

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Photovoltaic (PV) array – On-site measurement of current-voltage characteristics

Champ de modules photovoltaïques (PV) – Mesurage sur site des caractéristiques courant-tension

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Photovoltaic (PV) array – On-site measurement of current-voltage characteristics

Champ de modules photovoltaïques (PV) – Mesurage sur site des caractéristiques courant-tension

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-2966-8

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

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Apparatus	7
4.1 Irradiance measurements in natural sunlight	7
4.2 Module temperature measurements	8
4.3 Electrical measurements	8
5 Measurement procedure	9
5.1 Choose and record appropriate conditions for measurement	9
5.2 Clean the modules	9
5.3 Check for shading	9
5.4 Confirm uniformity of irradiance over the test array	10
5.5 Mount the reference device	10
5.6 Prepare to measure the array temperature	10
5.7 Disconnect the array	11
5.8 Connect the measurement system to the array to be measured	11
5.9 Record electrical data and measurement conditions	11
5.10 Record spectral data	12
5.11 Typical and extreme module selection	12
6 Analysis	13
6.1 Adjust the measured irradiance for any deviation from reference conditions	13
6.2 Compute the average temperature of the array under test	13
6.3 Compute the junction temperature	14
6.4 Translate the measurement to the desired test condition	14
6.5 Correct for soiling losses	14
7 Test report	14
Annex A (informative) Reference values and reference device	16
A.1 Reference test conditions (RTC)	16
A.2 Standard test conditions (STC)	16
A.3 Reference device	16
Bibliography	17
Figure 1 – Examples of extreme and central modules	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PHOTOVOLTAIC (PV) ARRAY –
ON-SITE MEASUREMENT OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS****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 61829 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1995. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) it addresses many outdated procedures;
- b) it accommodates commonly used commercial I - V curve tracers;
- c) it provides a more practical approach for addressing field uncertainties;
- d) it removes and replaces procedures with references to other updated and pertinent standards, including the IEC 60904 series, and IEC 60891.

The result is a much more practical and useful standard.

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

FDIS	Report on voting
82/1008/FDIS	82/1041/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015

INTRODUCTION

The performance of photovoltaic (PV) systems over their decades-long life time is determined by comparing measured power production with the expected production as estimated from recorded weather conditions. Continuous measurements of system- or subsystem-level operating output can detect underperforming arrays but are not well suited for tracking degradation with any accuracy, or for identifying the weaknesses or failure modes that may exist within the array. Field I - V curve measurements offer a practical method of *in situ* benchmarking or troubleshooting for modules, strings and arrays. This International Standard specifies methods and approaches for field I - V curve measurements and calculations, and includes guidance for addressing the uncertainties associated with measurement devices and array configurations. Consistent and proper application of I - V curve measurement procedures helps to ensure that a PV system's performance is adequately characterized over time.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015

PHOTOVOLTAIC (PV) ARRAY – ON-SITE MEASUREMENT OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS

1 Scope

This International Standard specifies procedures for on-site measurement of flat-plate photovoltaic (PV) array characteristics, the accompanying meteorological conditions, and use of these for translating to standard test conditions (STC) or other selected conditions.

Measurements of PV array current-voltage (I - V) characteristics under actual on-site conditions and their translation to reference test conditions (RTC) can provide:

- data for power rating or capacity testing;
- verification of installed array power performance relative to design specifications;
- detection of possible differences between on-site module characteristics and laboratory or factory measurements;
- detection of possible performance degradation of modules and arrays with respect to on-site initial data;
- detection of possible module or array failures or poor performance.

For a particular module, on-site measurements translated to STC can be directly compared with results previously obtained in a laboratory or factory for that module. Corrections for differences in the spectral or spatial response of the reference devices may need to be assessed as specified in IEC 60904.

On-site array measurements are affected by diode, cable, and mismatch losses, soiling and shading, degradation due to aging, and other uncontrolled effects. Therefore, they are not expected to be equal to the product of the number of modules and the respective module data.

If a PV array is formed with sub-arrays of different tilt, orientation, technology, or electrical configuration, the procedure specified in this International Standard is applied to each unique PV sub-array of interest.

2 Normative references

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

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

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

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

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

IEC 60904-4, *Photovoltaic devices – Part 4: Reference solar devices – Procedures for establishing calibration traceability*

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

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

pyranometer

radiometer normally used to measure global irradiance on a horizontal plane

Note 1 to entry: A pyranometer can also be used to measure diffuse irradiance when used with a shade ring or disc.

Note 2 to entry: A pyranometer can also be used to measure total irradiance on an inclined plane, which would include radiation reflected from the foreground.

[SOURCE: IEC TS 61836:2007, 3.5.7 b)]

3.2

radiometer

instrument for measuring the intensity of solar irradiance

Note 1 to entry: See also IEC 60050-845:1987, 845-05-06.

Note 2 to entry: Commonly, a radiometer is a thermal instrument using thermocouples or thermopiles and is independent of wavelength.

[SOURCE: IEC TS 61836:2007, 3.5.7]

3.3

spectroradiometer

instrument used to measure spectral irradiance distribution of an incident radiation as a function of wavelength

[SOURCE: IEC TS 61836:2007, 3.5.7 d)]

4 Apparatus

4.1 Irradiance measurements in natural sunlight

The irradiance measurements shall be made using a PV reference device packaged and calibrated in conformance with IEC 60904-2 or with a pyranometer. PV reference devices shall have spectral matching addressed by one of the following methods.

- a) The reference device is spectrally matched to the modules in the array under test.
- b) A spectral mismatch correction should be performed in conformance with IEC 60904-7. The reference device shall be linear in short-circuit current as defined in IEC 60904-10 over the irradiance range of interest.
- c) If spectral measurements are not practical, uncertainties associated with the irradiance measurement and specific sensors used should be reported as part of the analysis. Measurements should be completed under clear-sky conditions with the nearest clouds at

least 15° from the sun and the sensor mounted in the plane of the items under test as discussed elsewhere.

To be considered spectrally matched, a reference device shall be constructed using the same cell technology and encapsulation package as the modules in the array under test. If this is not the case, the spectral mismatch shall be reported or an estimate of the uncertainty shall be made as part of the analysis. Spectral mismatch is of particular concern with thin film modules.

For modules that concentrate sunlight with an optical concentration ratio of greater than 3:1, at least one radiometer shall provide a collimated measure of direct normal irradiance (IEC 60904-4).

The temperature of the reference device shall be measured using instrumentation with an accuracy of ± 1 °C with repeatability of $\pm 0,5$ °C. If the reference device has internal correction for temperature or if the reference device is a pyranometer with a temperature coefficient $< 0,02$ %/°C, temperature measurement is not required. However, the mounting of a thermopile shall be consistent with the conditions used for calibrating it.

A suitable means is required to check that the reference device and the modules are coplanar within $\pm 2^\circ$ accuracy.

NOTE A digital level or other calibrated device can be used to confirm coplanar modules.

An additional pyranometer is required for checking the uniformity of the in-plane radiance. This radiometer shall provide a stable output, but need not be calibrated since it is only used for relative measurements.

If spectral corrections will be made, a spectroradiometer is required that is capable of measuring the spectral irradiance of the sunlight in the range of the spectral response of the test specimen and the reference device.

4.2 Module temperature measurements

The temperature of the module backsheets of the array under test shall be measured using instrumentation with an accuracy of ± 1 °C with repeatability of $\pm 0,5$ °C. It is recommended to mechanically attach a flat thermal sensor with fine leads directly to the backsheet in the middle of a module and at least 10 cm from any junction box, but opposite an active part of the module. The attachment method should not change the temperature of the module, as may be identified by infrared imaging from the front of the module. An optical thermometer may be used only if the backsheet emissivity has been calibrated well enough that the optical thermometer accuracy is within 1 °C. A handheld contact thermometer may be used only if it has been verified that the accuracy is within 1 °C.

NOTE Most handheld thermometers conduct heat into the handle of the thermometer causing a temperature reading that is less than the actual backsheet temperature.

4.3 Electrical measurements

A self-contained I - V curve tracing unit shall be able to accommodate the anticipated array voltage, current, and power levels. The rate at which the unit sweeps the curve should be fast enough to avoid changes in irradiance during the curve but slow enough to ensure that the PV modules are achieving steady state conditions. Other equipment suitable for sweeping the array through a significant portion of its I - V curve may be used though any limitations with respect to the above requirements shall be clearly stated in the measurement report.

The I - V curve tracing unit shall be able to measure voltages and currents with an accuracy of ± 1 % of the open-circuit voltage and short-circuit current using independent leads from the terminals of the array under test and keeping all wires that would add series resistance as short as possible. If only two leads are used, the error introduced shall be included in the

uncertainty analysis. The measurement ranges of the data acquisition should be carefully chosen to match the array being measured.

The instrumentation should be capable of measuring current at zero voltage, using a variable bias (preferably electronic) to offset the voltage drop across the external series resistance. If the instrumentation is not capable of reaching zero voltage bias, extrapolation may be used, but the instrumentation shall be able to reach a voltage bias of 3 % of the device open-circuit voltage.

5 Measurement procedure

5.1 Choose and record appropriate conditions for measurement

The ideal conditions for an outdoor I - V curve test are clear skies (no clouds and no fog) and little wind. Variable irradiance and wind both introduce temperature transients in the array that confound the accuracy of the measurements. In practice, time and contractual constraints limit the periods in which it is possible to perform a test. Therefore, it is the responsibility of the person(s) conducting the test to ensure that all tests are performed under the most stable conditions possible, and that special attention is given to noting variable irradiance, wind, and array temperatures. For example, even though irradiance during the course of the I - V measurement does not vary more than 2 %, it may be that the irradiance increased by 30 % in the 5 min leading up to the test, and that the array temperature may not have equilibrated before the test was run.

Record the weather conditions, qualitatively, and periodically note when and how conditions change over the period during which I - V curves are being taken. It is recommended to take a picture of the sky and record the time periodically.

NOTE This information is for identifying potentially erroneous data, and is not directly used in the analysis.

5.2 Clean the modules

The cleanliness of the module surfaces shall be consistent with the intent of the test. The state of cleanliness, whether or not cleaning has been attempted, shall be reported.

If the intent of the test is to detect any possible differences between fielded modules and laboratory or factory measurements, either

- a) the array shall be cleaned thoroughly immediately prior to the measurement, or
- b) a representative string shall be tested immediately prior to and immediately after a thorough cleaning. The level of soil on the array is determined by comparing the results of the string I - V test before and after the cleaning. Such an assessment of soiling should be conducted under very stable irradiance conditions, and care should be taken to allow the string's temperature to fully stabilize after the washing.

If the intent of the test is to document the performance of the array in a soiled state, then no cleaning is expected, but the soiled state shall be documented through such things as photographs and weather records defining the most recent rain.

5.3 Check for shading

Verify that there is no shading of the direct beam component of irradiance on the array under test and that the environmental conditions meet the requirements of IEC 60904-1, with the following exception: For measurements to be extrapolated to STC (Standard Test Conditions, see Annex A), the total in-plane irradiance shall be at least 700 W/m² and the incident sun beam shall be within a cone of 45° full-aperture angle around the module normal.

There may be times when it is desirable to measure an I - V curve when the array is partially shaded either by nearby objects or self-shading. This procedure may be used for the

measurement procedure, but the correction of the shaded $I-V$ curve to standard test conditions is outside of the scope of this International Standard, since the meaning of the standard conditions is unclear in this case.

5.4 Confirm uniformity of irradiance over the test array

Using a suitable pyranometer, check the uniformity of the in-plane irradiance over the area to be tested as needed and select a module on which the irradiance is typical. This step is useful if row-based array orientations, for example, create some non-uniformity in diffuse irradiance. Pyranometer measurements may be used to reveal variations and select the modules with irradiance that is most representative of the irradiance on the total array. The choice of these selected modules is based on the principle and example indicated in Figure 1. If the purpose of the $I-V$ measurements is to document stability of the array over time, then the uniformity need not be checked, but the geometry of the test should remain consistent to facilitate consistent results.

Selecting a typical module may be straightforward when measuring a single string if the modules are all located in one row. Combiner box level measurements include modules that span several rows, so uniformity should be checked over the applicable rows. Selection of a typical irradiance model may be limited by the length of the pyranometer conductors, therefore any variation from what is considered typical should be noted in the report.

In the event that a particular module or string is not accessible, such as in a complicated roof-mounted system, and the measurement is conducted from a combiner box, it is acceptable to place and orient the reference device in a practical location that best approximates the condition of the module or string. The uncertainty associated with these measurement approaches shall be evaluated and included in the report.

5.5 Mount the reference device

Mount the reference device as near as possible to and co-planar with the module identified in 4.4. The reference device should be placed such that no shade of the direct beam component of irradiance is present on the device and any reflection or diffuse shading is consistent with the reflection and diffuse shading apparent to the array under test. Connect to the necessary instrumentation.

The reference device shall be mounted such that it is coplanar within $\pm 2^\circ$ of the average orientation of the active surfaces of the modules under test.

If the modules are not coplanar, the choice of irradiance plane of measurement shall be described in the report. If the array under test has inconsistent alignment, separate measurements should be done for each subsection of the array, and/or the variability of alignment of the array should be noted in the report.

5.6 Prepare to measure the array temperature

Select one or more modules whose operating temperatures are representative of the array under test. The choice of these selected modules is based on the principle and example indicated in Figure 1 and should be determined by making sample measurements as follows:

- a) at minimally one centrally located module;
- b) at minimally one module that has been identified as one of the coolest because of being upstream in the wind or because of being near the ground with the best cooling caused by convection;
- c) at minimally one module that has been identified as one of the hottest because of being downstream in the wind, because of being at the top of the array when cooling is caused by convection, or because of being in a location that has little circulation.

For each selected module, attach the appropriate thermocouple device in at least one location.

NOTE 1 IEC 61853-1:2011, 8.3.1 recommends three locations to address non-uniformity within the module; however, this may be impractical for large numbers of tests.

NOTE 2 In some cases it may be possible to recruit module temperature measurements from permanently installed temperature sensors on module backsheets. If this is possible, it is important to synchronize all test equipment clocks with the on-site data acquisition system and check to ensure that modules measured with such permanently installed sensors are indeed representative of the array under test.

In the event that the backs of the modules are not accessible, such as in some roof-mounted systems, it is acceptable to measure the temperature from the front of the module or to use a model for module temperature that has been previously validated. The uncertainty associated with these measurement approaches shall be evaluated and included in the report.

5.7 Disconnect the array

Disconnect the array to be measured from any load such as battery or power conditioning equipment. If necessary, isolate the portion of the array to be tested by disconnecting switches and fuses as needed.

5.8 Connect the measurement system to the array to be measured

Connect the variable load/ I - V curve tracing unit to the array to be tested, considering the best location for measurement.

In general, the location of the connection to the array for voltage and current testing should be carefully considered relative to the intent of the test.

If the intent of the test is to detect possible differences between the modules on site and laboratory or factory test data, then the voltage and current measurements should take place as close to the modules as possible, with cabling and other DC components between the modules at the point of measurement minimized.

The DC combiner box output is a convenient location for testing arrays. Strings may be tested from the respective inputs to the DC combiner box or they may be disconnected from their home runs at the location of the module string to minimize the length of cable between the module string and the test equipment.

If the intent of the test is to quantify the power performance of the array, then the ideal location for test is at the inputs to the inverter or as close to the inverter as can be accessed. In the event that the test equipment cannot accept the short-circuit current of the array at this level, then disconnects within the array should be used to reduce the current to the test equipment.

It is preferable to use I - V curve tracing units that use a four-terminal measurement method. Separate connections for the current and voltage measurements eliminate the lead and contact resistance from the measurement. Use of this method avoids the need to compensate for the series resistance of the test wires and connections, even with extended length cables. Report the point of connection.

5.9 Record electrical data and measurement conditions

Record the following:

- a) the temperature of the test array;
- b) the irradiance sensor output;
- c) a qualitative assessment of the variability of irradiance, temperature and wind speed in the 15 min prior to the test;

- d) the temperature of the irradiance sensor (if required);
- e) the current-voltage characteristic of the test array;
- f) the temperature of the test array;
- g) the irradiance sensor output;
- h) the temperature of the irradiance sensor (if required);
- i) an image of the sky to show clouds relative to the sun position (optional).

The temperature and irradiance measurements are conducted before and after the I - V scan to verify that they have not changed more than 1 °C or 0,5 %, respectively. If slow (manual) load scanning is used, record V_{oc} of the reference device immediately prior to the I - V scan.

Scan the I - V curve by varying the load such that there will be a sufficient number of points to define a smooth I - V characteristic. If slow (manual) load scanning is used (e.g. using a rheostat as load), the irradiance must be recorded simultaneously with each I - V point to obtain the irradiance, G , corresponding to that point. The total variation in radiance over the whole scan should be no more than 2 %. If not, repeat the scan. If a fast load scanning device such as a capacitor load (total scan time less than 0,1 s) is used, it is sufficient to record the current of the reference device at the start and end of the scan.

If slow (manual) scanning is used, remeasure the V_{oc} of the reference device. If this value differs by more than 1 % from the one obtained in 5.9 a), repeat the measurement from there.

The short-circuit current shall be measured at zero voltage, using a variable bias (preferably electronic) to offset the voltage drop across the external series resistance. Alternatively, short circuit current may be extrapolated from the current-voltage characteristic. The curve may be extrapolated to zero voltage provided that voltage drop is not higher than 3 % of the device open-circuit voltage and that there is a linear relationship between current and voltage.

Enough I - V pair measurements should be taken during the sweep to provide better than 1 % current and voltage resolution at the maximum power point.

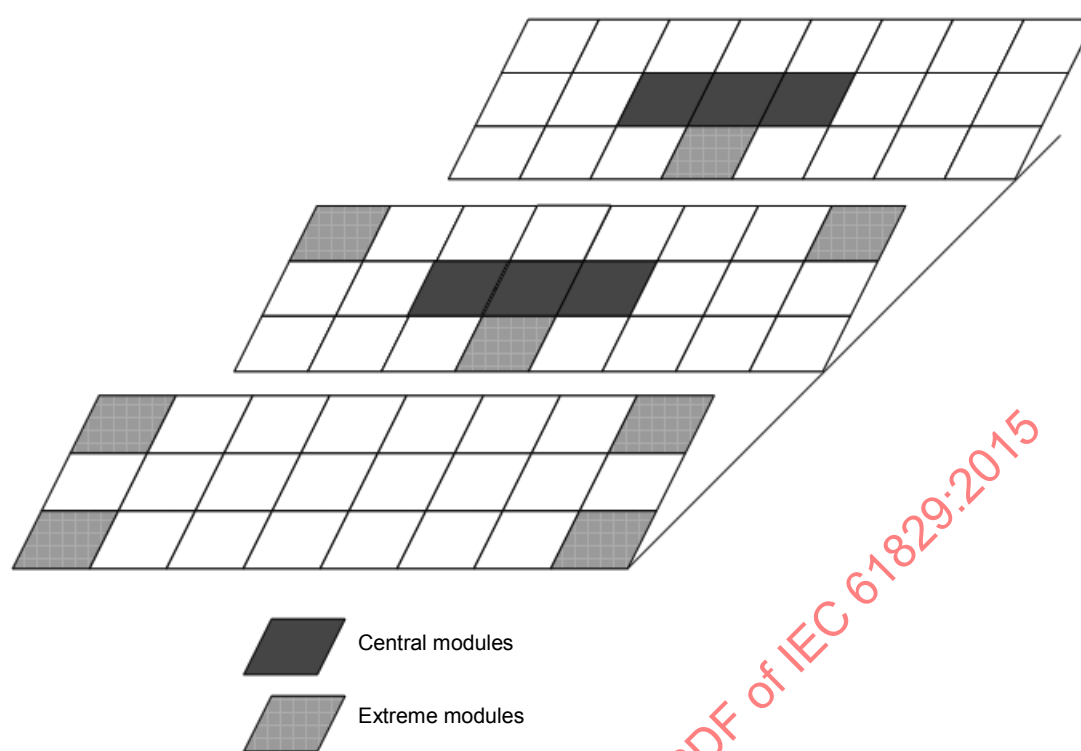
5.10 Record spectral data

If a pyranometer or an unmatched reference device is used for irradiance measurements, perform a measurement of spectral irradiance using a spectroradiometer. During the period of measurement, multiple spectroradiometric scans should be completed to evaluate the stability of these measurements. At a minimum, the spectral irradiance must be measured just before and just after the I - V curve is measured.

When no spectral irradiance data are available the match of the reference device to the specimen and the air mass conditions should be checked carefully. Measurement should be performed on a clear sunny day (no observable clouds around the sun, with diffuse contents of solar irradiance not higher than 30 %). For thin films, irradiance should be within 20 % of the reference irradiance (Annex A).

5.11 Typical and extreme module selection

Extreme modules are those that have more or less than average sky exposure or cooling due to their location in the array, relative to the more central modules. The apparent sky consideration is not related to direct shade, but to the limiting of the module's view of open sky. Cooling is dependent on wind direction (and speed), location within convection cells, and wherever air movement is impeded by local obstructions. Therefore, the extreme modules are those at ends of rows, the bottom or top of rows containing more than 2 stacked modules, etc. Central modules are those centred both vertically and horizontally to the extent possible. See Figure 1. Sampling of measurements using pyranometers and checking temperatures is the best basis for verifying the central module selection.



IEC

Figure 1 – Examples of extreme and central modules

6 Analysis

6.1 Adjust the measured irradiance for any deviation from reference conditions

Unless using a pyranometer, correct the measured current (or voltage) of the irradiance reference device using the following equation:

$$I_{\text{SRO}} = I_{\text{MR3}} + \alpha_{\text{R}} (T_{\text{RO}} - T_3)$$

where

- T_{RO} is the standard temperature of the reference device for which its calibration value is given;
- T_3 is the measured temperature of the reference device;
- I_{SRO} is the short-circuit current (or voltage output) of the reference device translated to the reference device temperature for which the device has been calibrated, T_{RO} ;
- I_{MR3} is the measured short-circuit current (in mA or mV) (or voltage output) of the reference device at the measured temperature T_3 ;
- α_{R} is the current (or voltage) temperature coefficient of the reference device (in units of mA/°C or mV/°C) within the temperature and irradiance range of interest.

If a pyranometer or unmatched reference device was used as the reference device, calculate the effective irradiance for the array under test under the AM1,5 spectrum (see IEC 60904-3) using its spectral response data (apply IEC 60904-7).

6.2 Compute the average temperature of the array under test

Take the average of the central module temperature measurements as specified in 5.6 and use high and low values on the outlier modules to define the uncertainty for the report.

6.3 Compute the junction temperature

Adjust the temperature calculated in 6.2 for the difference between the actual junction temperature and the measured back-of-module temperature. If the junction temperature has not been measured by another technique, assume that the temperature difference is 2 °C for 1 000 W/m² and scale linearly this difference to the measured irradiance.

6.4 Translate the measurement to the desired test condition

Correct the measured current-voltage characteristic to the desired irradiance and temperature conditions in accordance with IEC 60891 (for linear devices) using the irradiance and temperature values computed in 6.1 and 6.3. For non-linear devices, refer to IEC 60904-10 for guidance in determining over what range the device can be considered to be linear. The series resistance value will either be given by the supplier or determined by measurement as in IEC 60891.

If the measured I - V curve shows evidence of variable irradiance or variable module performance within the array, evaluate the uncertainty associated with the correction.

6.5 Correct for soiling losses

If expected as part of the measurement procedure, correct the measured current-voltage characteristic for any known and quantifiable effects such as soiling. If the soiling level of the array was measured according to 5.2, increase the current values by an amount equivalent to the soiling loss measured.

It may be advisable to correct for wiring ohmic losses as well if there are long cable runs between the array under test and the test device. This can be done using standard resistive values for the conductor and the current measured. It is not recommended to try to correct for module mismatch or degradation because measurement error may be significantly larger than the estimated losses themselves.

7 Test report

A test report with measured performance characteristics and test results shall be prepared by the test agency in accordance with ISO 17025. The test report shall contain the following data:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the report and of each page;
- d) name and address of client;
- e) a description and identification of the array under test;
- f) description of the test environment, including weather conditions, location and alignment of sensor and possible sources of reflection and shading around the test array. If the modules in the array are not coplanar, document how the irradiance sensor was aligned relative to the variable alignment of the modules;
- g) date of installation and date of energization of array under test, if known;
- h) date(s) of test;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) identification of calibration of relevant equipment;
- k) any deviations from, additions to or exclusions from the test method, and any other information relevant to a specific test;
- l) description and identification of primary and/or secondary reference device (cell or PV module);

- m) identification of the method for temperature and irradiance correction of the measured characteristic;
- n) the quantitative corrections that resulted from the temperature and irradiance corrections;
- o) test results supported by tables and graphs, including irradiance level, temperatures of the array under test and reference device, module parameters used for correction of the current-voltage characteristic;
- p) either the mismatch correction value used in the measurement or an estimate of the error introduced by using the mismatched reference device;
- q) a statement of the estimated uncertainty of test results;
- r) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the test report, and the date of issue;
- s) a statement to the effect that the results relate only to the array tested;
- t) a statement that the test report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015

Annex A (informative)

Reference values and reference device

A.1 Reference test conditions (RTC)

These are reference values of ambient temperature, in-plane irradiance and spectral distribution, specified for power rating of PV arrays as defined for the desired measurement. RTC are usually standard test conditions.

A.2 Standard test conditions (STC)

These are reference values of module temperature, in-plane irradiance and spectral distribution used for indoor (simulator) measurements:

- module temperature: 25 °C;
- in-plane irradiance: 1 000 W/m²;
- spectral distribution: AM 1,5 (global).

NOTE See IEC 60904-3.

A.3 Reference device

A reference device is a specially calibrated solar cell, multi-cell package or module which is used to measure irradiance and in this procedure to provide junction temperature reference.

For measurements in natural sunlight, when the direct solar beam is not at or near normal incidence, it is recommended to use a reference module of the same type and size as those being tested or a multi-cell package consisting of a calibrated cell surrounded by other cells (dummy or real) in such a way that frame, encapsulation system, shape, size and spacing are the same as in the modules being tested.

Bibliography

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Termes et définitions	23
4 Appareillage	23
4.1 Mesurages de l'éclairement sous lumière solaire naturelle	23
4.2 Mesurages de la température du module	24
4.3 Mesurages électriques	25
5 Procédure de mesure	25
5.1 Choix et enregistrement des conditions appropriées de mesure	25
5.2 Lavage des modules	25
5.3 Vérification de l'ombre	26
5.4 Confirmation de l'uniformité de l'éclairement sur le champ de modules d'essai	26
5.5 Montage du dispositif de référence	27
5.6 Préparation du mesurage de la température du champ de modules	27
5.7 Déconnexion du champ de modules	27
5.8 Connexion du système de mesure au champ de modules à mesurer	27
5.9 Enregistrement des données électriques et des conditions de mesure	28
5.10 Enregistrement de données spectrales	29
5.11 Sélection de modules typiques et extrêmes	29
6 Analyse	30
6.1 Correction de l'éclairement mesuré pour tout écart par rapport aux conditions de référence	30
6.2 Calcul de la température moyenne du champ de modules en essai	31
6.3 Calcul de la température de jonction	31
6.4 Transposition du mesurage en fonction des conditions d'essai souhaitées	31
6.5 Correction des pertes dues à la salissure	31
7 Rapport d'essai	31
Annexe A (informative) Valeurs et dispositif de référence	33
A.1 Conditions d'essai de référence (RTC – reference test conditions)	33
A.2 Conditions normales d'essai (STC – standard test conditions)	33
A.3 Dispositif de référence	33
Bibliographie.....	34
Figure 1 – Exemples de modules extrêmes et centraux.....	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CHAMP DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) –
MESURAGE SUR SITE DES CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 61829 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1995. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) elle traite de plusieurs procédures obsolètes;
- b) elle tient compte des traceurs de courbe $I-V$ commerciaux couramment utilisés;
- c) elle fournit une approche plus pratique pour gérer les incertitudes associées aux champs;
- d) elle supprime et remplace certaines procédures par d'autres normes pertinentes et mises à jour, parmi lesquelles la série IEC 60904 et l'IEC 60891.

Il en résulte une norme plus pratique et utile.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1008/FDIS	82/1041/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015

INTRODUCTION

Les performances des systèmes photovoltaïques (PV) en fonctionnement depuis maintenant des décennies sont déterminées en comparant la production de puissance mesurée à la production prévue telle qu'estimée sur la base des conditions climatiques enregistrées. Les mesurages en continu du niveau de sortie en fonctionnement normal du système ou du sous-système peuvent permettre de détecter les champs de modules moins performants, mais ne sont pas bien adaptés pour suivre avec exactitude les dégradations ou pour identifier les faiblesses ou les modes de défaillance qui peuvent exister dans le champ de modules. Les mesurages sur site de la courbe I - V constituent une méthode pratique d'analyse comparative ou de recherche de panne sur site pour les modules, les chaînes et les champs de modules. La présente Norme internationale spécifie des méthodes et approches de mesure sur site et de calcul de la courbe I - V d'un champ de modules photovoltaïques, et inclut des lignes directrices relatives aux incertitudes associées aux appareils de mesure et aux configurations des champs de modules. Une application cohérente et correcte des procédures de mesure de la courbe I - V permet d'assurer une caractérisation adéquate des performances d'un système PV au fil du temps.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61829:2015

CHAMP DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) – MESURAGE SUR SITE DES CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les procédures relatives au mesurage sur site des caractéristiques d'un champ de modules photovoltaïques (PV) à plaque plane avec les conditions climatiques associées et l'utilisation de celles-ci pour leur transposition dans des conditions normales d'essai (STC – standard test conditions) ou dans d'autres conditions sélectionnées.

Les mesurages des caractéristiques courant-tension ($I-V$) d'un champ de modules photovoltaïques dans les conditions réelles sur site et leur transposition dans des conditions d'essai de référence (RTC – reference test conditions) peuvent conduire à :

- des données relatives aux caractéristiques assignées de puissance ou aux essais de capacité;
- la vérification des performances de la puissance installée du champ de modules par rapport aux spécifications de conception;
- la détection des différences possibles entre les mesurages des caractéristiques sur site des modules et ceux réalisés par le laboratoire ou le fabricant;
- la détection des dégradations possibles des performances des modules et des champs de modules par rapport aux données initiales sur site;
- la détection de défaillances possibles ou de mauvaises performances des modules ou des champs de modules.

Pour un module particulier, les mesurages sur site transposés dans les conditions normales d'essai (STC) peuvent être directement comparés avec les résultats obtenus antérieurement par le laboratoire ou le fabricant pour le module considéré. Il peut être nécessaire d'évaluer, comme spécifié dans l'IEC 60904, la correction des écarts de réponse spectrale ou spatiale des dispositifs de référence.

Les mesurages sur site d'un champ de modules sont affectés par les pertes dues aux diodes, aux câbles et à la désadaptation, la salissure et l'ombre, la dégradation due au vieillissement, et d'autres effets non contrôlés. Par conséquent, les résultats ne sont pas supposés être identiques au produit du nombre de modules et des données des modules respectifs.

Si un champ de modules photovoltaïques (PV) est constitué de sous-champs de modules de différentes inclinaisons, orientations, technologies ou configurations électriques, les procédures spécifiées dans la présente Norme internationale sont appliquées à chaque sous-champ de modules PV concerné.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

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

IEC 60904-3, *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 60904-4, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 4: Dispositifs solaires de référence – Procédures pour établir la traçabilité de l'étalonnage*

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

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

pyranomètre

radiomètre normalement utilisé pour mesurer l'éclairement global sur un plan horizontal

Note 1 à l'article: Un pyranomètre peut également être utilisé pour mesurer l'éclairement diffus lorsqu'il est utilisé avec une contre bague ou un disque (déflecteur).

Note 2 à l'article: Un pyranomètre peut également être utilisé pour mesurer l'éclairement total sur un plan incliné, incluant alors le rayonnement réfléchi par le sol.

[SOURCE: Cette source n'existe que dans la langue anglaise.]

3.2

radiomètre

instrument destiné à mesurer l'intensité de l'éclairement solaire

Note 1 à l'article: Voir aussi IEC 60050-845:1987, 845-05-06.

Note 2 à l'article: Un radiomètre est habituellement un instrument thermique mettant en œuvre des thermocouples ou des thermopiles et dont les mesures sont indépendantes de la longueur d'onde du rayonnement.

[SOURCE: Cette source n'existe que dans la langue anglaise.]

3.3

spectroradiomètre

appareil destiné à mesurer la distribution spectrale de l'éclairement d'un rayonnement incident en fonction de la longueur d'onde

[SOURCE: Cette source n'existe que dans la langue anglaise.]

4 Appareillage

4.1 Mesurages de l'éclairement sous lumière solaire naturelle

Les mesurages de l'éclairement doivent être effectués à l'aide d'un dispositif PV de référence conditionné et étalonné conformément à l'IEC 60904-2 ou à l'aide d'un pyranomètre.

L'adaptation spectrale des dispositifs PV de référence doit être traitée par l'une des méthodes suivantes.

- a) Le spectre du dispositif de référence est adapté aux modules contenus dans le champ de modules en essai.
- b) Il convient de réaliser une correction de la désadaptation spectrale conformément à l'IEC 60904-7. Le dispositif de référence doit être linéaire dans le courant de court-circuit tel que défini dans l'IEC 60904-10 dans la plage d'éclairement concernée.
- c) Si les mesurages spectraux ne sont pas pratiques, il convient d'indiquer les incertitudes associées au mesurage de l'éclairement et les capteurs spécifiques utilisés dans le cadre de l'analyse. Il convient de réaliser les mesurages dans des conditions de ciel dégagé, les nuages les plus proches étant à au moins 15° du soleil et le capteur étant monté dans le plan des éléments en essai comme mentionné ailleurs.

Afin que son spectre soit considéré comme adapté, un dispositif de référence doit être construit en utilisant la même technologie de cellule et le même boîtier d'encapsulation que les modules du champ de modules en essai. Si ce n'est pas le cas, la désadaptation spectrale doit être indiquée ou une estimation de l'incertitude doit être réalisée dans le cadre de l'analyse. La désadaptation spectrale présente un intérêt particulier avec des modules à couches minces.

Pour les modules qui concentrent la lumière solaire avec un rapport de concentration optique supérieur à 3:1, au moins un radiomètre doit fournir une mesure collimatée de l'éclairement normal direct (IEC 60904-4).

La température du dispositif de référence doit être mesurée à l'aide d'une instrumentation avec une exactitude de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C. Si le dispositif de référence est muni d'une correction interne de température ou s'il s'agit d'un pyranomètre avec un coefficient de température $< 0,02$ %/°C, le mesurage de la température n'est pas exigé. Cependant, le montage d'une thermopile doit être cohérent avec les conditions utilisées pour son étalonnage.

Des moyens appropriés sont exigés pour vérifier que le dispositif de référence et les modules sont coplanaires avec une exactitude de $\pm 2^\circ$.

NOTE Un niveau numérique ou autre dispositif étalonné peut être utilisé pour confirmer les modules coplanaires.

Un pyranomètre supplémentaire est exigé pour vérifier l'uniformité de l'éclairement dans le plan. Ce radiomètre doit fournir une sortie stable, mais il peut ne pas être étalonné puisqu'il n'est utilisé que pour des mesurages relatifs.

Si des corrections spectrales sont nécessaires, il est exigé d'utiliser un spectroradiomètre capable de mesurer l'éclairement spectral de la lumière solaire dans la plage de la réponse spectrale de l'échantillon d'essai et du dispositif de référence.

4.2 Mesurages de la température du module

La température de la face arrière du module du champ de modules en essai doit être mesurée à l'aide d'une instrumentation avec une exactitude de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C. Il est recommandé de fixer mécaniquement un capteur thermique plat à conducteurs fins directement sur la face arrière au milieu d'un module et au moins à 10 cm de tout boîtier de raccordement, mais en face d'une partie active du module. Il convient que le procédé de fixation ne modifie pas la température du module, telle qu'elle peut être identifiée par imagerie infrarouge à partir de la face avant du module. Un thermomètre optique ne peut être utilisé que si l'émissivité de la face arrière a été suffisamment bien étalonnée pour obtenir une exactitude du thermomètre optique à 1 °C près. Un thermomètre à contact portatif ne peut être utilisé que s'il a été vérifié que l'exactitude est à 1 °C près.

NOTE La plupart des thermomètres portatifs conduisent la chaleur dans la poignée du thermomètre provoquant une lecture de température qui est inférieure à la température réelle de la face arrière.

4.3 Mesurages électriques

Une unité contenant un système de traçage de la courbe $I-V$ doit être adaptée aux niveaux anticipés de tension, de courant et de puissance du champ de modules. Il convient que la vitesse à laquelle l'unité balaye la courbe soit suffisamment rapide pour éviter toute variation de l'éclairement pendant le traçage de la courbe mais suffisamment lente pour s'assurer que les modules PV ont atteint les conditions de régime permanent. D'autres équipements adaptés pour le balayage du champ de modules sur une partie significative de sa courbe $I-V$ peuvent être utilisés mais néanmoins toute limitation par rapport aux exigences ci-dessus doit être clairement mentionnée dans le rapport de mesure.

L'unité de traçage de la courbe $I-V$ doit pouvoir mesurer les tensions et les courants avec une exactitude de ± 1 % de la tension en circuit ouvert et du courant de court-circuit en utilisant des fils indépendants à partir des bornes du champ de modules en essai et en maintenant les fils susceptibles d'ajouter une résistance en série aussi courts que possible. Si seulement deux fils sont utilisés, l'erreur introduite doit être incluse dans l'analyse d'incertitude. Il convient de choisir soigneusement les plages de mesure de l'acquisition de données pour correspondre au champ de modules mesuré.

Il convient que l'instrumentation soit capable de mesurer le courant à une tension nulle, en utilisant une polarisation variable (de préférence électronique) pour compenser la chute de tension apparaissant aux bornes de la résistance en série externe. Si l'instrumentation ne permet pas d'atteindre la polarisation de tension nulle, l'extrapolation peut être utilisée, mais l'instrumentation doit être capable d'atteindre une polarisation de tension de 3 % de la tension en circuit ouvert du dispositif.

5 Procédure de mesure

5.1 Choix et enregistrement des conditions appropriées de mesure

Les conditions idéales pour un essai en extérieur de la courbe $I-V$ sont un ciel dégagé (aucun nuage et aucun brouillard) et peu de vent. Les variations de l'éclairement et du vent introduisent des transitoires de température dans le champ de modules qui affectent l'exactitude des mesurages. Dans la pratique, les contraintes de temps et les contraintes contractuelles limitent les périodes pendant lesquelles il est possible d'effectuer un essai. Il est donc de la responsabilité de la ou des personnes chargées des essais de s'assurer que tous les essais sont effectués dans les conditions les plus stables possible, et qu'une attention particulière est accordée à l'enregistrement des variations de l'éclairement, du vent et des températures du champ de modules. Par exemple, même si l'éclairement ne fluctue pas de plus de 2 % au cours du mesurage de la courbe $I-V$, il peut avoir augmenté de 30 % dans les 5 min qui ont précédé l'essai, et la température du champ de modules peut ne pas s'être stabilisée avant la réalisation de l'essai.

Enregistrer les conditions climatiques, qualitativement, et noter périodiquement quand et comment ces conditions varient pendant la durée d'acquisition des courbes $I-V$. Il est recommandé de photographier le ciel et d'enregistrer le temps périodiquement.

NOTE Ces informations permettent d'identifier les données potentiellement erronées et ne sont pas directement utilisées pour l'analyse.

5.2 Lavage des modules

La propreté de la surface des modules doit être compatible avec l'objet de l'essai. L'état de propreté, si un lavage a été entrepris ou non, doit être consigné.

Si l'objet de l'essai est de détecter les différences possibles entre les mesurages des modules sur site et les mesurages effectués par le laboratoire ou le fabricant, soit

- a) le champ de modules doit être lavé à fond immédiatement avant le mesurage, soit
- b) une chaîne représentative doit être soumise à essai immédiatement avant et immédiatement après un lavage complet. Le niveau de salissure sur le champ de modules est déterminé en comparant les résultats de l'essai de la chaîne $I-V$ avant et après le lavage. Il convient de réaliser une telle évaluation de la salissure dans des conditions d'éclairement très stables, et de permettre à la température de la chaîne de se stabiliser totalement après le lavage.

Si l'objet de l'essai est de fournir des éléments relatifs aux performances du champ de modules lorsqu'il est sali, aucun lavage n'est alors prévu, mais l'état sali doit être documenté par des moyens tels que des photographies et des relevés météorologiques définissant la pluie la plus récente.

5.3 Vérification de l'ombre

Vérifier qu'il n'y a aucune ombre du faisceau direct d'éclairement sur le champ de modules en essai et que les conditions d'environnement satisfont aux exigences de l'IEC 60904-1 à l'exception de ce qui suit: pour les mesurages à extrapoler à STC (Conditions normales d'essai, voir Annexe A), l'éclairement total dans le plan doit être au moins de 700 W/m^2 et les rayons du soleil doivent être dans un cône d'un angle d'ouverture totale de 45° autour de la normale au module.

Il peut être parfois souhaitable de mesurer une courbe $I-V$ lorsque le champ de modules est partiellement ombré par des objets environnants ou par lui-même. Cette procédure peut être utilisée pour le mesurage, mais la correction de la courbe $I-V$ ombrée par rapport aux conditions normales d'essai ne relève pas du domaine d'application de la présente Norme internationale, dans la mesure où la signification des conditions normales n'est pas claire dans ce cas.

5.4 Confirmation de l'uniformité de l'éclairement sur le champ de modules d'essai

En utilisant un pyranomètre approprié, vérifier l'uniformité de l'éclairement dans le plan sur la surface à soumettre à essai selon les besoins et sélectionner un module sur lequel l'éclairement est typique. Cette étape est utile si les orientations de champs de modules fondées sur les rangées, par exemple, créent une certaine non-uniformité de l'éclairement diffus. Les mesurages du pyranomètre peuvent être utilisés pour révéler des variations et sélectionner les modules avec l'éclairement le plus représentatif du rayonnement sur le champ complet de modules. Le choix de ces modules est basé sur le principe et l'exemple représentés à la Figure 1. Si l'objet des mesurages de $I-V$ est de fournir des éléments relatifs à la stabilité du champ de modules dans le temps, l'uniformité peut ne pas être vérifiée. Cependant il convient que la géométrie de l'essai reste cohérente pour faciliter l'obtention de résultats cohérents.

La sélection d'un module typique peut être directe lors du mesurage d'une seule chaîne si les modules sont tous situés dans une rangée. Les mesurages du niveau d'un boîtier de combineurs comprennent des modules qui couvrent plusieurs rangées, de sorte qu'il convient de vérifier l'uniformité sur les rangées applicables. La sélection d'un module d'éclairement typique peut être limitée par la longueur des conducteurs du pyranomètre, par conséquent, il convient que toute variation de ce qui est considéré comme typique soit signalée dans le rapport.

Dans le cas où un module particulier ou une chaîne particulière n'est pas accessible, par exemple dans un système complexe monté sur le toit, et que le mesurage est réalisé à partir d'un boîtier de combineurs, il est acceptable de placer et d'orienter le dispositif de référence dans un emplacement commode qui se rapproche le mieux de l'état du module ou de la chaîne. L'incertitude associée à ces méthodes de mesure doit être évaluée et incluse dans le rapport.

5.5 Montage du dispositif de référence

Monter le dispositif de référence aussi près que possible du module et dans le même plan que le module identifié en 4.4. Il convient de placer le dispositif de référence de façon à éviter toute ombre du faisceau direct d'éclairement sur le dispositif et que toute réflexion ou ombre diffuse soit cohérente avec la réflexion ou l'ombre diffuse incidente sur le champ de modules en essai. Effectuer les connexions à l'instrumentation nécessaire.

Le dispositif de référence doit être monté de sorte qu'il soit coplanaire dans une limite de $\pm 2^\circ$ de l'orientation moyenne des surfaces actives des modules en essai.

Si les modules ne sont pas coplanaires, le choix du plan d'éclairement de mesure doit être décrit dans le rapport. Si l'alignement du champ de modules en essai n'est pas cohérent, il convient d'effectuer des mesurages séparés pour chaque sous-section du champ de modules, et/ou il convient d'indiquer la variabilité de l'alignement du champ de modules dans le rapport.

5.6 Préparation du mesurage de la température du champ de modules

Sélectionner un ou plusieurs modules dont les températures de fonctionnement sont représentatives du champ de modules en essai. Le choix de ces modules est basé sur le principe et l'exemple représentés à la Figure 1 et il convient de le déterminer en réalisant des mesurages d'échantillons comme suit:

- a) au minimum un module placé au centre;
- b) au minimum un module identifié comme le plus froid du fait de sa position en amont dans le vent ou de sa proximité avec le sol présentant le meilleur refroidissement par convection;
- c) au minimum un module identifié comme le plus chaud du fait de sa position en aval dans le vent, au sommet du champ de modules lors du refroidissement par convection, ou dans un emplacement présentant peu de circulation.

Pour chaque module sélectionné, fixer le thermocouple approprié dans au moins un emplacement.

NOTE 1 L'IEC 61853-1:2011, 8.3.1 recommande trois emplacements pour gérer la non-uniformité dans le module, mais cela peut être difficile à réaliser pour un grand nombre d'essais.

NOTE 2 Dans certains cas, il peut être possible d'effectuer des mesurages de la température du module à partir de capteurs de température installés en permanence sur la face arrière du module. Dans ce cas, il est important de synchroniser toutes les horloges de l'équipement d'essai avec le système d'acquisition de données sur site et de vérifier que les modules mesurés avec de tels capteurs installés en permanence sont bien représentatifs du champ de modules en essai.

Lorsque la face arrière des modules n'est pas accessible, par exemple dans certains systèmes montés sur le toit, il est acceptable de mesurer la température à partir de la face avant du module ou d'utiliser un modèle de température de module qui a été préalablement validé. L'incertitude associée à ces méthodes de mesure doit être évaluée et incluse dans le rapport.

5.7 Déconnexion du champ de modules

Déconnecter le champ de modules à mesurer de toute charge telle que batterie ou équipement de conditionnement de l'énergie. Isoler, si nécessaire, la partie du champ de modules à soumettre à essai en déconnectant les commutateurs et les fusibles selon les besoins.

5.8 Connexion du système de mesure au champ de modules à mesurer

Connecter la charge variable/l'unité de traçage de la courbe $I-V$ au champ de modules à soumettre à essai, en considérant le meilleur emplacement pour le mesurage.

En général, il convient de considérer avec soin l'emplacement de la connexion au champ de modules pour les essais de tension et de courant par rapport à l'objet de l'essai.

Si l'objet de l'essai est de détecter des différences possibles entre les données d'essai des modules sur site et celles obtenues par le laboratoire ou le fabricant, il convient alors de réaliser les mesurages de tension et de courant le plus près possible des modules, en réduisant le plus possible le câblage et autres composants à courant continu entre les modules au point de mesure.

La sortie du boîtier de combineurs en courant continu est un emplacement approprié pour soumettre les champs de modules à essai. Les chaînes peuvent être soumises à essai à partir des entrées respectives du boîtier de combineurs en courant continu ou elles peuvent être déconnectées de leurs circuits domestiques autonomes à l'emplacement de la chaîne de modules afin de réduire le plus possible la longueur de câble entre la chaîne de modules et l'équipement d'essai.

Si l'objet de l'essai est de quantifier les performances de puissance du champ de modules, l'emplacement idéal de l'essai se situe aux entrées de l'onduleur ou aux endroits accessibles à proximité de l'onduleur. Dans le cas où l'équipement d'essai ne peut pas accepter le courant de court-circuit du champ de modules à ce niveau, il convient alors d'utiliser les dispositifs de déconnexion dans le champ de modules pour réduire le courant à l'équipement d'essai.

Il est préférable d'utiliser des unités de traçage de la courbe $I-V$ qui appliquent une méthode de mesure à quatre bornes. Des connexions séparées pour les mesurages de courant et de tension éliminent du mesurage la résistance de conducteur et de contact. L'utilisation de cette méthode évite la nécessité de compenser la résistance en série des câbles et connexions d'essai, même avec des câbles de plus grande longueur. Noter le point de connexion.

5.9 Enregistrement des données électriques et des conditions de mesure

Enregistrer les éléments suivants:

- a) la température du champ de modules d'essai;
- b) la sortie du capteur d'éclairement;
- c) une évaluation qualitative de la variabilité de l'éclairement, de la température et de la vitesse du vent dans les 15 min avant l'essai;
- d) la température du capteur d'éclairement (si exigé);
- e) la caractéristique courant-tension du champ de modules d'essai;
- f) la température du champ de modules d'essai;
- g) la sortie du capteur d'éclairement;
- h) la température du capteur d'éclairement (si exigé);
- i) une image du ciel représentant les nuages par rapport à la position du soleil (facultatif).

Les mesurages de la température et de l'éclairement sont effectués avant et après le balayage de $I-V$ pour vérifier qu'ils n'ont respectivement pas varié de plus de 1 °C ou de 0,5 %. Si un balayage (manuel) lent de la charge est utilisé, enregistrer le V_{oc} du dispositif de référence immédiatement avant le balayage de $I-V$.

Tracer la courbe $I-V$ en faisant varier la charge de telle sorte qu'il y ait un nombre suffisant de points pour définir une caractéristique $I-V$ lissée. Si un balayage (manuel) lent de la charge est utilisé (par exemple en utilisant un rhéostat comme charge), l'éclairement doit être enregistré simultanément avec chaque point de $I-V$ afin d'obtenir l'éclairement G correspondant à chaque point. Il convient que la variation totale de l'éclairement sur tout le balayage ne soit pas supérieure à 2 %. Dans le cas contraire, répéter le balayage. Si un balayage rapide de la charge tel que celui obtenu à partir d'une charge capacitive (temps de