

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic devices –
Part 10: Methods of linearity measurement**

**Dispositifs photovoltaïques –
Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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



IEC 60904-10

Edition 2.0 2009-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic devices –
Part 10: Methods of linearity measurement**

**Dispositifs photovoltaïques –
Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

M

ICS 27.160

ISBN 2-8318-1074-2

CONTENTS

| | |
|---|----|
| FOREWORD..... | 3 |
| 1 Scope and object..... | 5 |
| 2 Normative references..... | 5 |
| 3 Apparatus..... | 6 |
| 4 Sample selection..... | 6 |
| 5 Procedure for current and voltage linearity test..... | 6 |
| 5.1 Procedure in natural sunlight..... | 6 |
| 5.2 Procedure with a solar simulator..... | 8 |
| 5.3 Procedure for short-circuit linearity from absolute spectral responsivity..... | 9 |
| 6 Procedure for short-circuit current linearity from two-lamp method..... | 9 |
| 6.1 Background..... | 9 |
| 6.2 Apparatus - Light sources A and B..... | 9 |
| 6.3 General procedure..... | 9 |
| 7 Linearity calculation..... | 10 |
| 7.1 Slope linearity determination..... | 10 |
| 7.2 Determination of the short circuit current linearity using the two lamp method..... | 11 |
| 7.3 Linearity requirements..... | 11 |
| 8 Report..... | 11 |
| Bibliography..... | 13 |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 10: Methods of linearity measurement

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 60904-10 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1998 and constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- a) Added clause for two-lamp method for I_{sc} linearity.
- b) Changed standard deviation as a metric for linearity to percent deviation from linearity. This was done because a non-linear device can have a low standard deviation and percent deviation is the quantitative number that matters for the parameter of interest.
- c) Removed clause on spectral responsivity nonlinearity because it is not used by any PV testing / calibration group. For testing real PV devices it is difficult to make this error significant in the spectral mismatch correction factor while still passing I_{sc} linearity. Measuring the responsivity over the entire response range means that the device will probably fail the temperature linearity near the band edge.

- d) Added a clause to allow short circuit linearity with temperature or total irradiance to be determined from absolute spectral responsivity measurements. This data is routinely reported in PTB primary reference cell calibration certificates.
- e) Added report clause in compliance with ISO/IEC 17025 requirements.
- f) Often the temperature coefficient of short circuit current is very small so measurement errors can result in percent deviations outside the accepted range. Therefore, the following text was added to 7.3c): "If the temperature coefficient of short circuit current is less than 0,1 %/K, then the device can be considered linear with respect to this parameter."

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

| FDIS | Report on Voting |
|-------------|------------------|
| 82/582/FDIS | 82/589/RVD |

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

A list of all parts of IEC 60904 series, under the general title *Photovoltaic devices*, can be found on the IEC website.

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

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

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 10: Methods of linearity measurement

1 Scope and object

This part of IEC 60904 describes procedures used to determine the degree of linearity of any photovoltaic device parameter with respect to a test parameter. It is primarily intended for use by calibration laboratories, module manufacturers and system designers.

Photovoltaic (PV) module and system performance evaluations, and performance translations from one set of temperature and irradiance conditions to another frequently rely on the use of linear equations (see IEC 60891 and IEC 61829). This standard lays down the linearity requirements and test methods to ensure that these linear equations will give satisfactory results. Indirectly, these requirements dictate the range of the temperature and irradiance variables over which the equations can be used.

The methods of measurement described in this standard apply to all PV devices and are intended to be carried out on a sample or on a comparable device of identical technology. They should be performed prior to all measurement and correction procedures that require a linear device. The methodology used in this standard is similar to that specified in IEC 60891 in which a linear (straight-line) function is fitted to a set of data points using a least-squares fit calculation routine. The variation of the data from this function is also calculated, and the definition of linearity is expressed as an allowable variation percentage.

A device is considered linear when it meets the requirements of 7.3.

General procedures for determining the degree of linearity for these and any other performance parameter are described in Clauses 5 and 6.

2 Normative references

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

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

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

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

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

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

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

3 Apparatus

- a) Equipment necessary to measure an I-V curve (see IEC 60904-1).
- b) Any equipment necessary to change the irradiance over the range of interest without affecting the relative spectral irradiance distribution and the spatial uniformity, such as mesh filters or neutral density filters.

NOTE The equipment and procedure used to change the irradiance are to be verified with a radiometer. The change in relative spectral irradiance distribution should not result in more than 0,5 % change in the short-circuit current of the device (see IEC 60904-7 and IEC 60904-8). Mesh filters are believed to be the best method for large surfaces.

- c) Any equipment necessary to change the temperature of the test specimen over the range of interest.
- d) A means for controlling the temperature of the test specimen and reference device, or a removable shade.
- e) Equipment for measuring the spectral response of the test specimen (or a representative sample equivalent to the test specimen) in accordance with IEC 60904-8 to a repeatability of ± 2 % of the reading.

NOTE IEC 60904-7 provides methods for the computation of spectral mismatch error introduced in the testing of photovoltaic devices, and IEC 60904-8 provides guidance for spectral measurement.

4 Sample selection

This procedure shall be applied to a full-sized test specimen if possible. If this is not possible, a small sample equivalent in construction and materials should be used.

5 Procedure for current and voltage linearity test

There are three acceptable procedures for performing the linearity test of short-circuit current with respect to temperature and irradiance. There are two acceptable procedures for performing the linearity test of open-circuit voltage with respect to temperature and irradiance.

5.1 Procedure in natural sunlight

5.1.1 Measurement in natural sunlight shall only be made when:

- The total irradiance is at least as high as the upper limit of the range of interest.
- The irradiance variation caused by short-term oscillations (clouds, haze, or smoke) is less than ± 2 % of the total irradiance as measured by the reference device.
- The wind speed is less than $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

5.1.2 Mount the reference device co-planar with the test specimen so that both are normal to the direct solar beam within $\pm 1^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.

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

5.1.3 If the test specimen and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level. If temperature controls are not used, shade the test specimen from the sun and allow it to stabilize within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the ambient air temperature. The

reference device should also stabilize within $\pm 1^\circ\text{C}$ of its equilibrium temperature before proceeding.

5.1.4 Remove the shade (if used) and immediately take simultaneous readings of the test parameter X_i , the test specimen device parameter Y_i and the temperature and short-circuit current of the reference device.

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

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

5.1.6 If the test parameter being varied is the irradiance, reduce the irradiance on the test specimen to a known fraction k_i without affecting the spatial uniformity or the spectral irradiance distribution. There are various methods by which to accomplish this:

- a) Using calibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device should remain uncovered by the filter during the operation to enable the incident irradiance to be measured. In this case, k_i is the filter calibration parameter (fraction of light transmitted).
- b) Using uncalibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device should also be covered by the filter during the test. In this case, k_i is the ratio of the reference device short-circuit current (I_{sc}) to its calibration value (I_{rc}).

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

- c) By controlling the angle of incidence. If this method is selected, the reference device should have the same reflective properties as the test specimen, and should be mounted co-planar with the test specimen within $\pm 1^\circ$. In this case, k_i is the ratio of the reference device short-circuit current (I_{sc}) to its calibration value (I_{rc}).

NOTE 2 For cells with thick metallization, the rotation axis should be parallel to the direction of the metalized lines in order to minimize or eliminate shadowing.

5.1.7 Calculate the irradiance level on the test specimen G_i as follows:

$$G_i = k_i \times G_o$$

where G_o is determined by the method described in 5.1.5.

5.1.8 If the test parameter being varied is the temperature, adjust the temperature by means of a controller or alternately exposing and shading the test specimen as required to achieve and maintain the desired temperature. Alternately, the test specimen may be allowed to warm-up naturally with the data recording procedure of 5.1.4 performed periodically during the warm-up.

5.1.9 Ensure that the test specimen and reference device temperatures are stabilized and remain constant within $\pm 1^\circ\text{C}$ and that the irradiance as measured by the reference device remains constant within $\pm 2\%$ during the data recording periods.

5.1.10 Repeat steps 5.1.4 through 5.1.9. The value of the test parameter selected shall be such that the range of interest is spanned in at least four approximately equal increments. A minimum of three measurements shall be made at each of the test conditions.

5.2 Procedure with a solar simulator

NOTE Emission lamps such as xenon should be evaluated before use. As the band gap of the test device varies due to temperature changes, it can pass through various emission lines in the lamp spectrum and give rise to shifts in performance. Based on the linearity of spectral response and the lamp spectrum the magnitude of this effect can be calculated by performing a mismatch correction as a function of temperature.

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

5.2.2 If the test specimen and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level. If temperature controls are not used, allow the test specimen and reference device to stabilize within $\pm 1^\circ\text{C}$ of the room air temperature.

5.2.3 Set the irradiance at the test plane to the upper limit of the range of interest using the reference device measured current (I_{sc}), and its calibration value at STC (I_{rc}).

5.2.4 Conduct the test and take simultaneous readings of the test parameter X_i , the test specimen device parameter Y_i and the temperature and short-circuit current of the reference device.

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

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

5.2.6 If the test parameter being varied is the irradiance, reduce the irradiance on the test specimen to a known fraction k_i without affecting the spatial uniformity or the spectral irradiance distribution. The various methods by which to accomplish this are:

- by increasing the distance between the test plane and the lamp. With the reference device maintained in the same plane as the test specimen, k_i is the ratio of the reference device short-circuit current (I_{sc}) to its calibration value (I_{rc});
- by the use of an optical lens. In this case, k_i is the ratio of the reference device short-circuit current (I_{sc}) to its calibration value (I_{rc}). Care should be exercised to ensure that the lens does not significantly change the relative spectral irradiance in the wavelength range in which the test and reference specimens are responsive;
- by controlling the angle of incidence. If this method is selected, the distance between the lamp source and the specimen shall be large to limit the irradiance change across the tilted surface to 0,5 % or less. Also, if this method is selected, the radiant beam shall be collimated, the reference device should have the same reflective properties as the test specimen, and should be mounted co-planar with the test specimen. In this case, k_i is the ratio of the reference device short-circuit current (I_{sc}) to its calibration value (I_{rc});
- calibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device should remain uncovered by the filter during the operation to enable the incident irradiance to be measured. In this case, k_i is the filter calibration parameter (fraction of light transmitted);
- uncalibrated, uniform density mesh filters. If this method is selected, the reference device should also be covered by the filter during the test. In this case, k_i is the ratio of the reference device short-circuit current (I_{sc}) to its calibration value (I_{rc}).

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

5.2.7 Calculate the irradiance level on the test specimen G_i as follows:

$$G_i = k_i \times G_o$$

where G_o is determined by the method described in 5.2.5.

5.2.8 If the test parameter being varied is the temperature, adjust the temperature by appropriate means (see 10.4 of IEC 61215 and IEC 61646).

5.2.9 Ensure that the test specimen and reference device temperatures are stabilized and remain constant within ± 1 °C during the test.

5.2.10 Repeat steps 5.2.4 through 5.2.9. The value of the test parameter selected shall be such that the range of interest is spanned in at least four approximately equal increments. A minimum of three measurements shall be made at each of the test conditions.

5.3 Procedure for short-circuit linearity from absolute spectral responsivity

Following IEC 60904-8 measure the absolute spectral responsivity as a function of bias light or temperature in at least four approximately equal increments over the temperature or irradiance range of interest. Compute the short-circuit current density by integrating the measured responsivity with the reference spectrum given in IEC 60904-3.

6 Procedure for short-circuit current linearity from two-lamp method

6.1 Background

If a PV device is linear then the short circuit current (photo-current) from a cell illuminated by two light sources shall equal the sum of the short circuit currents (photo-currents) from the individual light sources or;

$$I_A + I_B = I_{AB}$$

where:

I_{AB} is the short-circuit current with both lamps illuminating the cell,

I_A or I_B is the short-circuit current with one lamp on the cell and the light from the other lamp blocked.

NOTE The advantage of this method is that no filter or lamp properties have to be measured.

6.2 Apparatus - Light sources A and B

For specimens that are single junction cells the spatial nonuniformity of the light or spectral irradiance is not important. For specimens that are modules, two IEC 60904-9 class BBA or better light sources are required. The temporal instability of the light shall be less than 0,5 % during the measurement period of I_{AB} , I_A and I_B .

6.3 General procedure

6.3.1 Connect the test specimen to the apparatus to measure I_{sc} .

6.3.2 Set the test specimen temperature to the value of interest, and maintain within ± 5 °C.

6.3.3 Adjust the light sources to give the desired irradiance and allow the light sources to stabilize. The best results will be obtained when the two light sources produce approximately the same short circuit current.

NOTE The irradiance may be changed using filters or by changing the light intensities.

6.3.4 Measure I_{AB}^* , I_A^* , I_B^* and I_{room} (the short circuit current with both beams blocked) with a given combination of filters or intensities for light source A and light source B. Calculate:

$$\begin{aligned} I_{AB} &= I_{AB}^* - I_{room} \\ I_A &= I_A^* - I_{room} \\ I_B &= I_B^* - I_{room} \end{aligned}$$

6.3.5 Repeat steps 6.3.3 and 6.3.4 with values of irradiance leading to short circuit currents I_A and I_B equivalent to the I_{AB} of the previous step.

6.3.6 Continue the process (steps 6.3.3 to 6.3.5) until the range of irradiances of interest has been spanned.

NOTE In order to get more data points in the range of interest, any combination of values of irradiance leading to short circuit currents I_A and I_B measured in steps 6.3.4 to 6.3.6 can then be utilized.

7 Linearity calculation

Verify that any variable parameters other than the one being evaluated were held constant during the testing. Small changes in temperature or irradiance may be corrected analytically to the desired condition using IEC 60891. This can be an iterative process which should be updated when linearity is established and when more refined correction coefficients are determined.

7.1 Slope linearity determination

For performance characteristic slopes such as the open-circuit voltage versus temperature, or short-circuit current versus irradiance, calculate linearity using the following method:

7.1.1 Calculate the mean values of the test parameters, and the characteristics of the best-fit straight line using the least-squares fit method as follows:

Step 1: Compute the mean value of the X and Y data points as follows:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

where n is the number of measurements.

Step 2: Compute the slope, m , of the best fit line as follows:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X) \cdot (Y_i - Y)}{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}$$

Step 3: The best-fit straight line, also known as the regression line, can now be written as follows:

$$Y - \hat{Y}_i = m \times (X - X_i)$$

NOTE 1 \hat{Y} is the predicted value based on the fit.

NOTE 2 This is equivalent to $\hat{Y}_i = mX_i + b$ with $b = Y - mX$.

7.1.2 The percentage variation from linearity is determined using the best fit straight line slope, m , and the measured data as follows:

$$\text{Percentage deviation from linearity} = 100 \times [1 - Y_i / \hat{Y}]$$

where typical $\{X_i, Y_i\}$ pairs are $\{I_{sc}, G_i\}$ or $\{P_{max}, T\}$.

7.2 Determination of the short circuit current linearity using the two lamp method

Expressing the deviation as a percentage deviation from linearity, D_{lin} yields:

$$D_{lin} = 100 \times [(I_{AB} - I_{room}) / (I_A + I_B - 2 \times I_{room}) - 1].$$

There is a value of D_{lin} for each intensity.

7.3 Linearity requirements

When a given device is claimed to be linear, the applicable range of temperatures, irradiance, voltage, or other necessary conditions shall also be stated. The requirements for the acceptable limits of non-linearity (variation) are:

- For the curve of short-circuit current versus irradiance, the maximum deviation from linearity should be less than 2 %.
- For the curve of open-circuit voltage versus the logarithm of irradiance, the maximum deviation from linearity should be less than 5 %.
- For the curve of open-circuit voltage, short-circuit current and maximum power versus temperature, the maximum deviation from linearity should be less than 5 %. If the temperature coefficient of short circuit current is less than 0,1 %/K, the device can be considered linear with respect to this parameter.

8 Report

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

- A title.
- Name and address of the test laboratory and location where the calibration or tests were carried out.
- Unique identification of the certification or report and of each page.
- Name and address of client, where appropriate.
- Description and identification of the item calibrated or tested.
- Characterization and condition of the calibration or test item.
- Date of receipt of test item and date(s) of calibration or test, where appropriate.
- Identification of calibration or test method used.
- Reference to sampling procedure, where relevant.
- Any deviations from, additions to or exclusions from the calibration or test method, and any other information relevant to a specific calibration or test, such as environmental conditions.

- k) Measurements, examinations and derived results of module incidence angle effects, its operating temperature and its spectral response.
- l) For non-symmetric optical modules the tilt and azimuth directions have to be specified in a drawing.
- m) A statement of the estimated uncertainty of the calibration or test result (where relevant).
- n) A signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the certificate or report, and the date of issue.
- o) Where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items calibrated or tested.
- p) A statement that the certificate or report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.
- q) A statement on whether the sample passes or fails the linearity criteria. And the deviation from linearity.
- r) Graph of the data used to determine linearity in 7.3.

Bibliography

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

IEC 61829, *Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On-site measurement of I-V characteristics*

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| AVANT-PROPOS | 15 |
| 1 Domaine d'application et objet | 17 |
| 2 Références normatives | 17 |
| 3 Equipement | 18 |
| 4 Sélection de l'échantillon | 18 |
| 5 Procédure pour l'essai de linéarité du courant et de la tension..... | 18 |
| 5.1 Procédure sous éclairage solaire naturel..... | 18 |
| 5.2 Procédure avec un simulateur solaire | 20 |
| 5.3 Procédure pour la linéarité du court-circuit à partir de la réponse spectrale absolue | 21 |
| 6 Procédure pour la linéarité du courant de court-circuit à partir de la méthode à deux lampes | 21 |
| 6.1 Contexte..... | 21 |
| 6.2 Appareils – sources de lumière A et B..... | 22 |
| 6.3 Procédure générale | 22 |
| 7 Calcul de la linéarité | 22 |
| 7.1 Détermination de la linéarité de la pente | 22 |
| 7.2 Détermination de la linéarité du courant de court-circuit en utilisant la méthode à deux lampes..... | 23 |
| 7.3 Exigences de linéarité..... | 23 |
| 8 Rapport | 24 |
| Bibliographie | 25 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60904-10 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 1998 et constitue une révision technique.

Les principales modifications techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- a) Ajout d'un article sur la méthode à deux lampes pour la linéarité I_{SC} .
- b) Modification de l'écart type, d'une donnée du système métrique pour la linéarité en un écart en pourcentage par rapport à la linéarité. Cette modification est due au fait qu'un dispositif non linéaire peut avoir un faible écart type et l'écart en pourcentage est un nombre quantitatif qui importe pour le paramètre présentant un intérêt.

- c) Suppression de l'article sur la non-linéarité de la réponse spectrale parce qu'elle n'est utilisée par aucun groupe d'étalonnage/d'essai PV. Pour les dispositifs PV réels d'essai, il est difficile de rendre cette erreur significative dans le facteur de correction de la désadaptation spectrale lorsque la linéarité I_{SC} est toujours satisfaite. Mesurer la réponse au-delà de la gamme de réponse entière signifie que le dispositif ne satisfait probablement pas à la linéarité de température à la limite de la bande.
- d) Ajout d'un article pour permettre la linéarité du court-circuit avec une température ou un éclairement total à déterminer à partir des mesures de réponse spectrale absolue. Cette donnée est régulièrement reportée sur les certificats d'étalonnage de la cellule de référence primaire PTB.
- e) Ajout d'un article sur le rapport en conformité avec les exigences de l'ISO/CEI 17025.
- f) Le coefficient de température du courant de court-circuit est souvent très petit de sorte que les erreurs de mesure peuvent donner lieu à des écarts de pourcentage en dehors de la gamme acceptée. C'est pourquoi le texte suivant a été ajouté en 7.3c): « Si le coefficient de température du courant de court-circuit est inférieur à 0,1 %/K, alors le dispositif peut être considéré comme linéaire par rapport à ce paramètre. »

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 82/582/FDIS | 82/589/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60904, présentées sous le titre général *Dispositifs photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60904 décrit des procédures utilisées pour déterminer le degré de linéarité d'un quelconque paramètre du dispositif photovoltaïque par rapport à un paramètre d'essai. Elle est surtout destinée à être utilisée par les laboratoires d'étalonnage, les fabricants de modules et les concepteurs de systèmes.

L'évaluation de la performance des modules et des systèmes photovoltaïques (PV), ainsi que la conversion des performances d'un groupe de conditions de température et d'éclairement à l'autre, reposent souvent sur l'application d'équations linéaires (voir la CEI 60891 et la CEI 61829). La présente norme établit les exigences et les méthodes d'essai de la linéarité afin que ces équations linéaires garantissent des résultats satisfaisants. Ces exigences indiquent indirectement la gamme des variables de température et d'éclairement sur laquelle ces équations peuvent être appliquées.

Les méthodes de mesure décrites dans la présente norme s'appliquent à tous les dispositifs PV et sont destinées à être appliquées à un échantillon ou à un dispositif comparable de technologie identique. Il convient qu'elles soient utilisées avant toutes les procédures de mesure et de correction qui exigent un dispositif linéaire. La méthodologie utilisée dans la présente norme est similaire à celle spécifiée dans la CEI 60891 dans laquelle une fonction linéaire (ligne droite) convient bien pour un ensemble de points de données utilisant un sous-programme de calcul des moindres carrés. La variation des données à partir de cette fonction est aussi calculée et la définition de la linéarité est exprimée comme un pourcentage de la variation admissible.

Un dispositif est considéré comme linéaire lorsqu'il satisfait aux exigences de 7.3.

Les procédures générales pour déterminer le degré de linéarité de ces paramètres et de tout autre paramètre de performance sont décrites dans les Articles 5 et 6.

2 Références normatives

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 Equipement

- a) Matériel nécessaire à la mesure de la courbe I-V (voir CEI 60904-1).
- b) Tout équipement nécessaire pour faire varier l'éclairement dans la gamme présentant un intérêt sans affecter la distribution relative de l'éclairement spectral et l'uniformité spatiale, par exemple les filtres à mailles ou les filtres à densité neutre.

NOTE L'équipement et la procédure utilisés pour faire varier l'éclairement sont vérifiés avec un radiomètre. Il convient que la variation de la distribution relative de l'éclairement spectral n'entraîne pas une variation supérieure à 0,5 % du courant de court-circuit du dispositif (voir CEI 60904-7 et CEI 60904-8). Les filtres à mailles sont connus pour être la meilleure méthode pour les grandes surfaces.

- c) Tout l'équipement nécessaire pour faire varier la température du spécimen en essai dans la gamme présentant un intérêt.
- d) Un moyen pour contrôler la température du spécimen en essai et du dispositif de référence, ou un dispositif d'occultation amovible.
- e) Equipement pour mesurer la réponse spectrale du spécimen en essai (ou un échantillon représentatif équivalent au spécimen en essai) conformément à la CEI 60904-8 avec une répétabilité de ± 2 % de la lecture.

NOTE La CEI 60904-7 décrit des méthodes pour le calcul de l'erreur de désadaptation spectrale dans les essais des dispositifs photovoltaïques et la CEI 60904-8 donne des lignes directrices pour la mesure spectrale.

4 Sélection de l'échantillon

La présente procédure doit être appliquée à un spécimen en essai à pleines dimensions si possible. Si cela n'est pas possible, il convient d'utiliser un petit échantillon équivalent en termes de construction et matériaux.

5 Procédure pour l'essai de linéarité du courant et de la tension

Il y a trois procédures acceptables pour effectuer l'essai de linéarité du courant de court-circuit en fonction de la température et de l'éclairement. Il y a deux procédures acceptables pour effectuer l'essai de linéarité de la tension en circuit ouvert en fonction de la température et de l'éclairement.

5.1 Procédure sous éclairage solaire naturel

5.1.1 Les mesures en ensoleillement naturel doivent être réalisées uniquement si:

- L'éclairement total est au moins égal à la limite supérieure de la gamme présentant un intérêt.
- La variation d'éclairement due à des oscillations à court terme (nuages, brume ou fumée) est inférieure à ± 2 % de l'éclairement total mesuré par le dispositif de référence.
- La vitesse du vent est inférieure à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

5.1.2 Fixer le dispositif de référence dans le même plan que le spécimen en essai de telle sorte que tous les deux soient perpendiculaires au faisceau solaire direct à $\pm 1^\circ$. Les raccorder aux instruments nécessaires.

NOTE Il convient que les mesures décrites dans les paragraphes suivants soient faites aussi rapidement que possible en quelques heures le même jour pour minimiser les effets des changements des conditions spectrales. Sinon, des corrections spectrales peuvent être exigées.

5.1.3 Si le spécimen en essai et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de régulation thermique, ajuster les dispositifs de réglage au niveau désiré. Si les dispositifs de régulation thermique ne sont pas utilisés, abriter le spécimen en essai du soleil et le laisser se stabiliser à $\pm 1^\circ\text{C}$ de la température de l'air ambiant. Il convient que le dispositif de référence se stabilise également à $\pm 1^\circ\text{C}$ de sa température d'équilibre avant de procéder à la mesure.

5.1.4 Enlever le dispositif d'occultation (s'il est utilisé) et lire immédiatement et simultanément le paramètre d'essai X_i , le paramètre du spécimen en essai Y_i , ainsi que la température et le courant de court-circuit du dispositif de référence.

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

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

5.1.6 Si le paramètre d'essai en train de varier est l'éclairement, réduire l'éclairement sur le spécimen en essai à une fraction connue k_i , sans affecter l'uniformité spatiale ou la distribution de l'éclairement spectral. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes:

- Avec des filtres à mailles de densité uniforme étalonnés. Si cette méthode est choisie, il convient que le dispositif de référence ne soit pas recouvert par le filtre pendant l'opération pour permettre de mesurer l'éclairement incident. Dans ce cas, k_i est le paramètre d'étalonnage du filtre (fraction de lumière transmise).
- Avec des filtres à mailles de densité uniforme non étalonnés. Si cette méthode est choisie, il convient que le dispositif de référence reste couvert par le filtre pendant l'essai. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) à sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).

NOTE 1 Il convient que le diamètre d'ouverture maximal de la maille du filtre soit inférieur à 1 % de la dimension linéaire minimale du dispositif de référence et du spécimen en essai; sinon une erreur variable peut se produire en raison du positionnement.

- En contrôlant l'angle d'incidence. Si cette méthode est choisie, il convient que le dispositif de référence ait les mêmes propriétés de réflexion que celles du spécimen en essai, et qu'il soit installé dans le même plan que le spécimen en essai à $\pm 1^\circ$. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) à sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).

NOTE 2 Pour les cellules ayant une métallisation dense, il convient que l'axe de rotation soit parallèle à la direction des lignes métallisées pour minimiser ou éliminer le masquage.

5.1.7 Calculer le niveau d'éclairement G_i sur le spécimen en essai comme suit:

$$G_i = k_i \times G_o$$

où G_o est déterminé par la méthode décrite en 5.1.5.

5.1.8 Si le paramètre d'essai en train de varier est la température, régler la température en utilisant un régulateur thermique ou en exposant et en couvrant alternativement le spécimen en

essai suivant ce qui est exigé pour atteindre et maintenir la température désirée. Une seconde possibilité consiste à laisser le spécimen en essai s'échauffer naturellement, en relevant les données périodiquement pendant la période d'échauffement, selon la procédure décrite en 5.1.4.

5.1.9 S'assurer que les températures du spécimen en essai et du dispositif de référence se sont stabilisées et restent constantes à ± 1 °C et que l'éclairement, mesuré par le dispositif de référence, reste constant à ± 2 % pendant les périodes d'enregistrement des données.

5.1.10 Répéter les étapes 5.1.4 à 5.1.9. La valeur du paramètre d'essai choisie doit être telle que la gamme présentant un intérêt est répartie sur au moins quatre incréments approximativement égaux. Un minimum de trois mesures doit être réalisé à chacune des conditions d'essai.

5.2 Procédure avec un simulateur solaire

NOTE Il convient d'évaluer les lampes d'émission tel que le xénon avant leur utilisation. Comme la largeur de bande spectrale du dispositif en essai varie en fonction des variations de température, elle peut se superposer aux diverses lignes d'émission du spectre de la lampe et provoquer des variations des caractéristiques fonctionnelles. Basée sur la linéarité de la réponse spectrale et le spectre de la lampe, l'importance de cet effet peut être calculée en appliquant une correction de la désadaptation en fonction de la température.

5.2.1 Installer le spécimen en essai et le dispositif de référence dans le même plan sur le plan d'essai du simulateur de telle sorte que tous les deux soient perpendiculaires à la ligne centrale du faisceau à $\pm 2^\circ$. Les raccorder aux instruments nécessaires.

5.2.2 Si le spécimen en essai et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de régulation thermique, ajuster les dispositifs de réglage au niveau désiré. Si les dispositifs de régulation thermique ne sont pas utilisés, laisser le spécimen en essai et le dispositif de référence se stabiliser à ± 1 °C de la température de l'air ambiant.

5.2.3 Mettre l'éclairement au plan d'essai à la limite supérieure de la gamme présentant un intérêt en utilisant le courant mesuré du dispositif de référence (I_{sc}) et sa valeur d'étalonnage aux STC (I_{rc}).

5.2.4 Mener l'essai et lire simultanément le paramètre d'essai X_i , le paramètre du spécimen en essai Y_i , ainsi que la température et le courant de court-circuit du dispositif de référence.

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

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

5.2.6 Si le paramètre d'essai en train de varier est l'éclairement, réduire l'éclairement sur le spécimen en essai à une fraction connue k_i , sans affecter l'uniformité spatiale ou la distribution de l'éclairement spectral. Pour ce faire, les différentes méthodes sont les suivantes:

- a) Augmenter la distance entre le plan d'essai et la lampe. Si le dispositif de référence est maintenu dans le même plan que le spécimen en essai, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) à sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).
- b) Utiliser une lentille optique. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) à sa valeur d'étalonnage (I_{rc}). Il convient de prendre des précautions pour s'assurer que la lentille ne modifie pas de manière significative l'éclairement spectral relatif dans la gamme de longueurs d'onde dans laquelle le spécimen en essai et le dispositif de référence réagissent bien.

- c) Contrôler l'angle d'incidence. Si cette méthode est choisie, la distance entre la source lumineuse et le spécimen doit être grande afin de limiter la variation d'éclairement sur la surface inclinée à 0,5 % ou moins. En outre, si cette méthode est choisie, le faisceau de rayonnement doit être collimaté, et il convient que le dispositif de référence ait les mêmes propriétés de réflexion que le spécimen en essai et qu'il soit monté dans le même plan que le spécimen en essai. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) à sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).
- d) Utiliser des filtres à mailles de densité uniforme étalonnés. Si cette méthode est choisie, il convient que le dispositif de référence ne soit pas recouvert par le filtre pendant l'opération pour permettre de mesurer l'éclairement incident. Dans ce cas, k_i est le paramètre d'étalonnage du filtre (fraction de lumière transmise).
- e) Utiliser des filtres à mailles de densité uniforme non étalonnés. Si cette méthode est choisie, il convient que le dispositif de référence reste couvert par le filtre pendant l'essai. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) à sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).

NOTE Il convient que le diamètre d'ouverture maximal de la maille du filtre soit inférieur à 1 % de la dimension linéaire minimale du dispositif de référence et du spécimen en essai; sinon une erreur variable peut se produire à cause du positionnement.

5.2.7 Calculer le niveau d'éclairement G_i sur le spécimen en essai comme suit:

$$G_i = k_i \times G_o$$

où G_o est déterminé par la méthode décrite en 5.2.5.

5.2.8 Si le paramètre d'essai en train de varier est la température, régler la température par des moyens appropriés (voir 10.4 de la CEI 61215 et la CEI 61646).

5.2.9 S'assurer que les températures du spécimen en essai et du dispositif de référence se sont stabilisées et restent constantes à ± 1 °C pendant l'essai.

5.2.10 Répéter les étapes 5.2.4 à 5.2.9. La valeur du paramètre d'essai choisie doit être telle que la gamme présentant un intérêt est répartie sur au moins quatre incréments approximativement égaux. Un minimum de trois mesures doit être réalisé à chacune des conditions d'essai.

5.3 Procédure pour la linéarité du court-circuit à partir de la réponse spectrale absolue

Conformément à la CEI 60904-8, mesurer la réponse spectrale absolue en fonction de la lumière de polarisation ou de la température d'au moins quatre incréments approximativement égaux pour la gamme de températures ou d'éclairements présentant un intérêt. Calculer la densité du courant de court-circuit en intégrant la réponse mesurée avec le spectre de référence donné dans la CEI 60904-3.

6 Procédure pour la linéarité du courant de court-circuit à partir de la méthode à deux lampes

6.1 Contexte

Si le dispositif PV est linéaire, le courant de court-circuit (photocourant) d'une cellule éclairée par deux sources de lumière doit être égal à la somme des courants de court-circuit (photocourants) des sources de lumière individuelles ou;

$$I_A + I_B = I_{AB}$$

où:

I_{AB} est le courant de court-circuit avec les deux lampes éclairant la cellule,

I_A ou I_B est le courant de court-circuit avec une lampe éclairant la cellule et la lumière issue de l'autre lampe occultée.

NOTE L'avantage de cette méthode est qu'aucune propriété du filtre ou de la lampe ne doit être mesurée.

6.2 Appareils – sources de lumière A et B

Pour les spécimens qui sont des cellules à jonction unique, la non-uniformité spatiale de la lumière ou de l'éclairement spectral n'est pas importante. Pour les spécimens qui sont des modules, deux sources de lumière de classe BBA telle que définie dans la CEI 60904-9, ou mieux, sont exigées. L'instabilité temporelle de la lumière doit être inférieure à 0,5 % pendant la période de mesure d' I_{AB} , I_A et I_B .

6.3 Procédure générale

6.3.1 Connecter le spécimen en essai à l'appareil de mesure d' I_{sc} .

6.3.2 Amener la température du spécimen en essai à la valeur désirée et la maintenir dans les limites de ± 5 °C.

6.3.3 Régler les sources de lumière pour obtenir l'éclairement souhaité et permettre la stabilisation des sources de lumière. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les deux sources de lumière produisent approximativement le même courant de court-circuit.

NOTE L'éclairement peut être modifié en utilisant des filtres ou en modifiant les intensités de la lumière.

6.3.4 Mesurer I_{AB}^* , I_A^* , I_B^* et $I_{pièce}$ (le courant de court-circuit avec les deux faisceaux occultés) avec une combinaison donnée de filtres ou d'intensité pour la source de lumière A et la source de lumière B. Calculer:

$$\begin{aligned} I_{AB} &= I_{AB}^* - I_{pièce} \\ I_A &= I_A^* - I_{pièce} \\ I_B &= I_B^* - I_{pièce} \end{aligned}$$

6.3.5 Répéter les étapes 6.3.3 et 6.3.4 avec des valeurs d'éclairement provoquant des courants de court-circuit I_A et I_B équivalents à I_{AB} de l'étape précédente.

6.3.6 Continuer le processus (étapes 6.3.3 à 6.3.5) jusqu'à ce que la gamme d'éclairements présentant un intérêt ait été parcourue.

NOTE Pour obtenir plus de points de données dans la gamme présentant un intérêt, toute combinaison des valeurs d'éclairement provoquant des courants de court-circuit I_A et I_B mesurés aux étapes 6.3.4 à 6.3.6 peut alors être utilisée.

7 Calcul de la linéarité

Vérifier que tout paramètre variable autre que celui qui est en cours d'évaluation est maintenu constant pendant l'essai. De faibles modifications en température ou éclairement peuvent être corrigées analytiquement à la condition désirée en utilisant la CEI 60891. Cela peut être un processus itératif qu'il convient de mettre à jour lorsque la linéarité est établie et lorsque des coefficients de correction plus affinés sont déterminés.

7.1 Détermination de la linéarité de la pente

Pour les pentes des caractéristiques de performance telles que la tension en circuit ouvert en fonction de la température ou le courant de court-circuit en fonction de l'éclairement, calculer la linéarité en utilisant la méthode suivante:

7.1.1 Calculer les valeurs moyennes des paramètres d'essai et les caractéristiques de la droite la plus appropriée en utilisant la méthode des moindres carrés comme suit:

Etape 1: Calculer la valeur moyenne des points de données X et Y comme suit:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

où n est le nombre de mesures.

Etape 2: Calculer la pente m de la droite la plus appropriée comme suit:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X) \cdot (Y_i - Y)}{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}$$

Etape 3: La droite la plus appropriée, connue aussi sous le nom de droite de régression, peut maintenant s'écrire comme suit:

$$Y - \hat{Y}_i = m \times (X - X_i)$$

NOTE 1 \hat{Y} est la valeur prédite appropriée.

NOTE 2 C'est un équivalent à $\hat{Y}_i = mX_i + b$ avec $b = Y - mX$.

7.1.2 La variation en pourcentage de la linéarité est déterminée en utilisant la pente de la droite la plus appropriée, m , et les données mesurées comme suit:

$$\text{Ecart de linéarité en pourcentage} = 100 \times [1 - Y_i / \hat{Y}]$$

où les paires $\{X_i, Y_i\}$ types sont $\{I_{sc}, G_i\}$ ou $\{P_{max}, T\}$.

7.2 Détermination de la linéarité du courant de court-circuit en utilisant la méthode à deux lampes

Expression de l'écart comme un écart de linéarité en pourcentage, soit le rapport D_{lin} :

$$D_{lin} = 100 \times [(I_{AB} - I_{pièce}) / (I_A + I_B - 2 \times I_{pièce}) - 1].$$

Il existe une valeur de D_{lin} pour chaque intensité.

7.3 Exigences de linéarité

Lorsqu'un dispositif donné est déclaré comme étant linéaire, la gamme applicable de températures, l'éclairement, la tension ou les autres conditions nécessaires doivent aussi être indiqués. Les exigences pour les limites acceptables de non-linéarité (variation) sont:

- a) Pour la courbe du courant de court-circuit en fonction de l'éclairement, il convient que l'écart maximal de linéarité soit inférieur à 2 %.
- b) Pour la courbe de la tension en circuit ouvert en fonction du logarithme de l'éclairement, il convient que l'écart maximal de linéarité soit inférieur à 5 %.
- c) Pour la courbe de la tension en circuit ouvert, du courant de court-circuit et de la puissance maximale en fonction de la température, il convient que l'écart maximal de linéarité soit inférieur à 5 %. Si le coefficient de température du courant de court-circuit est inférieur à 0,1 %/K, le dispositif peut être considéré comme linéaire par rapport à ce paramètre.

8 Rapport

Après avoir achevé la procédure, un rapport certifié des essais de performance, avec les caractéristiques mesurées, doit être préparé par les laboratoires d'essai conformément aux procédures ISO/CEI 17025. Chaque certificat ou rapport d'essai doit inclure au moins les informations suivantes.

- a) Un titre.
- b) Nom et adresse du laboratoire d'essai et lieu où l'étalonnage ou les essais ont été réalisés.
- c) Identification unique de la certification ou du rapport et de chaque page.
- d) Nom et adresse du client, s'il y a lieu.
- e) Description et identification de l'unité étalonnée ou soumise aux essais.
- f) Caractérisation et condition de l'unité d'étalonnage ou en essai.
- g) Date de réception de l'unité en essai et la ou les dates d'étalonnage ou de l'essai, s'il y a lieu.
- h) Identification de la méthode d'étalonnage ou d'essai utilisée.
- i) Référence à la procédure d'échantillonnage, s'il y a lieu.
- j) Tout écart par rapport à, tout complément à ou toute exclusion de la méthode d'étalonnage ou d'essai et toute autre information relative à un étalonnage ou un essai spécifique, telles que les conditions d'environnement.
- k) Mesures, examens et résultats dérivés des effets d'angle d'incidence du module, sa température de fonctionnement et sa réponse spectrale.
- l) Pour les modules optiques non symétriques, les directions d'inclinaison et d'azimut doivent être spécifiées sur un dessin.
- m) Une indication de l'incertitude estimée de l'étalonnage et du résultat d'essai (s'il y a lieu).
- n) Une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personne(s) acceptant d'être responsable(s) du contenu du certificat ou du rapport et la date d'édition.
- o) S'il y a lieu, une indication doit être fournie selon laquelle les résultats ne se rapportent qu'aux unités étalonnées ou soumises aux essais.
- p) Une spécification indiquant que le certificat ou le rapport ne doivent pas être reproduits sauf dans leur totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.
- q) Une spécification sur la satisfaction ou non du critère de linéarité pour l'échantillon. Et l'écart de linéarité.
- r) Graphe des données utilisées pour déterminer la linéarité en 7.3.

Bibliographie

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

CEI 61829, *Champ de modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin – Mesure sur site des caractéristiques I-V*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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