réalisation de chaque essai de qualité du module (MQT). L'IEC 61215-1 décrit les exigences relatives au rapport et à la séquence d'essais de qualification.

4.1 Examen visuel (MQT 01)

4.1.1 Objet

Détecter tout défaut visuel dans le module.

4.1.2 Procédure

Examiner soigneusement chaque module sous un éclairage supérieur ou égal à 1 000 lux selon les conditions et observations définies dans l'IEC 61215-1:2021.

Relever et/ou photographier tous les défauts qui peuvent être des défauts visuels majeurs, tels qu'ils sont définis dans l'IEC 61215-1. Relever et/ou photographier également la nature et l'emplacement des fêlures, bulles ou décollements interlaminaires, etc., qui peuvent se détériorer et compromettre les performances du module lors des essais qui suivent. Enregistrer toutes les autres informations pertinentes concernant l'origine de la défaillance et les conditions d'essai ou de laboratoire associées.

4.1.3 Exigences

Il n'est admis aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021.

4.2 Détermination de la puissance maximale (MQT 02)

4.2.1 Objet

Déterminer la puissance maximale du module après stabilisation, et avant et après les différents essais de contrainte d'environnement.

4.2.2 Appareillage

- a) Un appareillage de mesure des caractéristiques $I-V$ conformément à l'IEC 60904-1.
- b) Un dispositif PV de référence conforme à l'IEC 60904-2.
- c) Au moins une des deux options suivantes qui permettent de réduire la composante de désadaptation des réponses spectrales de l'incertitude doit être utilisée:
 - Effectuer une correction de désadaptation des réponses spectrales. La sensibilité spectrale du module doit être mesurée conformément à l'IEC 60904-8. Les données de réponse spectrale peuvent provenir du même laboratoire effectuant l'essai IEC 61215-2:2021 ou d'un autre laboratoire. L'échantillon utilisé pour obtenir les données de réponse spectrale peut être le module d'essai ou une cellule de référence fabriquée avec la même nomenclature que celle du module d'essai. La répartition spectrale du simulateur solaire doit ensuite être utilisée pour corriger la désadaptation des réponses spectrales conformément à l'IEC 60904-7.
 - Utiliser une cellule ou un module de référence adapté. Le dispositif de référence doit être de la même technologie de cellule que le module d'essai pour correspondre à la sensibilité spectrale. Il n'existe pas d'exigences applicables à la taille de la cellule ou du module.
- d) Une source de rayonnement: éclairage solaire naturel ou simulateur solaire de classe CAA ou meilleur conforme à l'IEC 60904-9. Pour les modules de très grande taille (définis dans l'IEC 61215-1:2021), un simulateur de classe CBA peut être utilisé.

NOTE 1 La classe CBA est définie conformément à l'IEC 60904-9. La correspondance spectrale AM1.5 est classée dans la catégorie C, la non-uniformité de l'éclairement pour la taille du module classée dans la catégorie B, et la stabilité temporelle de l'éclairement dans la catégorie A.

Pour obtenir une exactitude élevée du mesurage de puissance, il convient que la répartition de l'éclairement spectral du simulateur solaire couvre l'ensemble de la plage de longueurs d'onde couverte par la sensibilité spectrale du dispositif PV en essai. Voir l'IEC TR 60904-14 et l'IEC 60904-9:2020.
- e) Un support approprié pour maintenir l'éprouvette d'essai et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.

NOTE 2 Les procédures de mesure de MQT 02, par exemple celles qui sont effectuées par un laboratoire d'essai certifié, sont conçues pour une incertitude minimale. Des exigences moindres, telles que l'utilisation de simulateurs de classe CAB, peuvent convenir à d'autres applications (par exemple, le contrôle de la qualité en usine). Les applications qui n'exigent que la répétabilité, comme la comparaison des performances du module avant et après une contrainte prolongée, peuvent souhaiter assouplir les exigences de correction de désadaptation des réponses spectrales.

4.2.3 Procédure

Déterminer les caractéristiques courant-tension du module conformément à l'IEC 60904-1 à un ensemble particulier de conditions de température et d'éclairement (une plage recommandée est une température de cellule comprise entre 20 °C et 50 °C et un éclairement compris entre 700 W/m² et 1 100 W/m²), en utilisant l'appareillage décrit en 4.2.2. Dans des circonstances particulières, lorsque les modules sont conçus pour fonctionner dans une plage différente de conditions, les caractéristiques courant-tension peuvent être mesurées en utilisant des niveaux de température et d'éclairement similaires aux conditions de fonctionnement attendues. Pour les modules linéaires (tels que ceux définis dans l'IEC 60904-10), la température et l'éclairement peuvent être corrigés conformément à l'IEC 60891 afin de comparer des

ensembles de mesurages réalisés sur le même module avant et après les essais d'environnement. Pour les modules non linéaires (tels que ceux définis dans l'IEC 60904-10), le mesurage doit être réalisé à $\pm 5\%$ de l'éclairement spécifié et à $\pm 2\text{ °C}$ de la température spécifiée. Cependant, il convient de veiller à réaliser les mesurages de la puissance de crête dans des conditions de fonctionnement similaires, ce qui signifie de réduire le plus possible l'amplitude de la correction en effectuant tous les mesurages de la puissance de crête sur un module particulier approximativement à la même température et au même éclairement.

Concernant les modules flexibles, la puissance maximale doit être déterminée avec le module flexible en position à plat.

4.3 Essai diélectrique (MQT 03)

4.3.1 Objet

Déterminer si oui ou non le module est suffisamment bien isolé entre les parties actives et les parties accessibles.

4.3.2 Appareillage

- a) Une source de tension à courant continu disposant d'un limiteur de courant capable d'appliquer la tension spécifiée dans la troisième colonne du Tableau 1 pour les différentes classes du module.
- b) Un appareil de mesure de la résistance d'isolement.

4.3.3 Conditions d'essai

L'essai doit être réalisé sur les modules à la température ambiante de l'atmosphère environnante (voir l'IEC 60068-1) et à une humidité relative ne dépassant pas 75 %.

Les niveaux de contrainte de tension appliqués au module sont déterminés par la tension maximale du réseau (V_{sys}) du module, la classe du module et la présence ou non de joints collés. Les définitions des classes de module sont issues de l'IEC 61140, et sont traitées en relation avec les modules PV à l'Article 4 de l'IEC 61730-1:2016. La définition des joints collés est donnée en 3.4.2 de l'IEC 61730-1:2016, et est par ailleurs traitée dans les Articles B.5 et B.9 de l'IEC 61730-1:2016. Les niveaux de contrainte de tension appliqués dans cet essai sont les mêmes que ceux appliqués pour le MST 16 de l'IEC 61730-2.

4.3.4 Procédure

- a) Connecter les bornes de sortie court-circuitées du module à la borne positive d'un dispositif d'essai diélectrique à courant continu disposant d'un limiteur de courant.
- b) Connecter les parties métalliques exposées du module à la borne négative du dispositif d'essai. Si le module n'a pas de cadre ou que le cadre est un faible conducteur, envelopper les bords d'une feuille conductrice. Connecter les parties recouvertes de feuille à la borne négative du dispositif d'essai.
- c) Certaines technologies de modules peuvent être sensibles à la polarisation statique si le module est fixé au cadre à une tension positive. Dans ce cas, la connexion du dispositif d'essai doit être effectuée dans l'autre sens. S'il y a lieu, le fabricant doit fournir les informations relatives à la sensibilité à la polarisation statique, et ces informations doivent être consignées dans le rapport d'essai.
- d) Relever la tension de "préconditionnement d'une minute", V_{Test1} , de la troisième colonne du Tableau 1. Augmenter la tension appliquée par le dispositif d'essai à une vitesse qui ne dépasse pas 500 V/s jusqu'à une tension maximale égale à V_{Test1} . Maintenir la tension à ce niveau pendant 1 min.
- e) Ramener la tension appliquée à zéro, puis court-circuiter les bornes de l'équipement d'essai afin de décharger la tension produite dans le module.
- f) Enlever le court-circuit.

- g) Relever la tension de "contrainte de deux minutes", V_{Test2} , de la quatrième colonne du Tableau 1. Augmenter la tension appliquée par l'équipement d'essai à une vitesse qui ne dépasse pas 500 V/s jusqu'à la tension V_{Test2} . Maintenir la tension à ce niveau pendant 2 min, puis mesurer la résistance d'isolement.
- h) Ramener la tension appliquée à zéro, puis court-circuiter les bornes de l'équipement d'essai afin de décharger la tension produite dans le module.
- i) Enlever le court-circuit et déconnecter l'équipement d'essai du module.

Tableau 1 – Niveaux de contrainte de tension

Classe du module	Les joints collés sont-ils présents?	Préconditionnement d'1 min V_{Test1} V	Contrainte de 2 min pour le mesurage de la résistance d'isolement, V_{Test2} V
0	Non	$1\,000 + 2 \times V_{\text{sys}}$	Valeur la plus élevée entre 500 et V_{sys}
II	Non	$2\,000 + 4 \times V_{\text{sys}}$	Valeur la plus élevée entre 500 et V_{sys}
III	Non	500	500
0	Oui	$1,35 \times (1\,000 + 2 \times V_{\text{sys}})$	Valeur la plus élevée entre 500 et V_{sys}
II	Oui	$1,35 \times (2\,000 + 4 \times V_{\text{sys}})$	Valeur la plus élevée entre 500 et V_{sys}
III	Oui	$1,35 \times (500)$	500

4.3.5 Exigences d'essai

- a) Il n'existe aucun signe de rupture diélectrique ou de cheminement superficiel.
- b) Pour les modules dont la surface est inférieure à 0,1 m², la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 400 MΩ.
- c) Pour les modules dont la surface est supérieure à 0,1 m², le produit de la résistance d'isolement mesurée et de la surface du module ne doit pas être inférieur à 40 MΩ·m².

4.4 Mesurage des coefficients de température (MQT 04)

Déterminer les coefficients de température du courant (α), de la tension (β) et de la puissance de crête (δ) à partir des mesurages de modules spécifiés dans l'IEC 60891. Les coefficients ainsi déterminés sont valables pour l'éclairement sous lequel les mesurages ont été effectués. Voir l'IEC 60904-10 pour l'évaluation des coefficients de température du module à différents niveaux d'éclairement. Pour les modules bifaces, déterminer les coefficients de température en appliquant la même procédure, mais en évitant toute irradiation par la face arrière. La face arrière doit être couverte de sorte que la contribution de la face non exposée du module soit limitée ou inférieure aux niveaux spécifiés dans l'IEC TS 60904-1-2 pour l' "arrière non illuminé". Si la tension en circuit ouvert ou le courant de court-circuit ne peut pas être mesuré en raison de l'électronique intégrée au module, le coefficient de température associé doit être consigné comme "non mesurable en raison de l'électronique intégrée au module". La tension en circuit ouvert ou le courant de court-circuit ne doit pas être déterminé par une méthode autre que le mesurage direct (l'extrapolation, par exemple).

NOTE Pour les modules linéaires conformes à l'IEC 60904-10, les coefficients de température sont valables dans une plage d'éclairement à ± 30 % de ce niveau.

4.5 Espace réservé, auparavant NMOT

L'essai de température nominale de fonctionnement du module (NMOT, *nominal module operating temperature*), auparavant MQT 05, ne fait plus partie du présent document. Ce paragraphe est conservé afin que, dans les paragraphes suivants du document, les numéros des MQT soient en accord avec les numéros des paragraphes.

4.6 Performances dans les STC (MQT 06.1)

4.6.1 Objet

Déterminer la variation des performances électriques du module sous charge dans les STC (1 000 W/m², température de cellule de 25 °C, avec une répartition de l'éclairement spectral solaire de référence selon l'IEC 60904-3). L'essai MQT 06.1 est un cas de détermination de la puissance maximale (MQT 02) réalisée dans les STC. L'essai MQT 06.1 sert à vérifier les informations de la plaque signalétique du module et à déterminer la perte de puissance résultant des essais de contrainte. L'incertitude, m_1 , doit inclure une composante issue de la désadaptation des réponses spectrales, fondée soit sur la réponse spectrale mesurée, soit sur le cas le plus défavorable pour un type de technologie donné, et la méthode utilisée pour régler l'intensité du simulateur. Pour vérifier la plaque signalétique, l'incertitude m_1 est soumise aux limites spécifiées dans les parties de la présente norme spécifiques à la technologie. Pour déterminer la perte de puissance à partir des essais de contrainte, la reproductibilité de l'essai, r , est soumise aux limites spécifiées dans les parties de la présente série de normes spécifiques à la technologie.

4.6.2 Appareillage

- L'appareillage doit être celui décrit en 4.2.2 (MQT 02).
- Il doit être aussi équipé d'un dispositif permettant de contrôler la température de l'éprouvette d'essai et du dispositif de référence avec une exactitude de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- Pour le mesurage des modules bifaces, la capacité suivante est également nécessaire: La source de rayonnement utilisée comme cela est spécifié en 4.6.2a doit pouvoir fonctionner avec des niveaux d'éclairement et/ou un éclairement arrière réglables, de sorte que le BNPI (défini dans l'IEC 61215-1:2021) puisse être appliqué selon au moins une méthode admise par l'IEC TS 60904-1-2.
- Pour le mesurage des modules multijonctions, le simulateur et le dispositif de référence doivent satisfaire aux exigences supplémentaires imposées par l'IEC 60904-1-1.

4.6.3 Procédure de mesure dans les STC (MQT 06.1)

Maintenir le module à (25 ± 2) °C et tracer ses caractéristiques courant-tension sous un éclairement de $(1\,000 \pm 100)$ W/m² (mesuré par un dispositif de référence adapté) selon l'IEC 60904-1, en utilisant l'appareillage décrit en 4.6.2.

Une température de module doit être corrigée à 25 °C en utilisant les coefficients de température, la série IEC 60904 et l'IEC 60891.

Pour les modules bifaces, les mesurages doivent se dérouler comme cela est spécifié dans l'IEC TS 60904-1-2. Le MQT 06 doit être effectué dans les STC et au BNPI à éclairement élevé pour le point 1. Chaque fois que le MQT 06 est effectué dans les STC, les coefficients de bifacialité dans les STC du courant de court-circuit ($\phi_{Jsc} = I_{scr} / I_{scf}$), de la tension en circuit ouvert ($\phi_{Voc} = V_{ocr} / V_{ocf}$) et de la puissance ($\phi_{Pmax} = P_{maxr} / P_{maxf}$) doivent être mesurés conformément à l'IEC TS 60904-1-2. La définition complète de ces grandeurs, la méthode permettant de les mesurer et les symboles utilisés pour les décrire sont spécifiés dans l'IEC TS 60904-1-2. Lors de l'évaluation du point 2, (c'est-à-dire après contrainte), le MQT 06 doit être effectué au BNPI. Après contrainte, il n'est pas nécessaire de mesurer à nouveau les coefficients de bifacialité, sauf si cela est spécifiquement indiqué dans la procédure de l'essai de contrainte MQT. Les coefficients de bifacialité mesurés avant contrainte peuvent être utilisés pour calculer l'intensité équivalente appropriée lors d'un mesurage d'éclairement monoface. Pendant l'application du MQT 06 au BNPI, toute méthode décrite dans l'IEC 60891 peut être utilisée afin de corriger l'éclairement appliqué pour obtenir l'éclairement équivalent désiré de la face avant, tant que les exigences relatives à l'incertitude maximale m_1 sont satisfaites.

NOTE 1 L'utilisation de méthodes de l'IEC 60891 pour corriger l'éclairement appliqué pour obtenir l'éclairement équivalent désiré de la face avant peut aider le dispositif d'essai à éviter l'utilisation d'un étalonnage différent du simulateur pour chaque module dont le coefficient de bifacialité est légèrement différent.

NOTE 2 Le mesurage de la performance au BSI n'est pas exigé. Lorsque les niveaux de contrainte sont fixés conformément au BSI, les courants peuvent être extrapolés à partir des intensités inférieures, comme cela est spécifiquement décrit dans les MQT qui utilisent le BSI pour les modules bifaces.

Concernant les modules flexibles, la puissance maximale doit être déterminée avec le module flexible en position à plat (c'est-à-dire complètement déplié). Pour les modules de très grande taille (définis dans l'IEC 61215-1:2021), des essais certifiés peuvent être effectués par l'organisme d'essai dans les installations du fabricant, mais doivent toujours satisfaire aux exigences énoncées en 4.6.2.

Pour les modules multijonctions, les mesurages doivent se dérouler comme cela est spécifié dans l'IEC TS 60904-1-1.

4.7 Performances sous faible éclairement (MQT 07)

4.7.1 Objet

Déterminer la variation des performances électriques du module sous charge à 25 °C et sous un éclairement de 200 W/m².

4.7.2 Appareillage

a) L'appareillage doit être celui décrit en 4.2.2 (MQT 02).

L'appareillage doit également comporter les équipements suivants:

- b) Équipement nécessaire pour modifier l'éclairement à 200 W/m² sans affecter la répartition relative de l'éclairement spectral et l'uniformité spatiale conformément à l'IEC 60904-10.
- c) Un dispositif permettant de contrôler la température de l'éprouvette d'essai et du dispositif de référence avec une exactitude de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- d) Les équipements suivants sont également nécessaires pour le mesurage des modules bifaces: Il s'agit des déflecteurs pouvant être disposés autour des bords des modules, ainsi qu'un cache non réfléchissant permettant de bloquer temporairement l'éclairement en direction du côté opposé du module, afin d'évaluer les performances avant et arrière des modules bifaces individuellement.
- e) Pour le mesurage des modules multijonctions, le simulateur et le dispositif de référence doivent satisfaire aux exigences supplémentaires imposées par l'IEC 60904-1-1.

4.7.3 Procédure

Déterminer les caractéristiques courant-tension du module à (25 ± 2) °C et sous un éclairement de (200 ± 20) W/m² (commandé par un dispositif de référence adapté) selon l'IEC 60904-1, en utilisant l'appareillage spécifié en 4.7.2. L'éclairement doit être réduit au niveau spécifié en utilisant des filtres de densité neutres ou une autre technique qui n'affecte pas la répartition de l'éclairement spectral. (Voir l'IEC 60904-10 pour des recommandations relatives à la réduction de l'éclairement sans modifier la répartition de l'éclairement spectral).

Une température de module doit être corrigée à 25 °C en utilisant les coefficients de température, la série IEC 60904 et l'IEC 60891.

Concernant les modules flexibles, la puissance maximale doit être déterminée avec le module flexible en position à plat (c'est-à-dire complètement déplié). Pour les modules de très grande taille (définis dans l'IEC 61215-1:2021), des essais certifiés peuvent être effectués par l'organisme d'essai dans les installations du fabricant, mais doivent toujours satisfaire aux exigences énoncées en 4.7.2.

Pour les modules bifaces, effectuer deux mesurages monofaces à 200 W/m², l'un sur la face avant et l'autre sur la face arrière, à l'aide de déflecteurs et d'un écran de couverture arrière. Calculer les coefficients de bifacialité sous faible éclairement conformément à la procédure

spécifiée dans l'IEC TS 60904-1-2, à l'exception de l'application d'un éclairage de 200 W/m² au lieu de 1 000 W/m².

Pour les modules multijonctions, les mesurages doivent se dérouler comme cela est spécifié dans l'IEC TS 60904-1-1.

4.8 Essai d'exposition en site naturel (MQT 08)

4.8.1 Objet

Procéder à une évaluation préliminaire de l'aptitude du module à supporter une exposition dans des conditions de site naturel, et révéler les effets d'une dégradation synergétique qui peuvent ne pas être détectés par des essais en laboratoire.

4.8.2 Appareillage

- a) Une structure dégagée pour maintenir le ou les modules d'essai et le moniteur d'irradiation solaire de la manière spécifiée. La structure doit être conçue pour réduire le plus possible la conduction thermique dégagée par les modules et pour interférer aussi peu que possible avec le libre rayonnement de chaleur provenant de leurs faces avant et arrière.

Si les modules ne sont pas conçus pour être montés sur une structure dégagée, le ou les modules d'essai doivent être montés conformément aux recommandations du fabricant.

- b) Un moniteur d'irradiation solaire exact à $\pm 5\%$, monté dans le plan du ou des modules à 0,3 m du dispositif d'essai.
- c) Des dispositifs pour monter le module, conformément aux recommandations du fabricant, dans le même plan que le moniteur d'irradiation.
- d) Une charge résistive aux dimensions telles que le module fonctionne près de son point de puissance maximale ou un dispositif électronique de suivi du point de puissance maximale (MPPT, *maximum power point tracker*).

4.8.3 Procédure

- a) Le ou les modules d'essai doivent être placés perpendiculairement à la latitude locale $\pm 5^\circ$. Noter l'angle d'inclinaison du module d'essai dans le rapport d'essai.
- b) Fixer la charge résistive ou le dispositif électronique de suivi du point de puissance maximale au module, puis installer le module dans des conditions de site naturel conformément aux recommandations du fabricant, dans le même plan que le moniteur d'irradiation. Des dispositifs de protection contre les échauffements localisés recommandés par le fabricant doivent être installés avant de soumettre le module à l'essai.
- c) Exposer le module à une irradiation (mesurée par le moniteur) d'au moins 60 kWh/m².

Les modules d'essai peuvent être nettoyés conformément aux instructions du fabricant, pendant ou après l'essai.

4.8.4 Mesurages finaux

Répéter les essais MQT 01 et MQT 15.

4.8.5 Exigences

- a) Aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021.
- b) Le courant de fuite en milieu humide doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.

4.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé (MQT 09)

4.9.1 Objet

Déterminer l'aptitude du module à supporter les effets d'un échauffement localisé en cas de polarisation inverse dus, par exemple, à la fusion d'une soudure ou à la détérioration de l'encapsulant. Ce défaut peut être provoqué par des cellules défectueuses, incompatibles ou obturées. Bien que la température absolue et la perte de puissance relative ne constituent pas des critères pour cet essai, les conditions d'échauffement localisé les plus défavorables sont utilisées pour garantir la sécurité de la conception.

4.9.2 Effet de l'échauffement localisé

L'échauffement localisé en cas de polarisation inverse d'un module se produit lorsque son courant de fonctionnement excède le courant de court-circuit (I_{sc}) réduit d'une cellule ou d'un groupe de cellules ombré ou défectueux. Lorsqu'une telle condition survient, la cellule ou le groupe de cellules affectées se retrouvent polarisés en inverse et doivent dissiper de la puissance, ce qui peut entraîner un échauffement.

Si la puissance dissipée est suffisamment élevée ou localisée, la ou les cellules polarisées en inverse peuvent s'échauffer, donnant ainsi lieu – selon la technologie utilisée – à une fusion de la soudure, une détérioration de l'encapsulant, une détérioration de la face avant et/ou arrière ou une fissuration du superstrat, du substrat et/ou du verre protecteur. La bonne utilisation des diodes de dérivation peut empêcher les dommages résultant d'un échauffement localisé.

Les caractéristiques inverses des cellules solaires peuvent varier considérablement. Les cellules peuvent faire l'objet soit d'une résistance shunt élevée lorsque les performances inverses sont limitées par la tension, soit d'une résistance shunt faible lorsque les performances inverses sont limitées par le courant. Chacun de ces types de cellules peut, de manière différente, être confronté à des problèmes d'échauffement localisé.

Cellules à faible résistance shunt:

- Les conditions d'ombrage les plus défavorables se produisent lorsque l'intégralité (ou une grande partie) de la cellule est ombrée.
- Souvent, les cellules à faible résistance shunt se présentent ainsi à cause de shunts localisés. Dans ce cas, un échauffement localisé se produit, car une grande quantité de courant traverse une zone réduite. Ce phénomène étant localisé, ce type de cellule présente un risque élevé de dispersion des performances. Les cellules dont la résistance shunt est la plus faible présentent une forte probabilité de fonctionner à des températures excessivement élevées en cas de polarisation inverse.
- L'échauffement étant localisé, les défaillances résultant d'un échauffement localisé des cellules à faible résistance shunt se produisent rapidement.

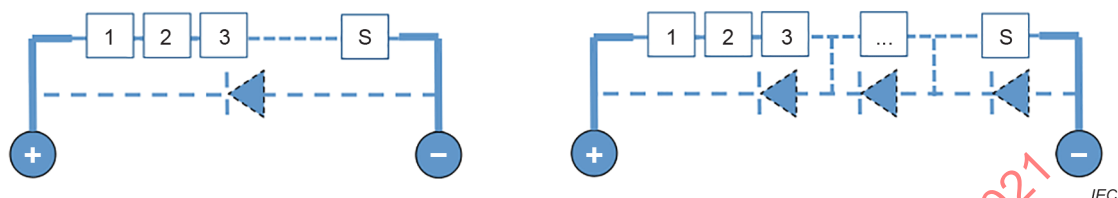
Le principal problème technique consiste à identifier les cellules dont la résistance shunt est la plus faible, puis à déterminer les conditions d'obturation les plus défavorables pour ces cellules. Ce processus dépend de la technologie et est traité dans les parties spécifiques à la technologie de la présente série de normes.

Cellules à résistance shunt élevée:

- Les conditions d'ombrage les plus défavorables se produisent lorsque la cellule est partiellement ombrée.
- Le claquage de la jonction et les températures élevées se produisent plus rarement. Il est nécessaire que l'ombrage demeure en place pendant un certain temps avant de produire un échauffement localisé le plus défavorable.

4.9.3 Classification des interconnexions de cellules

Cas S: Connexion en série de toutes les cellules dans une seule chaîne (ou branche). Voir Figure 1. Les modules à cellules connectées en série peuvent être protégés par une seule diode de dérivation (Figure 1, à gauche) ou plusieurs diodes de dérivation (Figure 1, à droite).



L'exemple présente un module protégé par une diode de dérivation (gauche) ou trois diodes de dérivation (droite).

Figure 1 – Cas S, connexion en série avec diode de dérivation facultative

Cas PS: Connexion en parallèle-série, c'est-à-dire une connexion en série de blocs (S), où chaque bloc est composé d'une connexion en parallèle d'un certain nombre de cellules (P). Voir Figure 2.

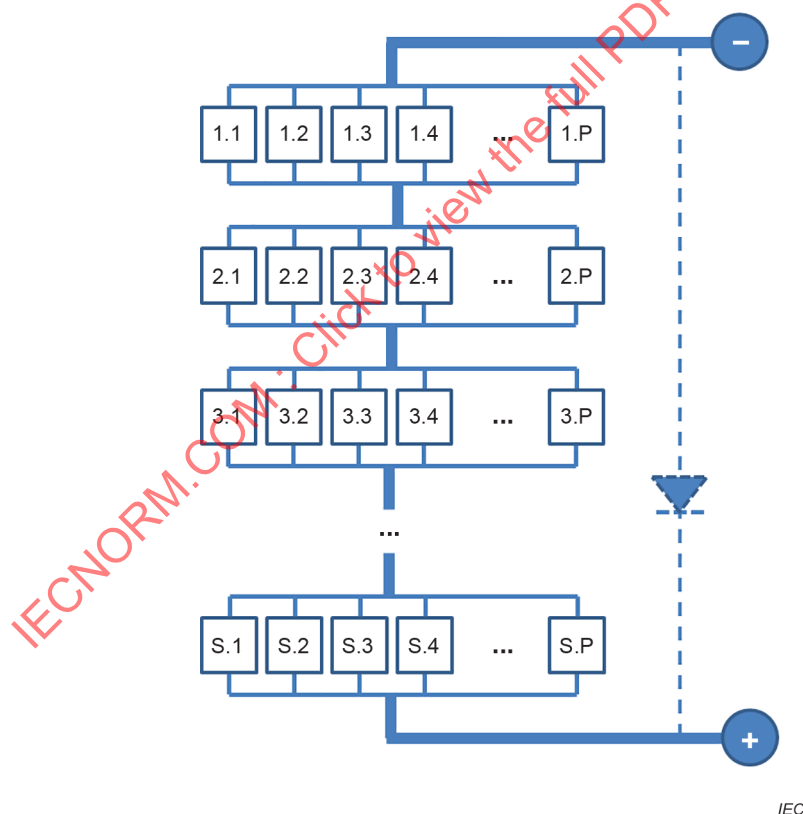


Figure 2 – Cas PS, connexion en parallèle-série avec diode de dérivation facultative

Cas SP: Connexion en série parallèle, c'est-à-dire une connexion en parallèle de blocs (P), où chaque bloc est composé d'une connexion en série d'un certain nombre de cellules (S). Voir Figure 3.

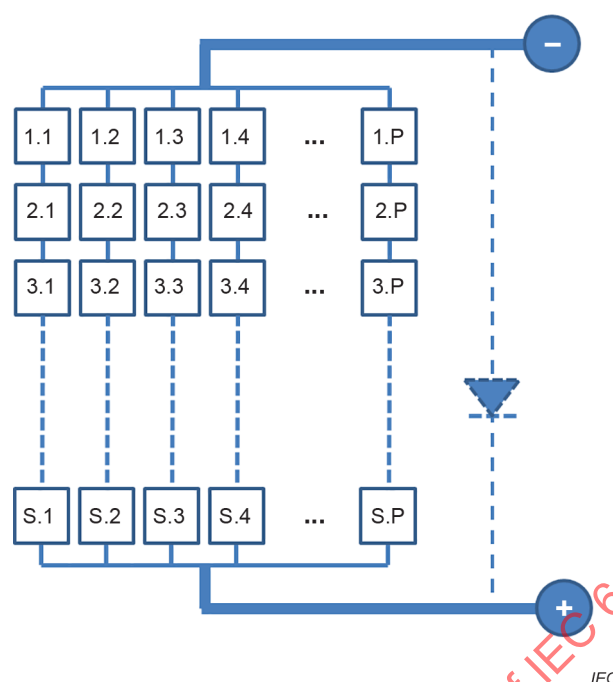


Figure 3 – Cas SP, connexion en série-parallel avec diode de dérivation facultative

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

4.9.4 Appareillage

- a) Source de rayonnement: Éclairement solaire naturel, ou simulateur solaire à éclairement continu de classe BBB (ou meilleur) conforme à l'IEC 60904-9. L'éclairement de l'une ou l'autre source de rayonnement doit être de $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$. Cette source de rayonnement est utilisée pour appliquer une contrainte de longue durée lorsque les conditions d'ombrage les plus défavorables ont été appliquées au module. Cette source de rayonnement peut être utilisée pour le choix des cellules pour l'ombrage, ou le simulateur pulsé facultatif (décrit en 4.9.4g)) peut être utilisé pour le choix des cellules.

Pour les modules bifaces, la source de rayonnement utilisée pour les expositions prolongées doit pouvoir fonctionner avec des niveaux d'éclairement et/ou un éclairement arrière réglables, de sorte que le BSI (défini dans l'IEC 61215-1:2021) puisse être appliqué selon au moins une méthode admise par l'IEC TS 60904-1-2. La tolérance de l'éclairement total, qu'elle soit appliquée dans une configuration monoface ou double face, ne doit pas dépasser $\pm 50 \text{ W/m}^2$.

- b) Un traceur de courbe $I-V$ de module.
 c) Un équipement de mesure du courant.
 d) Des caches complètement opaques pour ombrer les cellules d'essai.
 e) Une caméra infrarouge pour mesurer et enregistrer les températures de module. La caméra doit pouvoir fonctionner de sorte que la résolution des caractéristiques soit inférieure à celle d'une seule cellule.
 f) Un équipement pour enregistrer les niveaux d'éclairement, la valeur intégrée de l'éclairement et la température ambiante.

Équipement facultatif:

- g) Pour le choix des cellules plus sensibles à l'échauffement localisé, un simulateur pulsé de classe BBB ou meilleur conforme à l'IEC 60904-9 avec un éclairement compris entre 800 W/m^2 et $1\,100 \text{ W/m}^2$ pour mesurer les performances $I-V$ peut être utilisé.

4.9.5 Procédure

4.9.5.1 Généralités

Selon la technologie de cellule solaire et le procédé de fabrication utilisés, il existe deux procédures. La procédure MQT 09.1 s'applique habituellement aux technologies fondées sur des plaques (WBT, Wafer-Based Technologies) comme le silicium cristallin normalisé. La procédure MQT 09.2 s'applique aux technologies à couches minces à intégration monolithique (MLI, MonoLithically Integrated) les plus répandues (CdTe, CIGS, a-Si). Les modules bifaces doivent également être soumis à l'essai à l'aide de la procédure MQT 09.1.

Si l'essai MQT 09.1 est effectué à l'aide d'un échantillon représentatif, celui-ci doit comporter le même nombre de cellules par diode de dérivation que le produit en taille réelle. En fonction de l'effectif d'échantillon, cette exigence peut affecter le choix de la source de rayonnement nécessaire pour réaliser l'essai.

Pour toutes les technologies, le choix des dimensions et de l'emplacement de l'ombrage est effectué dans une plage d'éclairement comprise entre 800 W/m^2 et $1\,100 \text{ W/m}^2$. L'application de la contrainte prolongée est effectuée avec les spécifications d'éclairement plus strictes décrites en 4.9.4 a).

4.9.5.2 Procédure pour les technologies fondées sur des plaques (WBT) MQT 09.1

La première étape de la procédure consiste à sélectionner les cellules présentant les résistances shunt les plus faibles et les plus élevées (détaillées aux étapes c), d) et e) ci-dessous). Si le circuit du module est accessible, la circulation du courant à travers la cellule ombrée peut être contrôlée directement. Si les modules PV à soumettre à l'essai ne comportent pas de diodes amovibles ou de circuits électriques accessibles, la méthode non intrusive suivante peut être utilisée.

L'approche sélectionnée repose sur la prise en compte d'un ensemble de courbes I - V pour un module dont chaque cellule est tour à tour ombrée. La Figure 4 représente l'ensemble de courbes I - V obtenu pour un échantillon de module. La courbe présentant le courant de fuite le plus élevé au point d'activation de la diode a été prise en compte lors de l'ombrage de la cellule présentant la résistance shunt la plus faible. La courbe présentant le courant de fuite le plus faible au point d'activation de la diode a été prise en compte lors de l'ombrage de la cellule présentant la résistance shunt la plus élevée.

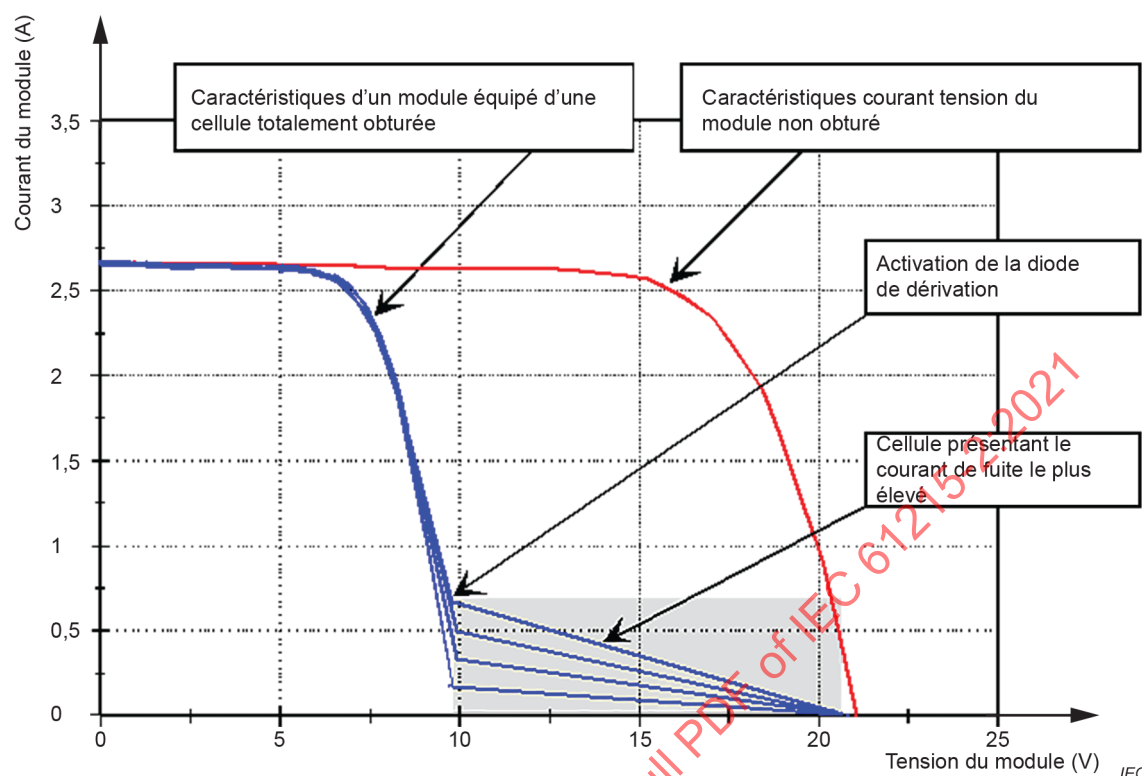


Figure 4 – Caractéristiques I - V d'un module équipé de cellules totalement ombrées

Utiliser la procédure suivante pour identifier les cellules sensibles aux échauffements localisés:

- a) Exposer le module non ombré à la source de rayonnement dont l'éclairement se situe entre 800 W/m^2 et $1\,100 \text{ W/m}^2$ en utilisant l'un des éléments suivants:
 - Un simulateur solaire pulsé dont la température de module est proche de la température ambiante (25 ± 5) °C.
 - Un simulateur solaire à éclairement continu dont la température de module doit être stabilisée à ± 5 °C avant de commencer les mesurages.
 - Un éclairement solaire pour lequel la température de module doit être stabilisée à ± 5 °C avant de commencer les mesurages.

Concernant les modules bifaces, l'exposition en vue de la sélection de cellules s'effectue sur l'avant du module. La face arrière du module est couverte pour limiter suffisamment la contribution du côté du module qui n'est pas exposé jusqu'aux niveaux ou en dessous des niveaux spécifiés dans l'IEC TS 60904-1-2 pour l' "arrière du module non éclairé".

- b) Ombler totalement chaque cellule l'une après l'autre, mesurer la courbe I - V obtenue et préparer un ensemble de courbes s'apparentant à celles de la Figure 4. Les faces avant et arrière de la cellule doivent être entièrement ombrées lorsque l'éclairement double face est utilisé pour les modules bifaces. Si l'éclairement monoface est utilisé, l'ombrage arrière est réalisé selon l'exigence de l'arrière du module non éclairé définie dans l'IEC TS 60904-1-2.

NOTE Dans le cas SP, la déformation de la courbe I - V du module est ajoutée à la courbe I - V sectionnelle de la sous-section parallèle entièrement éclairée, et ne continue donc pas jusqu'à V_{oc} .

- c) Sélectionner la cellule adjacente au bord du module présentant la résistance shunt la plus faible, c'est-à-dire celle présentant le courant de fuite le plus élevé.
- d) Sélectionner les deux cellules aux résistances shunt les plus faibles, en plus de la cellule sélectionnée à l'étape c), celles présentant le courant de fuite le plus élevé.
- e) Sélectionner la cellule présentant la résistance shunt la plus élevée.

- f) Pour les modules bifaces, les cellules qui sont éventuellement ombrées en permanence de par leur conception (par exemple, boîte de jonction ou rails à l'arrière) doivent également être sélectionnées pour l'essai de tenue à l'échauffement localisé.
- g) Commencer la procédure d'essai des cellules en déterminant la condition d'ombrage la plus défavorable pour chacune des cellules sélectionnées:
 - 1) Exposer le module non ombré à un éclairage monoface sur la plage allant de 800 W/m^2 à $1\,100 \text{ W/m}^2$. L'exposition doit satisfaire aux exigences décrites en 4.9.5.2 a).
 - 2) Après stabilisation thermique à $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, mesurer les caractéristiques I - V du module et déterminer le courant à la puissance maximale I_{MP1} (performances initiales P_{MP1}).
 - 3) Exposer le module à un éclairage qui satisfait aux exigences du 4.9.5.2 a). Utiliser ensuite l'une des méthodes décrites à l'étape 4) ci-dessous pour déterminer la condition d'obturation la plus défavorable pour chaque cellule sélectionnée.
 - 4) Pour déterminer l'ombrage le plus défavorable pour chacune des cellules d'essai sélectionnées, utiliser l'une des méthodes i) à iii) ci-dessous.
 - i) Si le circuit de la cellule est accessible, court-circuiter le module et fixer l'équipement de mesure du courant de sorte qu'il ne mesure que le courant circulant dans la chaîne de cellules à l'essai. Pour chacune des cellules d'essai sélectionnées, ombrer chacune d'elles et déterminer le niveau d'ombrage auquel le courant à travers la cellule ombrée coïncide avec la valeur I_{MP1} non ombrée déterminée à l'étape g)2). Il s'agit de la condition d'ombrage la plus défavorable pour cette cellule.
 - ii) Si le circuit de la cellule n'est pas accessible, la première option de détermination de la condition d'ombrage la plus défavorable consiste à utiliser les courbes I - V . Prendre un ensemble de courbes I - V avec chacune des cellules d'essai sélectionnées ombrées à différents niveaux comme le représente la Figure 5. Déterminer la condition d'ombrage la plus défavorable, qui survient lorsque le courant à travers la cellule ombrée (c'est-à-dire le point où la diode de dérivation s'active) coïncide avec la valeur I_{MP1} non ombrée initiale déterminée en a), comme la courbe c) à la Figure 5, au même niveau d'éclairage utilisé en a). Si la diode de dérivation ne s'active pas lorsque la cellule sélectionnée est entièrement obturée, la condition d'échauffement localisé la plus défavorable est obtenue en ombrant totalement la cellule.
 - iii) Si le circuit de la cellule n'est pas accessible, la deuxième option de détermination de la condition d'ombrage la plus défavorable consiste à effectuer des mesurages de température. Court-circuiter le module. Ombrer tour à tour chacune des cellules d'essai sélectionnées à 100 %, puis mesurer la température de cellule. Diminuer l'ombrage de 10 %. Si la température diminue, alors l'ombrage à 100 % génère la condition la plus défavorable. Si la température augmente ou reste stable, continuer à diminuer l'ombrage de 10 % jusqu'à ce que la température diminue. Utiliser le niveau d'ombrage précédent comme étant le plus défavorable.
 - 5) Pour la cellule sélectionnée en c) (c'est-à-dire, la cellule du bord avec la résistance shunt la plus faible), le positionnement du masque appliqué pendant l'exposition prolongée doit être spécifié davantage. Court-circuiter le module. Utiliser une caméra infrarouge pour déterminer le point le plus chaud de la cellule lorsqu'elle est ombrée à 100 %. Dans la mesure du possible, vérifier que ce point le plus chaud se trouve dans la zone éclairée pendant l'exposition prolongée de l'étape i).
- h) Ombrer une cellule sélectionnée qui a été identifiée aux étapes c) à f), à la condition la plus défavorable déterminée en g). Si un éclairage double face est utilisé à l'étape i) pour un module biface, la cellule doit être masquée de manière identique sur la face arrière.
- i) Court-circuiter le module. Exposer le module à un éclairage continu. Pour les modules monofaces, l'éclairage doit être de $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$. Pour les modules bifaces, l'éclairage doit être égal à $BSI \pm 50 \text{ W/m}^2$. Cet essai doit être réalisé à une température de module comprise dans la plage de $(55 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$.

- j) Maintenir la condition d'ombrage la plus défavorable déterminée en g) pendant 1 h pour la cellule sélectionnée. Si la température de la cellule obturée augmente toujours au bout de 1 h, poursuivre pendant un temps d'exposition total de 5 h.
- k) Répéter les étapes h) à j) pour chacune des cellules sélectionnées aux étapes c) à f).

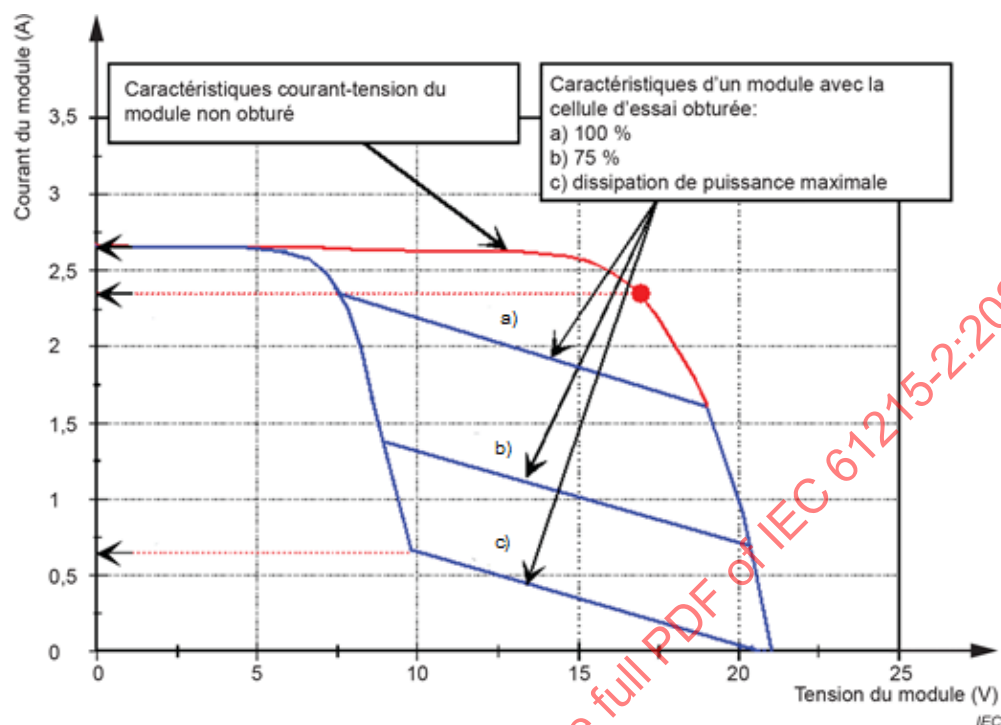


Figure 5 – Caractéristiques I - V d'un module avec la cellule d'essai ombrée à différents niveaux

4.9.5.3 Procédure pour les technologies à couches minces à intégration monolithique MQT 09.2

4.9.5.3.1 Généralités

L'essai de tenue à l'échauffement localisé est réalisé avec le module exposé à un éclairement de $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ pendant l'exposition prolongée.

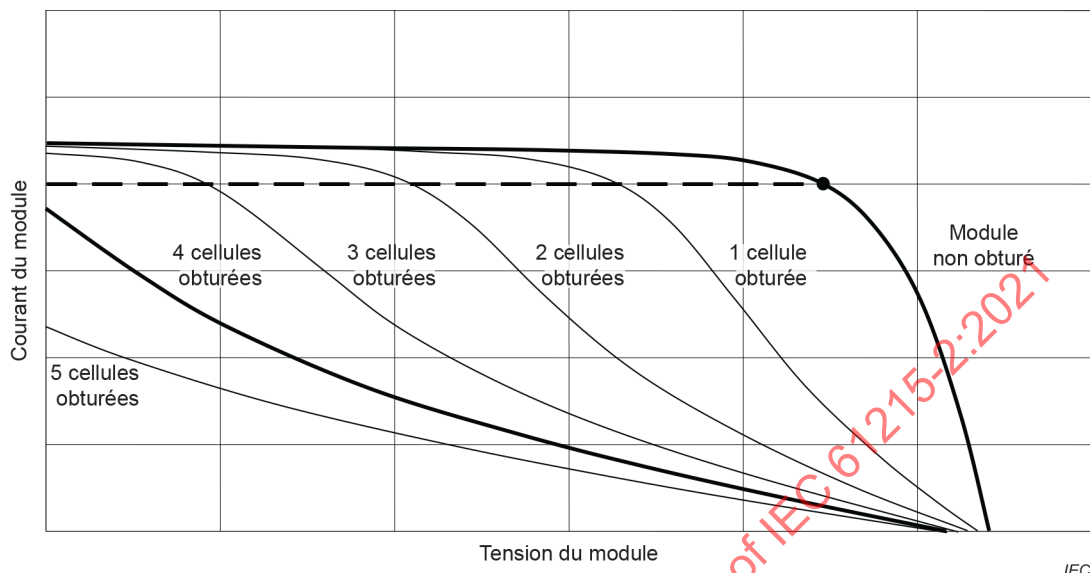
NOTE Le circuit d'interconnexion des cellules à couches minces à intégration monolithique montées en série ne comporte généralement aucune diode de dérivation. Par conséquent, la tension inverse des cellules ombrées n'est pas limitée et la tension du module peut polariser en inverse un groupe de cellules.

Un ombrage de court terme peut déjà avoir un impact négatif sur les performances électriques d'un module à couches minces à intégration monolithique. Un soin particulier doit être apporté à faire une distinction claire entre les effets causés par les conditions les plus défavorables et l'essai de tenue à l'échauffement localisé. Les valeurs de $P_{\text{max}1}$ (avant l'application de tout ombrage), de $P_{\text{max}2}$ (après l'identification des conditions les plus défavorables au moyen de l'ombrage) et de $P_{\text{max}3}$ (après l'application d'une contrainte prolongée) sont déterminées à cet effet.

4.9.5.3.2 Cas S

La Figure 6 représente l'effet de l'échauffement localisé dans un module à couches minces à intégration monolithique composé de cellules montées en série, lorsqu'un nombre différent de cellules est complètement ombré. La quantité de puissance dissipée dans les cellules ombrées est égale au produit du courant dans le module et de la tension inverse qui apparaît dans le groupe de cellules ombrées. Pour tout niveau d'éclairement, la puissance maximale est dissipée

lorsque la tension inverse traversant les cellules ombrées est égale à la tension produite par les cellules éclairées restantes dans le module (condition d'ombrage la plus défavorable). C'est notamment le cas lorsque le courant de court-circuit du module ombré est égal au courant à la puissance maximale du module non ombré.



NOTE Dans cet exemple, la condition d'ombrage la plus défavorable ombre les 4 cellules simultanément.

Figure 6 – Effet de l'échauffement localisé dans un module à couches minces à intégration monolithique composé de cellules montées en série

La méthode suivante doit être utilisée pour sélectionner la ou les cellules à ombrer et pour déterminer la condition d'ombrage la plus défavorable pour le module uniquement monté en série (cas S).

- Exposer le module non ombré à une source de rayonnement produisant un éclairage total compris entre 800 W/m^2 et $1\,100 \text{ W/m}^2$ à la surface du module, en utilisant l'un des éléments suivants :
 - Un simulateur pulse dont la température de module est proche de la température ambiante (25 ± 5) °C.
 - Un simulateur à éclairage continu dont la température de module doit être stabilisée à ± 5 °C avant de commencer les mesurages.
 - Un éclairage solaire pour lequel la température de module doit être stabilisée à ± 5 °C avant de commencer les mesurages.
- Après stabilisation thermique, mesurer les caractéristiques I - V du module et déterminer le courant à la puissance maximale I_{MP1} et la puissance maximale P_{max1} . Déterminer la plage de courant à la puissance maximale ($I_{min} < I < I_{max}$) où I_{max} est le courant à la puissance maximale du module non ombré et I_{min} est égal à $0,95 I_{max}$. La plage de courant est dénommée $I(*)$.
- Mesurer le courant de court-circuit à chaque position décrite à l'étape suivante.
- En commençant par un bord du module, utiliser un cache opaque pour ombrer une cellule complètement. Déplacer le cache parallèlement aux cellules et agrandir la surface ombrée du module (nombre de cellules ombrées) jusqu'à ce que le courant de court-circuit se situe dans la plage de courant du module non ombré. Dans ces conditions, la puissance maximale est dissipée dans le groupe sélectionné de cellules (voir Figure 6). La taille de pas maximale entre les mesurages de courant de court-circuit est égale à la largeur d'une cellule. La largeur minimale du masque est égale à la largeur de deux cellules. Si l'ombrage de moins de deux cellules est exigé pour obtenir un courant dans la plage spécifiée, alors la largeur du masque doit être fixée à la valeur minimale. Si l'ombrage d'un certain nombre de "n"

cellules entraîne un courant trop élevé et si l'ombrage de $n+1$ cellules entraîne un courant trop faible, alors la largeur la plus étroite du masque (n cellules) doit être choisie.

- e) Déplacer un cache opaque (aux dimensions données en d) ci-dessus) lentement au-dessus du module et mesurer le courant de court-circuit à chaque position. La taille de pas maximale entre les mesurages de courant de court-circuit est égale à la largeur du masque. (Ainsi, chaque cellule du module doit être ombrée à un certain point de cette étape.) Si, à une certaine position, le courant de court-circuit se retrouve au-dessous de la plage de courant $I(^*)$ spécifiée, diminuer la taille du cache par incréments de la largeur d'une cellule jusqu'à ce que le courant se retrouve à nouveau dans la plage souhaitée. Si, à un point quelconque de ce processus, la largeur du masque est réduite à une valeur minimale de la largeur de deux cellules, cette taille ne doit pas être réduite davantage et le processus de déplacement du masque sur le module est achevé. Si l'ombrage d'un certain nombre de " n " cellules entraîne un courant trop élevé et si l'ombrage de $n+1$ cellules entraîne un courant trop faible, alors la largeur la plus étroite du masque (n cellules) doit être choisie. Pendant ce processus, l'éclairement ne doit pas varier de plus de $\pm 2\%$. Le masque ne doit pas être élargi à un point quelconque, c'est-à-dire, si à l'étape g) le courant de court-circuit dépasse la limite supérieure de $I(^*)$, la largeur du masque doit être maintenue telle quelle.
- f) La largeur finale du cache, ainsi que la position qui a généré le plus faible courant de chaque surface couverte par la largeur finale du masque, détermine la surface d'ombrage minimale qui donne lieu à la condition d'ombrage la plus défavorable. Il s'agit de la surface ombrée à utiliser pour l'essai de tenue à l'échauffement localisé.
- g) Retirer le cache et examiner le module à l'œil nu.

NOTE La polarisation inverse des cellules aux étapes d) et e) peut donner lieu à un claquage de la jonction et produire des taches visibles irrégulières à la surface du module. Ces défauts peuvent entraîner une dégradation de la puissance de sortie maximale.

- h) Mesurer à nouveau les caractéristiques $I-V$ du module et déterminer la puissance maximale $P_{\max 2}$.
- i) Placer le cache sur le module. Mettre le cache à la position déterminée aux étapes e) et f).
- j) Court-circuiter le module, y compris tout dispositif de contrôle du courant du module (un ampèremètre, par exemple).
- k) Exposer le module à une source de rayonnement continu produisant un éclairement total de $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ à la surface du module, en utilisant l'un des éléments suivants:
 - Un simulateur à éclairement continu dont la température de module doit être stabilisée à $\pm 5\text{ °C}$ avant de commencer les mesurages.
 - Un éclairement solaire pour lequel la température de module doit être stabilisée à $\pm 5\text{ °C}$ avant de commencer les mesurages.
- l) Cet essai doit être réalisé à une température de module comprise dans la plage $(55 \pm 15) \text{ °C}$. Noter la valeur de I_{sc} et maintenir le courant de module au-dessus de la limite inférieure pour $I(^*)$. Si I_{sc} chute au-dessous de la limite inférieure pour $I(^*)$, diminuer la largeur du masque par incréments de la largeur d'une cellule jusqu'à ce que I_{sc} dépasse à nouveau la limite inférieure pour $I(^*)$. Si le courant chute au-dessous de la plage souhaitée mais que le masque correspond déjà à la largeur minimale, aucun réglage ne doit être effectué.
- m) Maintenir ces conditions pendant un temps d'exposition total de 1 h.
- n) À l'issue de l'essai de tenue, déterminer la zone la plus chaude des cellules ombrées en utilisant une caméra infrarouge ou un détecteur de température approprié.

4.9.5.3.3 Cas SP

La Figure 3 représente une connexion en série parallèle, c'est-à-dire une connexion parallèle de chaînes P avec des cellules S montées en série.

Si un module est du type série-parallèle (cas SP), la méthode suivante doit être utilisée pour sélectionner la ou les cellules à ombrer et déterminer la condition d'ombrage la plus défavorable.

- a) Exposer le module non ombré à une source de rayonnement produisant un éclairement total compris entre 800 W/m^2 et $1\,100 \text{ W/m}^2$ à la surface du module, en utilisant l'un des éléments suivants:
- Un simulateur pulsé dont la température de module est proche de la température ambiante (25 ± 5) °C.
 - Un simulateur à éclairement continu dont la température de module doit être stabilisée à ± 5 °C avant de commencer les mesurages.
 - Un éclairement solaire pour lequel la température de module doit être stabilisée à ± 5 °C avant de commencer les mesurages.
- b) Après stabilisation thermique, mesurer les caractéristiques I - V du module et déterminer le courant à la puissance maximale I_{MP1} et la puissance maximale P_{max1} . Déterminer la plage de courant à la puissance maximale ($I_{min} < I < I_{max}$) où I_{max} est le courant à la puissance maximale du module non ombré et I_{min} est égal à $0,95 I_{max}$.
- c) Calculer ensuite la plage admissible de courant à la puissance maximale à appliquer $I(*)$ conformément à la formule suivante.
- $$I_{min} / N + I_{sc} \cdot (N - 1) / N < I(*) < I_{max} / N + I_{sc} \cdot (N - 1) / N$$
- où N est le nombre de chaînes parallèles du module.
- d) Sélectionner la sous-chaîne à mesurer. Les critères suivants permettent de sélectionner la sous-chaîne susceptible de connaître des températures plus chaudes lors de contraintes prolongées. Si une partie de la boîte de jonction se trouve derrière une zone de production d'électricité du module, choisir la sous-chaîne située face à la plus grande fraction de la surface de la boîte de jonction. Si la surface de la boîte de jonction est divisée de manière égale entre deux sous-chaînes ou si le module contient deux boîtes de jonction sur deux sous-chaînes différentes, choisir l'une des sous-chaînes situées face à la moitié de la surface de la boîte de jonction. Si la boîte de jonction n'est pas située derrière une zone de production d'électricité du module (par exemple, la boîte de jonction se trouve dans une zone d'ablation), sélectionner la sous-chaîne qui se trouve en face de la plus grande fraction de l'étiquette du module. Si aucune partie de la boîte de jonction ou de l'étiquette n'est située derrière une zone de production d'électricité du module, choisir la sous-chaîne la plus proche du centre géométrique du module.
- e) Mesurer le courant de court-circuit à chaque position décrite à l'étape suivante.
- f) En commençant par un bord du module, utiliser un cache opaque pour ombrer complètement une cellule d'une sous-chaîne sélectionnée. Déplacer le cache parallèlement aux cellules et agrandir la surface ombrée du module de la sous-chaîne (nombre de cellules ombrées) jusqu'à ce que le courant de court-circuit se situe dans la plage de courant $I(*)$. Dans ces conditions, la puissance maximale est dissipée dans le groupe sélectionné de cellules (voir Figure 6). La taille de pas maximale entre les mesurages de courant de court-circuit est égale à la largeur d'une cellule. La largeur minimale du masque est égale à la largeur de deux cellules. Si l'ombrage de moins de deux cellules est exigé pour obtenir un courant dans la plage spécifiée, alors la largeur du masque doit être fixée à la valeur minimale. Si l'ombrage d'un certain nombre de "n" cellules entraîne un courant trop élevé et si l'ombrage de n+1 cellules entraîne un courant trop faible, alors la largeur la plus étroite du masque (n cellules) doit être choisie.
- g) Déplacer un cache opaque (aux dimensions données en f) ci-dessus) lentement au-dessus du module et mesurer le courant de court-circuit à chaque position. La taille de pas maximale entre les mesurages de courant de court-circuit est égale à la largeur du masque. (Ainsi, chaque cellule du module doit être ombrée à un certain point de cette étape.) Si, à une certaine position, le courant de court-circuit se retrouve au-dessous de la plage de courant $I(*)$ spécifiée, diminuer la taille du cache par petits incréments jusqu'à ce que le courant se retrouve de nouveau dans la plage souhaitée. Si, à un point quelconque de ce processus, la largeur du masque est réduite à une valeur minimale de la largeur de deux cellules, cette taille ne doit pas être réduite davantage et le processus de déplacement du masque sur le module est achevé. Si l'ombrage d'un certain nombre de "n" cellules entraîne un courant trop élevé et si l'ombrage de n+1 cellules entraîne un courant trop faible, alors la largeur la plus étroite du masque (n cellules) doit être choisie. Pendant ce processus, l'éclairement ne doit pas varier de plus de ± 2 %. Le masque ne doit pas être élargi à un

point quelconque, c'est-à-dire, si à l'étape g) le courant de court-circuit dépasse la limite supérieure de $I(^*)$, la largeur du masque doit être maintenue telle quelle.

- h) La largeur finale du cache, ainsi que la position à l'intérieur de la sous-chaîne qui a généré le plus faible courant de chaque surface couverte par la largeur finale du masque, détermine la surface d'ombrage minimale qui donne lieu à la condition d'ombrage la plus défavorable. Il s'agit de la surface ombrée à utiliser pour l'essai de tenue à l'échauffement localisé.
- i) Retirer le cache et examiner le module à l'œil nu.

NOTE La polarisation inverse des cellules aux étapes f) et g) peut donner lieu à un claquage de la jonction et produire des taches visibles irrégulières à la surface du module. Ces défauts peuvent entraîner une dégradation de la puissance de sortie maximale.

- j) Mesurer à nouveau les caractéristiques $I-V$ du module et déterminer la puissance maximale $P_{\max 2}$.
- k) Placer le cache sur le module. Mettre le cache à la position déterminée aux étapes g) et h).
- l) Court-circuiter le module, y compris tout dispositif de contrôle du courant du module (un ampèremètre, par exemple).
- m) Exposer le module à une source de rayonnement continu produisant un éclairement total de $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ à la surface du module. Pour ce faire, utiliser:
 - Un simulateur à éclairement continu dont la température de module doit être stabilisée à $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ avant de commencer les mesurages.
 - Un éclairement solaire pour lequel la température de module doit être stabilisée à $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ avant de commencer les mesurages.

Cet essai doit être réalisé à une température de module comprise dans la plage $(55 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$. Noter la valeur de I_{sc} et maintenir le courant de module au-dessus de la limite inférieure pour $I(^*)$. Si I_{sc} chute au-dessous de la limite inférieure pour $I(^*)$, diminuer la largeur du masque par incréments de la largeur d'une cellule jusqu'à ce que I_{sc} dépasse à nouveau la limite inférieure pour $I(^*)$. Si le courant chute au-dessous de la plage souhaitée mais que le masque correspond déjà à la largeur minimale, aucun réglage ne doit être effectué.

- n) Maintenir ces conditions pendant un temps d'exposition total de 1 h.
- o) À l'issue de l'essai de tenue, déterminer la zone la plus chaude des cellules ombrées en utilisant une caméra infrarouge ou un détecteur de température approprié.

4.9.5.3.4 Cas PS

Si un module du type parallèle-série (cas PS) possède un circuit de cellules internes inaccessible, mais ne comporte pas de diodes de dérivation internes ni de dispositif équivalent de protection à polarisation inverse, la méthode suivante doit être utilisée pour sélectionner la ou les cellules à ombrer et déterminer la condition d'obturation la plus défavorable.

- a) Exposer le module non ombré à un éclairement total compris entre 800 W/m^2 et $1\,100 \text{ W/m}^2$ à la surface du module. Pour ce faire, utiliser:
 - Un simulateur pulsé dont la température de module est proche de la température ambiante $(25 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Un simulateur à éclairement continu dont la température de module doit être stabilisée à $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ avant de commencer les mesurages.
 - Un éclairement solaire pour lequel la température de module doit être stabilisée à $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ avant de commencer les mesurages.

Après stabilisation thermique, mesurer les caractéristiques $I-V$ du module et déterminer la puissance maximale $P_{\max 1}$.

- b) Exposer le module à une source de rayonnement continu produisant un éclairement total de $(1\,000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ à la surface du module. Cet essai doit être réalisé à une température de module comprise dans la plage $(55 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$.

- c) Court-circuiter le module et ombrer au hasard un bloc contenu dans le module. Ombrer au moins 10 % des cellules à l'intérieur du bloc, puis ombrer progressivement la surface du bloc jusqu'à ce que la température maximale soit déterminée en utilisant un équipement d'imagerie thermique ou tout autre dispositif approprié.
- d) Mesurer à nouveau les caractéristiques $I-V$ du module non ombré et déterminer la puissance maximale $P_{\max 2}$.
- e) Appliquer l'obturation déterminée à l'étape c) et maintenir ces conditions pendant un temps d'exposition total de 1 h.

À l'issue de l'essai de tenue, déterminer la zone la plus chaude des cellules ombrées en utilisant une caméra infrarouge ou un détecteur de température approprié.

4.9.6 Mesurages finaux

Répéter les essais MQT 01, MQT 02, MQT 03 et MQT 15.

4.9.7 Exigences

- a) Il n'est admis aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021. Rechercher en particulier des signes de fusion de soudure, d'ouvertures dans l'enveloppe, de décollements interlaminaires et de taches de brûlure. En présence de dommages sérieux non qualifiés de défauts visuels majeurs, répéter l'essai sur deux autres cellules du même module. Si aucun dommage visible n'est constaté autour des deux cellules, le type de module satisfait à l'essai de tenue à l'échauffement localisé.
- b) Vérifier que le module présente les caractéristiques électriques d'un dispositif photovoltaïque fonctionnel. L'essai MQT 02 ne constitue pas une exigence d'acceptation/de rejet (point n° 2) pour la perte de puissance.
- c) La résistance d'isolement doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.
- d) Le courant de fuite en milieu humide doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.
- e) Tout dommage résultant de la détermination de la condition d'ombrage la plus défavorable doit être indiqué dans le rapport d'essai.

4.10 Essai de préconditionnement aux UV (MQT 10)

4.10.1 Objet

Préconditionner le module aux rayonnements ultra-violet (UV) avant les essais de cycle thermique/humidité-gel afin d'identifier les matériaux et collages susceptibles d'être dégradés par les UV.

NOTE L'essai MQT 10 vise à détecter une sensibilité générale à la dégradation par les UV, car la dose administrée est faible par rapport à la durée de vie habituelle prévue pour les modules modernes, et la distribution des longueurs d'onde de la source UV n'est pas clairement définie. Il convient que les documents appliquant MQT 10 à d'autres fins (telles que les études comparatives sur la dégradation) examinent quelles autres exigences sont nécessaires pour atteindre ces objectifs.

4.10.2 Appareillage

- a) Une chambre d'essai à régulateur thermique avec une fenêtre ou des fixations pour une source lumineuse à rayonnements UV et le ou les modules en essai. La chambre doit être capable de maintenir la température du module à $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- b) Un dispositif permettant de contrôler la température du module avec une exactitude de $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ et une répétabilité de $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$. Les capteurs de température doivent être fixés sur la face avant ou arrière du module, près de son centre, sans gêner la lumière UV incidente sur les cellules actives à l'intérieur du module. Si plusieurs modules sont soumis à l'essai simultanément, il suffit de contrôler la température d'un des modules d'essai.
- c) Une instrumentation capable de mesurer l'éclairement de la lumière UV produite par la source lumineuse à rayonnements UV dans le plan d'essai du ou des modules, dans les

plages de longueurs d'onde de 280 nm à 320 nm et de 320 nm à 400 nm avec une incertitude de ± 15 % ou meilleur.

- d) Une source lumineuse à rayonnements UV capable de produire un rayonnement UV avec une uniformité d'éclairement de ± 15 % sur le plan d'essai du ou des modules sans aucun éclaircissement notable à des longueurs d'onde inférieures à 280 nm et capable de fournir l'éclairement total nécessaire dans les différentes régions spectrales à l'étude définies en 4.10.3.
- e) Le module doit être soit en court-circuit, soit en circuit ouvert pendant l'exposition, conformément aux recommandations du fabricant. La condition des circuits utilisés pendant cet essai doit être indiquée dans le rapport d'essai.

4.10.3 Procédure

- a) Mesurer l'éclairement au plan d'essai du module proposé et assurer qu'à des longueurs d'onde comprises entre 280 nm et 400 nm, il n'excède pas 250 W/m^2 (c'est-à-dire environ cinq fois le niveau d'éclairement solaire naturel) et qu'il présente une uniformité de ± 15 % sur le plan d'essai.
- b) Conformément aux recommandations définies en 4.10.2e), court-circuiter le module ou le laisser en circuit ouvert. Monter le module dans le plan d'essai à l'emplacement choisi en a), perpendiculairement au faisceau d'éclairement UV. Vérifier que les capteurs de température du module indiquent $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$. S'agissant des modules flexibles, ils doivent, lors de l'essai, être montés conformément à la documentation du fabricant avec le substrat et la colle ou les moyens de fixation/montage prescrits.
- c) Exposer la face avant du ou des modules à une irradiation UV totale d'au moins 15 kWh/m^2 dans la plage de longueurs d'onde comprise entre 280 nm et 400 nm, avec au moins 3 %, mais pas plus de 10 % dans la bande de longueurs d'onde comprise entre 280 nm et 320 nm, la température du module étant maintenue dans la plage prescrite.

Pour les modules bifaces, répéter la procédure de l'irradiation UV sur leur face arrière.

4.10.4 Mesurages finaux

Répéter les essais MQT 01 et MQT 15.

4.10.5 Exigences

- a) Aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021.
- b) Le courant de fuite en milieu humide doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.

4.11 Essai de cycle thermique (MQT 11)

4.11.1 Objet

Déterminer l'aptitude du module à supporter des contraintes de déséquilibre thermique, de fatigue ou autres, causées par des variations répétées de température.

4.11.2 Appareillage

- a) Une chambre climatique équipée d'une commande de température automatique, de dispositifs permettant de faire circuler l'air à l'intérieur, et de dispositifs permettant de réduire le plus possible la condensation sur le module pendant l'essai, capable de soumettre un ou plusieurs modules au cycle thermique représenté à la Figure 7.
- b) Un dispositif permettant de monter ou supporter le ou les modules dans la chambre, de façon à permettre une circulation libre de l'air environnant. La conduction thermique du montage ou support doit être faible de telle sorte que, pour des raisons pratiques, le ou les modules soient isolés d'un point de vue thermique.
- c) Une instrumentation de mesure d'une exactitude de $\pm 2,0 ^\circ\text{C}$ et d'une répétabilité de $\pm 0,5 ^\circ\text{C}$ pour mesurer et enregistrer la température du ou des modules.

- d) Un dispositif permettant d'appliquer un courant continu. La valeur du courant est définie dans les parties de la présente norme spécifiques à la technologie.
- e) Un dispositif permettant de contrôler la circulation du courant à travers chaque module au cours de l'essai.
- f) Un poids de 5 N pouvant être fixé aux fils de sortie électriques du module.

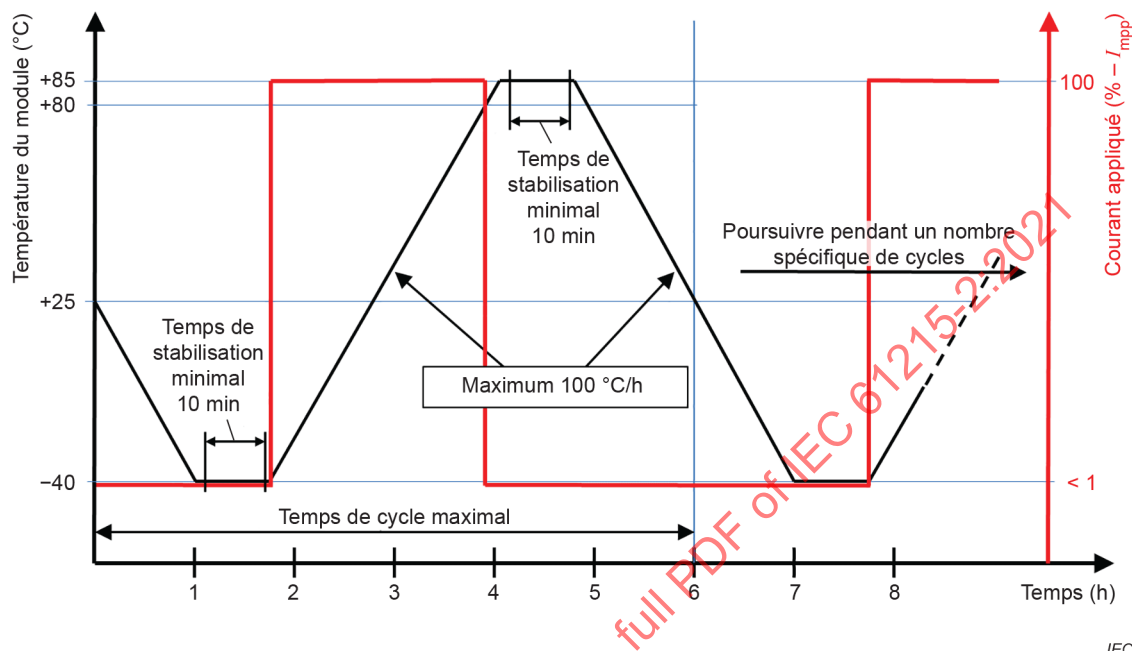


Figure 7 – Essai de cycle thermique – Profil de température et de courant appliqué

4.11.3 Procédure

- a) Placer un capteur de température adéquat sur la face avant ou arrière du ou des modules, près du centre. Si plusieurs modules de même type sont soumis à l'essai simultanément, il suffit d'enregistrer la température d'un des modules d'essai.
- b) Installer le ou les modules à la température ambiante dans la chambre. Fixer un seul poids de 5 N à la boîte de jonction en utilisant l'une des deux options. Le poids peut être fixé à l'aide des fils de sortie électriques de chaque module, de sorte qu'il soit suspendu verticalement à partir de la boîte de jonction, comme représenté à la Figure 8a). Le poids peut également être fixé à la boîte de jonction à l'aide d'un fil introduit par le dispositif d'essai, comme cela est représenté à la Figure 8b). Un fil introduit par le dispositif d'essai ne doit pas être fixé au couvercle de la boîte de jonction. Dans les deux cas, le poids ne doit pas heurter ni endommager la face arrière du module, et doit se situer à au moins 5 cm au-dessus du sol ou du cadre du module au début de l'essai, comme cela est représenté à la Figure 8b). Si chaque module contient plusieurs boîtes de jonction identiques, une seule boîte de jonction a besoin d'être pondérée, comme cela est représenté à la Figure 8b) ou à la Figure 8c). Cependant, si la conception des boîtes de jonction diffère, il convient que chacune d'elles porte les poids de façon indépendante.

S'agissant des modules flexibles, ils doivent, lors de l'essai, être montés conformément à la documentation du fabricant avec le substrat et la colle ou les moyens de fixation/montage prescrits.

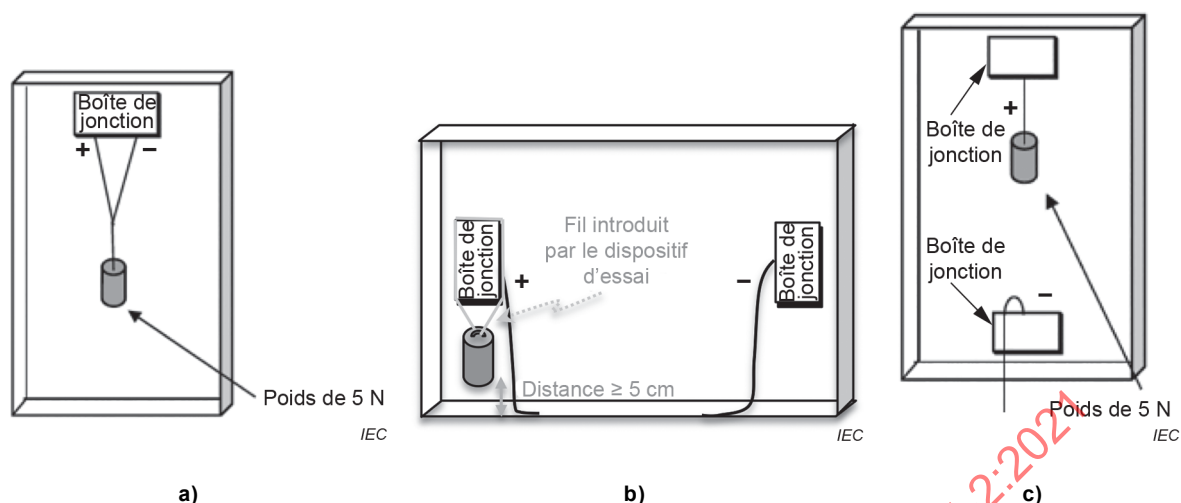


Figure 8 – Fixation correcte d'un poids de 5 N à la boîte de jonction pour le module en utilisant a) des fils de sortie électriques, b) ou un fil de fixation et c) une seule boîte de jonction

- c) Connecter l'équipement de contrôle de la température au(x) capteur(s) de température. Connecter chaque module à l'alimentation électrique appropriée en connectant la borne positive du module à la borne positive de l'alimentation électrique et la deuxième borne de manière appropriée. Au cours de l'essai de cycle thermique, régler la circulation de courant continu pendant le cycle de réchauffement au courant spécifique à la technologie donné en 4.11.2d), à une température comprise entre -40 °C et $+80\text{ °C}$. Pendant le refroidissement, la phase de stabilisation à -40 °C et aux températures supérieures à 80 °C , le courant continu doit être réduit à 1,0 % au plus de l'intensité à la puissance de crête dans les STC mesurée pour mesurer la continuité. Si la température augmente trop rapidement (plus de 100 °C/h) à la température la plus basse, le début de la circulation du courant peut être différé tant que la température n'a pas atteint -20 °C .
- d) Fermer la chambre et exposer le ou les modules à un cycle thermique entre les températures de module mesurées de $(-40 \pm 2)\text{ °C}$ et $(+85 \pm 2)\text{ °C}$, conformément au profil de la Figure 7. La vitesse de variation de la température entre les deux températures extrêmes ne doit pas dépasser 100 °C/h et la température du module doit rester stable à chaque température extrême pendant au moins 10 min. Le cycle ne doit pas durer plus de 6 h, sauf si la capacité thermique du module est si élevée que cela exige un cycle plus long. Le nombre de cycles doit être celui des séquences correspondantes de la Figure 2 de l'IEC 61215-1:2021. La circulation de l'air autour du ou des modules doit garantir la conformité à chaque module à l'essai satisfaisant au profil de cycle de température.
- e) Tout au long de l'essai, enregistrer la température du module et contrôler la circulation du courant à travers le ou les modules. Documenter la durée de stabilisation réelle aux températures haute et basse dans le rapport d'essai.

NOTE Dans un module à circuits parallèles, un circuit ouvert dans une branche provoque une discontinuité de tension, mais ne ramène pas le courant à zéro.

4.11.4 Mesurages finaux

Après un temps de récupération minimal de 1 h à une température de $(23 \pm 5)\text{ °C}$ et une humidité relative inférieure à 75 % en conditions de circuit ouvert, répéter les essais MQT 01 et MQT 15.

4.11.5 Exigences

- a) Aucune interruption de la circulation du courant au cours de l'essai; dans le cas d'un module à circuits parallèles, une discontinuité de circulation du courant indique une interruption de la circulation dans l'un des circuits parallèles.

- b) Il n'existe aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021.
- c) Le courant de fuite en milieu humide doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.

4.12 Essai humidité-gel (MQT 12)

4.12.1 Objet

Déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets dus à la succession de conditions de température élevée et d'humidité suivies de séjour à température au-dessous de zéro. Il ne s'agit pas d'un essai de choc thermique.

4.12.2 Appareillage

- a) Une chambre climatique équipée d'une commande de température et d'humidité automatique, capable de soumettre un ou plusieurs modules au cycle humidité-gel spécifié à la Figure 9.
- b) Un dispositif permettant de monter ou supporter le ou les modules dans la chambre, de façon à permettre une circulation libre de l'air environnant. La conduction thermique du montage ou support doit être faible de sorte que, pour des raisons pratiques, le ou les modules soient isolés d'un point de vue thermique.
- c) Une instrumentation de mesure d'une exactitude de $\pm 2,0$ °C et d'une répétabilité de $\pm 0,5$ °C pour mesurer et enregistrer la température du ou des modules.
- d) Un dispositif permettant de contrôler, tout au long de l'essai, la continuité du circuit électrique interne de chaque module.

4.12.3 Procédure

- a) Placer un capteur de température adéquat sur la face avant ou arrière du ou des modules, près du centre. Si plusieurs modules de même type sont soumis à l'essai simultanément, il suffit de contrôler la température d'un des modules d'essai.
- b) Installer le ou les modules à la température ambiante dans la chambre climatique. S'agissant des modules flexibles, ils doivent, lors de l'essai, être montés conformément à la documentation du fabricant avec le substrat et la colle ou les moyens de fixation/montage prescrits.
- c) Connecter l'équipement de contrôle de la température au(x) capteur(s) de température. Connecter chaque module à l'alimentation électrique appropriée en connectant la borne positive du module à la borne positive de l'alimentation électrique et la deuxième borne de manière appropriée. Pendant l'essai humidité-gel, régler la circulation du courant continu à 0,5 % au maximum de l'intensité à la puissance de crête dans les STC mesurée. Si 0,5 % de l'intensité dans les STC mesurée est inférieur à 100 mA, la valeur de 100 mA peut être alors appliquée.
- d) Après fermeture de la chambre, exposer le ou les modules à 10 cycles conformément au profil de la Figure 9. Les températures minimale et maximale doivent se situer à ± 2 °C des niveaux spécifiés, et l'humidité relative doit être maintenue à ± 5 % de la valeur spécifiée lorsque la température est à la valeur maximale de 85 °C. La circulation de l'air autour du ou des modules doit garantir la conformité, chaque module à l'essai satisfaisant au profil de cycle de température.
- e) Tout au long de l'essai, enregistrer la température du module et contrôler le courant et la tension dans le module.

4.12.4 Mesurages finaux

Après un temps de récupération compris entre 2 h et 4 h à une température de (23 ± 5) °C et une humidité relative inférieure à 75 % en conditions de circuit ouvert, répéter les essais MQT 01 et MQT 15.

4.12.5 Exigences

- Aucune interruption de la circulation du courant ni discontinuité de tension au cours de l'essai; dans le cas d'un module à circuits parallèles, une discontinuité de circulation de courant indique une interruption de la circulation dans l'un des circuits parallèles.
- Il n'existe aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021.
- Le courant de fuite en milieu humide doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.

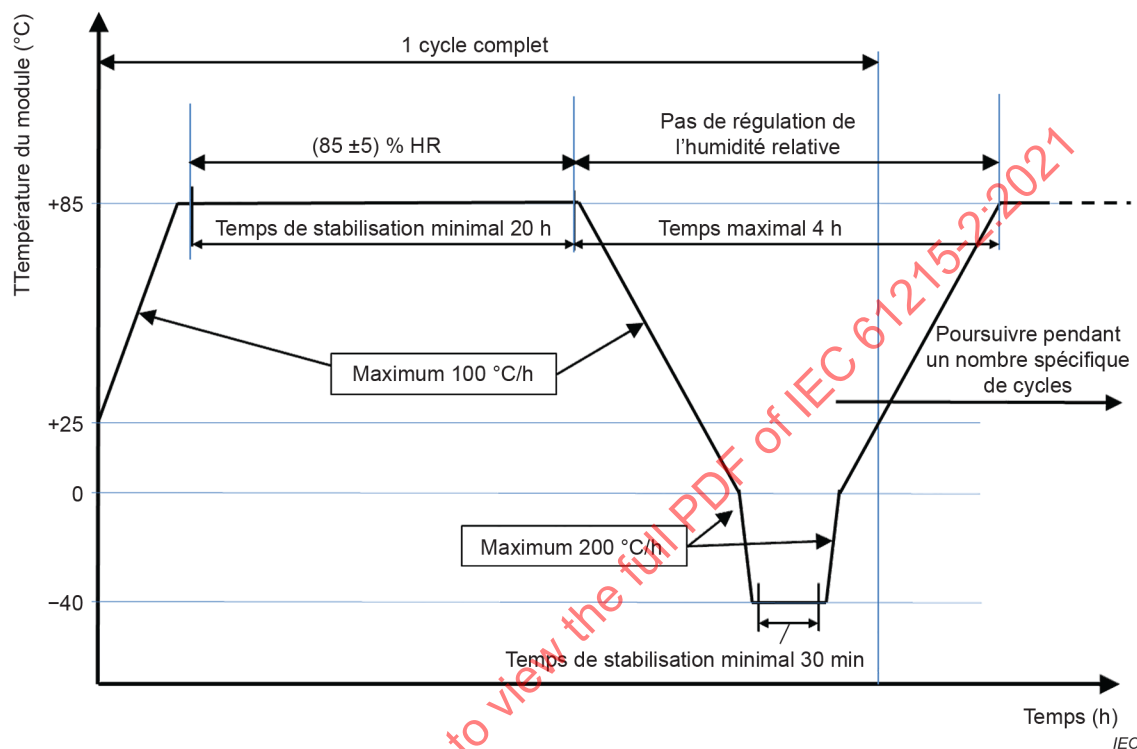


Figure 9 – Cycle humidité-gel – Profil température/humidité

4.13 Essai de chaleur humide (MQT 13)

4.13.1 Objet

Déterminer l'aptitude du module à supporter les effets de la pénétration d'humidité à long terme.

4.13.2 Appareillage

Les exigences relatives à la chambre d'essai sont spécifiées en 4.1 de l'IEC 60068-2-78:2012.

4.13.3 Procédure

La procédure d'introduction de l'échantillon dans la chambre et de démarrage de l'essai est décrite en 4.4 de l'IEC 60068-2-78:2012. L'essai doit être réalisé avec les dispositions suivantes.

Sévérités:

Température d'essai: $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Humidité relative: $(85 \pm 5) \%$

Durée de l'essai: $(1000^{+48}_0) \text{ h}$

Aucun préconditionnement ne doit être effectué.

Les connecteurs du module doivent être court-circuités, sauf si du courant est appliqué conformément aux options fournies dans certaines parties de la présente norme spécifiques à la technologie.

S'agissant des modules flexibles, ils doivent, lors de l'essai, être montés conformément à la documentation du fabricant avec le substrat et la colle ou les moyens de fixation/montage prescrits.

4.13.4 Mesurages finaux

Après un temps de récupération de 2 h, et pas supérieur à 4 h, à une température de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative inférieure à 75 % en conditions de circuit ouvert, répéter les essais MQT 01 et MQT 15.

4.13.5 Exigences

- a) Il n'existe aucun défaut visuel majeur, tel que ceux définis dans l'IEC 61215-1:2021.
- b) Le courant de fuite en milieu humide doit satisfaire aux mêmes exigences que pour les mesurages initiaux.

4.14 Essai de robustesse des sorties (MQT 14)

4.14.1 Objet

Déterminer si les sorties, la fixation des sorties et la fixation des câbles au corps du module supporteront les contraintes susceptibles d'être appliquées au cours des opérations normales d'assemblage ou de manipulation. L'essai du 4.14.2 (MQT 14.1) et l'essai du 4.14.3 (MQT 14.2) doivent être réalisés dans la séquence C après l'essai MQT 12, conformément à la série d'essais donnée dans l'IEC 61215-1:2021.

4.14.2 Maintien de la boîte de jonction sur la surface de montage (MQT 14.1)

4.14.2.1 Appareillage

Un dispositif permettant d'appliquer une force de 40 N au centre de l'objet d'essai. Empêcher l'application du couple à la boîte de jonction.

Le fait de fixer à la boîte de jonction le dispositif d'application de la force ne doit pas altérer ses fonctions.

4.14.2.2 Procédure

Une force de 40 N doit être appliquée progressivement pendant (10 ± 1) s (conformément à l'IEC 60068-2-21) dans chaque direction parallèle à la surface de montage parallèle aux bords du module, par paliers de 90° .

Une force de 40 N doit être appliquée progressivement pendant (10 ± 1) s sans à-coup, dans une direction perpendiculaire à la surface de montage.

Il convient d'appliquer la force de traction au centre de la boîte.

4.14.2.3 Mesurages finaux

Répéter les essais MQT 01 et MQT 15.