

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic devices –
Part 9: Solar simulator performance requirements**

**Dispositifs photovoltaïques –
Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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 60904-9

Edition 2.0 2007-10

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Photovoltaic devices –
Part 9: Solar simulator performance requirements**

**Dispositifs photovoltaïques –
Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope and object.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
3.1 solar simulator.....	5
3.2 test plane	6
3.3 designated test area.....	6
3.4 data sampling time	6
3.5 data acquisition time	6
3.6 time for acquiring the I-V characteristic	6
3.7 effective irradiance.....	6
3.8 spectral range	7
3.9 spectral match.....	7
3.10 non-uniformity of irradiance in the test plane	7
3.11 temporal instability of irradiance	7
3.12 solar simulator classification.....	8
4 Simulator requirements	8
5 Measurement procedures	9
5.1 Introductory remarks	9
5.2 Spectral match	9
5.3 Non-uniformity of irradiance on the test plane	10
5.4 Temporal instability of irradiance.....	11
5.4.1 Solar simulators for I-V measurement.....	11
5.4.2 Solar simulators for irradiance exposure.....	13
6 Name plate and data sheet.....	13
Bibliography.....	15
Figure 1 – Evaluation of STI for a long pulse solar simulator.....	12
Figure 2 – Evaluation of STI for a short pulse solar simulator	12
Table 1 – Global reference solar spectral irradiance distribution given in IEC 60904-3.....	7
Table 2 – Definition of solar simulator classifications	8
Table 3 – Example of solar simulator rating measurements.....	9

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –**Part 9: Solar simulator performance requirements**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60904-9 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

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

- Added “Terms and definitions” clause
- Redefinition of solar simulator classification
- Added procedures for the measurement of classification parameters: Spectral match, temporal instability, non-uniformity of irradiance
- Provided details and guidance to address technology specific measurement effects

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

FDIS	Report on voting
82/488/FDIS	82/498/RVD

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

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

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

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 9: Solar simulator performance requirements

1 Scope and object

IEC standards for photovoltaic devices require the use of specific classes of solar simulators deemed appropriate for specific tests. Solar simulators can be either used for performance measurements of PV devices or endurance irradiation tests. This part of IEC 60904 provides the definitions of and means for determining simulator classifications. In the case of PV performance measurements, using a solar simulator of high class does not eliminate the need to quantify the influence of the simulator on the measurement by making spectral mismatch corrections and analyzing the influences of uniformity of irradiance of the test plane and temporal stability on that measurement. Test reports for devices tested with the simulator shall list the class of simulator used for the measurement and the method used to quantify the simulator's effect on the results.

The purpose of this standard is to define classifications of solar simulators for use in indoor measurements of terrestrial photovoltaic devices, solar simulators are classified as A, B or C for each of the three categories based on criteria of spectral distribution match, irradiance non-uniformity on the test plane and temporal instability. This standard provides the required methodologies for determining the rating achieved by a solar simulator in each of the categories.

This standard is referred to by other IEC standards in which class requirements are laid down for the use of solar simulators. Solar simulators for irradiance exposure should at least fulfil class CCC requirements where the third letter is related to long term instability. In the case of use for PV performance measurements, classification CBA is demanded where the third letter is related to the short term instability.

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

3 Terms and definitions

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

3.1 solar simulator

A solar simulator can be used for two different applications:

- a) I-V measurement.
- b) Irradiance exposure.

The equipment is used to simulate the solar irradiance and spectrum. Simulators usually consist of three main components: (1) light source(s) and associated power supply; (2) any optics and filters required to modify the output beam to meet the classification requirements;

and (3) the necessary controls to operate the simulator. Solar simulators shall be labelled by their mode of operation during a test cycle. These are steady state, single pulse, and multi-pulse.

NOTE 1 Two types of solar simulators are commonly used to determine I-V characteristics: Steady-state and pulsed. The pulsed solar simulators can be further subdivided into long pulse systems acquiring the total I-V characteristic during one flash and short pulse systems acquiring one I-V data point per flash.

NOTE 2 Beside the light source, the lamp power supply and the optics, also the I-V data acquisition, the electronic load and the operating software may be an integral part of the solar simulator. Requirements for the related measurement technique are included in other parts of the IEC 60904 series.

3.2 test plane

the plane intended to contain the device under test at the reference irradiance level

3.3 designated test area

region of the test plane that is assessed for uniformity

NOTE If required, typical geometries can be specified. A specification related to a circular geometry is also permitted.

3.4 data sampling time

the time to take a single data set (irradiance, voltage, current). In the case of simultaneous measurement, this is given by the characteristic of the A/D converter. In the case of multiplexed systems the data sampling rate is the multiplexing rate.

EXAMPLE

A multiplexing time of 1 μ s would give a sampling rate of 1 MegaSamples per second.

NOTE Due to a possible delay time for transient oscillation at each data point the data sampling rate must be related to the data acquisition system only.

The data sampling time is used for evaluation of temporal stability.

3.5 data acquisition time

the time to take the entire or a part of the current-voltage curve

NOTE 1 The time of data acquisition depends on the number of I-V data points and a delay time that might be adjustable.

NOTE 2 In the case of pulsed solar simulators the time of data acquisition is related to the measurements recorded during a single flash.

3.6 time for acquiring the I-V characteristic

if the I-V curve of a PV device is measured through sectoring in different parts and successive flashes, the full time for acquiring the entire I-V characteristic is the sum of times of data acquisition

3.7 effective irradiance

irradiance may change during data acquisition of a I-V performance measurement. The effective irradiance is then the average irradiance of all data points.

NOTE Care should be taken that possible irradiance correction meets the requirements of IEC 60891.

3.8 spectral range

the reference spectral distribution of sunlight at Air Mass 1,5 Global is defined in IEC 60904-3. For simulator evaluation purposes this standard restricts the wavelength range from 400 nm to 1 100 nm. In accordance with Table 1 this wavelength range of interest is divided in 6 wavelength bands, each contributing a certain percentage to the integrated irradiance.

3.9 spectral match

spectral match of a solar simulator is defined by the deviation from AM 1,5 reference spectral irradiance as laid down in IEC 60904-3. For 6 wavelength intervals of interest, the percentage of total irradiance is specified in Table 1.

Table 1 – Global reference solar spectral irradiance distribution given in IEC 60904-3

	Wavelength range nm	Percentage of total irradiance in the wavelength range 400 nm – 1 100 nm
1	400 – 500	18,4 %
2	500 – 600	19,9 %
3	600 – 700	18,4 %
4	700 – 800	14,9 %
5	800 – 900	12,5 %
6	900 – 1 100	15,9 %

3.10 non-uniformity of irradiance in the test plane

$$Non - uniformity \ (%) = \left[\frac{\max irradiance - \min irradiance}{\max irradiance + \min irradiance} \right] \times 100 \% \quad (1)$$

where the maximum and minimum irradiance are those measured with the detector(s) over the designated test area.

3.11 temporal instability of irradiance

temporal instability is defined by two parameters:

a) Short term instability (STI)

This relates to the data sampling time of a data set (irradiance, current, voltage) during an I-V measurement. This value of temporal instability may be different between data sets on the I-V curve. In that case the short term instability is determined by the worst case.

For batch testing of cells or modules with no irradiance monitoring during I-V measurement the STI is related to the time period between irradiance determination.

b) Long term instability (LTI)

This is related to the time period of interest:

- For I-V measurements it is the time for taking the entire I-V curve.
- For irradiation exposure tests it is related to the time period of exposure.

$$Temporal \ instability \ (%) = \left[\frac{\max irradiance - \min irradiance}{\max irradiance + \min irradiance} \right] \times 100 \% \quad (2)$$

where the maximum and minimum irradiance depend on the application of the solar simulator.

If the solar simulator is used for endurance irradiation tests, temporal instability is defined by the maximum and minimum irradiance measured with a detector at any particular point on the test plane during the time of exposure.

3.12 solar simulator classification

a solar simulator may be one of three classes (A, B, or C) for each of the three categories – Spectral match, spatial non-uniformity and temporal instability. Each simulator is rated with three letters in order of spectral match, non-uniformity of irradiance in the test plane and temporal instability (for example: CBA).

NOTE The solar simulator classification should be periodically checked in order to prove that classification is maintained. For example spectral irradiance may change with operation time of the used lamp or uniformity of irradiance is influenced by the reflection conditions in the test chamber.

4 Simulator requirements

Table 1 gives the performance requirements for spectral match, non-uniformity of irradiance and temporal instability of irradiance. For the spectral match, all six intervals shown in Table 1 shall agree with the ratios in Table 2 to obtain the respective classes. Refer to Clause 5 for procedures to measure and calculate the three parameters (spectral match, non-uniformity of irradiance and temporal instability) of the simulator.

If the simulator is intended to be used for STC measurement, it should be capable of producing an effective irradiance of $1\,000\text{ W/m}^2$ at the test plane. Higher or lower irradiance levels may also be required.

NOTE If higher or lower irradiance is required, this may change the simulator classification.

These requirements apply to both steady state and pulsed solar simulators.

Table 2 – Definition of solar simulator classifications

Classifications	Spectral match to all intervals specified in Table 1	Non-uniformity of irradiance	Temporal instability	
			Short term instability of irradiance STI	Long term instability of irradiance LTI
A	0,75 – 1,25	2 %	0,5%	2 %
B	0,6 – 1,4	5 %	2 %	5 %
C	0,4 – 2,0	10 %	10 %	10 %

NOTE An example of solar simulator classification for I-V measurement is shown in Table 3. The classification of spectral match is given for a non-filtered Xenon lamp. The classification for non-uniformity of irradiance depends on the module size of interest.

Table 3 – Example of solar simulator rating measurements

Classification as specified in table 2	Spectral match to all intervals specified in Table 1	Non-uniformity of irradiance for a specific module size	Temporal instability of irradiance
CBB	0,81 in 400 – 500 nm (A) 0,71 in 500 – 600 nm (B) 0,69 in 600 – 700 nm (B) 0,74 in 700 – 800 nm (B) 1,56 in 800 – 900 nm (C) 1,74 in 900 – 1 100 nm (C)	2,8 % for module size 100 cm x 170 cm	STI evaluation: Simultaneous measurement of module current, module voltage and irradiance. Trigger delay between channels less than 10 nanoseconds. Within that time less than 0,5 % change of irradiance (A) LTI for taking the entire I-V curve in a 10 ms interval = 3,5 % (B)
	Worst case classification = C	Classification = B	Classification = B

5 Measurement procedures

5.1 Introductory remarks

It is the intent of this standard to provide guidance on the required solar simulator performance data to be taken, and the required locations in the test area for these data to be taken. It is not the intent of this standard to define the possible methods to determine the simulator spectrum or the irradiance at any location on the test plane. It is the responsibility of the simulator manufacturer to provide information upon request for test methods used in the determination of the performance in each classification. These methods should be scientifically and commercially acceptable procedures. The classification of a solar simulator does not provide any information about measurement errors that are related to photovoltaic performance measurements obtained with a classified solar simulator. Such errors are dependent on the actual measurement devices and procedures used.

5.2 Spectral match

5.2.1 Available methods are the use of:

- a) spectroradiometer comprising a grating monochromator and a discrete detector,
- b) a CCD or photodiode array spectrometer (CCD = charge coupled device),
- c) a multiple detector assembly with band pass filters, and
- d) a single detector with multiple band pass filters.

NOTE Care should be taken to avoid response from stray light or second order wavelength effects. Care should be taken that the sensitivity of the sensor is suitable in the wavelength range of interest. Care should be taken to ensure that the time constant of the detector is suitable for the pulse length of the simulator.

5.2.2 The spectral irradiance data taken should be integrated in the range 400 nm to 1 100 nm and the percentage contribution of the 6 wavelength intervals defined in Table 1 to the integrated irradiance determined.

5.2.3 Calculate the spectral match for each wavelength interval, which is the ratio of calculated percentage for the simulator spectrum and the solar spectrum.

5.2.4 The data comparison with the solar spectrum shall indicate the spectral match classification as per the following:

- Class A: Spectral match within 0,75-1,25 for each wavelength interval, as specified in Table 2.
- Class B: Spectral match within 0,6-1,4 for each wavelength interval, as specified in Table 2.
- Class C: Spectral match within 0,4-2,0 for each wavelength interval, as specified in Table 2.

5.2.5 All intervals shown in Table 1 shall agree with the spectral match ratios in Table 2 to obtain the respective classes.

NOTE 1 Spectral match may change during the pulse of a pulsed solar simulator. Therefore, integration time for spectral irradiance measurement should be adjusted to the time of data acquisition and spectral match should be calculated for that time period.

NOTE 2 Spectral match may change during the operation time of the solar simulator. If necessary, the spectral match should be checked periodically.

5.3 Non-uniformity of irradiance on the test plane

The irradiance non-uniformity in the test area of a large-area solar simulator for measuring PV modules depends on reflection conditions inside the test chamber or test apparatus. Therefore no generalization can be made and non-uniformity is to be evaluated for each system.

5.3.1 An encapsulated crystalline silicon cell or a mini-module is recommended to be used as uniformity detector for determining the non-uniformity of irradiance in the test area of the simulator by measuring its short-circuit current. The uniformity detector shall have a spectral response appropriate for the simulator. The linearity and time response of the uniformity detector shall conform to the characteristics of the simulator being measured.

NOTE When a mini-module is used as uniformity detector, care should be taken concerning possible measuring effects caused by the interconnection of cells.

5.3.2 Divide the designated test area into at least 64 equally sized (by area) test positions (blocks). The maximum uniformity detector size shall be the minimum of

- a) the designated test area divided by 64, or
- b) 400 cm².

The area covered by the detector measurements should be 100 % of the designated test area. The measurement positions should be distributed uniformly over the designated test area.

NOTE 1 A mini-module can be used as uniformity detector as long as the dimensions of its active surface fall within the dimensions of the test positions. It should have at least 80 % packing density of cells.

NOTE 2 For multiple-lamp solar simulators a higher resolution of data points using a smaller detector may become necessary in order to detect irradiance non-uniformity.

NOTE 3 Module manufacturers should consider the use of a detector of the same dimensions as the cells in the module.

Example: Large-area solar simulator

A designated test area of 240 cm x 160 cm gives a maximum area of uniformity detector size of 600 cm² if divided by 64. As this value is greater than 400 cm² the maximum uniformity detector size is 400 cm² leading to 76 test positions.

5.3.3 Using the uniformity device, determine the irradiance in each of the test positions applying the following methods:

- a) Steady-state solar simulators: At least one measurement of the irradiance shall be made in each location.
- b) Pulsed solar simulator: The total irradiance of the solar simulator may not be constant during the monitoring process. Therefore, a second PV device should be used for monitoring the irradiance during the pulse. This is to be placed at a fixed position outside the designated test area (monitoring device). Readings of both devices should be taken simultaneously. If the IV-curve is recorded during a single pulse, at least 10 readings should be taken during the part of the pulse in which the I-V measurement is performed. If necessary, irradiance correction is to be performed. The effective irradiance is the average of all irradiance corrected readings.

5.3.4 While the uniformity device may be centred in the test positions inside the perimeter of the test area, it shall be placed to the outer edge of the test area for those test positions on the test area perimeter.

5.3.5 Spatial non-uniformity is determined using equation (1) in 3.10.

5.3.6 A table of the measured simulator irradiance pattern should be supplied with the solar simulator to assist the user in testing and to clearly define different areas with different classifications and find the optimum test positions for different module/cell sizes.

5.3.7 The class of the simulator for non-uniformity is given by the following:

Class A: Non-uniformity of spatial irradiance 2 %, as specified in Table 2.

Class B: Non-uniformity of spatial irradiance 5 %, as specified in Table 2.

Class C: Non-uniformity of spatial irradiance 10 %, as specified in Table 2.

NOTE The irradiance pattern in the test area of solar simulators may change with operating hours or when lamps are changed. The check of non-uniformity should be included into service and maintenance work.

5.4 Temporal instability of irradiance

5.4.1 Solar simulators for I-V measurement

Both short term instability (STI) and long term instability (LTI) need to be evaluated.

For the evaluation of STI, the I-V data acquisition system may be considered an integral part of the solar simulator. If a solar simulator does not include the data acquisition system, then the simulator manufacturer shall specify the corresponding data sampling time as related to the reported STI classification.

There are two different cases for pulsed solar simulators and three cases for steady-state solar simulators that are considered.

5.4.1.1 Pulsed solar simulator determination of STI

For a pulsed solar simulator where the data acquisition system is an integral part of the solar simulator evaluation of STI can be related to two measurement concepts:

- a) When there are three separate data input lines that simultaneously store values of irradiance, current and voltage, the temporal instability is Class A for STI.

NOTE The uncertainty in simultaneous triggering of the three multiple channels is typically less than 10 nanoseconds.

- b) When each data set is taken sequentially (irradiance, current, voltage), determine the temporal instability as defined below (Figures 1 and 2)

- 1) Determine the time for taking two successive data sets (irradiance, current, voltage) considering a possible delay time between measurements.

- 2) STI is related to the worst case irradiance change between successive data sets.
- 3) Determine the STI using the data from step 2), equation (2) and Table 2.

NOTE For pulsed solar simulators used for I-V measurements but not including an I-V data acquisition system, the sections of the pulse to be utilized and the number of evenly spaced data points for achieving class A, B, C of STI must be stated by the solar simulator manufacturer.

5.4.1.2 Pulse solar simulator determination of LTI

- a) For long pulse solar simulators the LTI is related to the irradiance change of measured data sets during the time of data acquisition (Figure 1).
- b) For multi-flash systems the LTI is related to the maximum irradiance change measured between all the data sets used to determine the entire I-V curve.

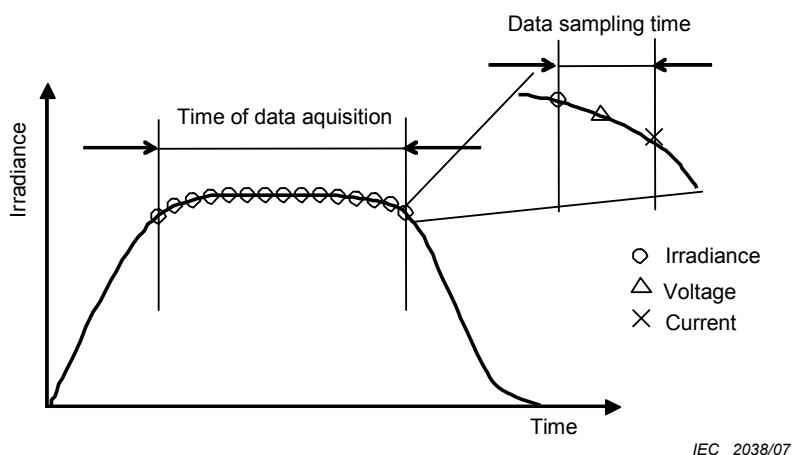


Figure 1 – Evaluation of STI for a long pulse solar simulator

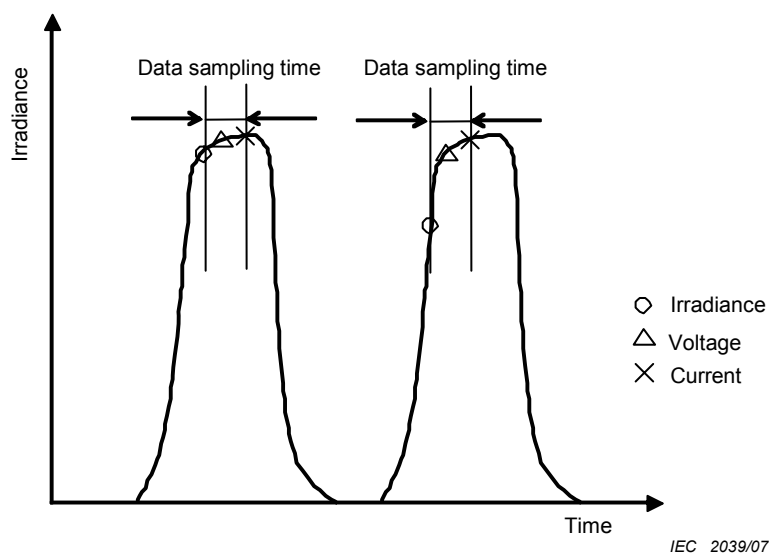


Figure 2 – Evaluation of STI for a short pulse solar simulator

5.4.1.3 Steady state solar simulator for I-V measurement

- a) When there are three separate data input lines that simultaneously store values of irradiance, current and voltage, the STI is Class A.

NOTE The uncertainty in simultaneous triggering of the three multiple channels is typically less than 10 nanoseconds.

- b) For steady state solar simulators without simultaneous measurement of irradiance, current and voltage the following procedure is used to determine STI:
- 1) Determine the time for taking two successive data sets (irradiance, current and voltage) considering a possible delay time between measurements.
 - 2) STI is related to worst case irradiance change between successive data sets.
 - 3) Calculate the STI using the data from step 2), equation (2) and Table 2.

NOTE For steady state solar simulators used for PV performance measurements but not including an I-V data acquisition system, the maximum time of data acquisition should be stated by the solar simulator manufacturer for achieving class A, B, C of STI.

- c) For steady state solar simulators not including irradiance measurement for a data set the value of STI shall be determined from prior measurement of the irradiance instability over the time period of interest for the I-V measurement (time between measurement of irradiance). The continuous measurement of irradiance at stabilised operating conditions is evaluated from the maximum and minimum in that time period. For this case there is no LTI.

5.4.2 Solar simulators for irradiance exposure

For steady state solar simulators used for endurance irradiation tests the value of LTI is of primary interest and used for classification. The following procedure is used to determine the LTI:

- a) Record the irradiance variations in the time period of interest by using a suitable irradiance sensor and an appropriate averaging time. If multi-lamp systems are used a representative number of locations in the designated test area shall be specified.
- b) Determine maximum irradiance and minimum irradiance from data measured in step a).
- c) Determine the LTI using the data from step b), equation (2).
- d) Apply the calculated value of LTI to determine the classification of STI in Table 2.

5.4.3 The STI class of the solar simulator is given by the following:

Class A: Temporal instability 0,5 %, as specified in Table 2.

Class B: Temporal instability 2 %, as specified in Table 2.

Class C: Temporal instability 10 %, as specified in Table 2.

6 Name plate and data sheet

The following information shall be provided by the solar simulator manufacturer on the name plate that accompanies each simulator:

- manufacturer;
- model;
- type of solar simulator (pulsed or steady-state);
- serial number;
- date of manufacture or traceable from serial number.

In addition the following information shall be provided by the solar simulator manufacturer on a data sheet that accompanies each simulator:

- Date of issue of data sheet.
- Intended use of the solar simulator (I-V measurement or irradiance exposure).
- Classification of “Spectral match”.
- Classification of “Non-uniformity of irradiance”.
- Classification of STI.
- Methods of measurements used to determine classification categories.
- Irradiance range over which these classes are determined.
- Maximum time of data acquisition if used for I-V measurements.
- Operating environment for which the classification is valid (ambient conditions, power requirements).
- Location and nominal area of test plane at which the classification was determined.
- Nominal lamp setting and irradiance levels at which the classes were measured.
- Table of measured spectral irradiance distribution.
- Warm up time for stabilisation of irradiance.
- Warm up time for stabilisation of I-V measurements.
- Table of non-uniformity of irradiance measured over the specified test area.
- Measured temporal instability of irradiance (LTI).
- Maximum angle subtended by the light source (including reflected light) in the test plane.
- Irradiance profile vs. time of the pulse (for pulsed simulator).
- Data sampling rate.
- Changes that may require verification of the classification.

Bibliography

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

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

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

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

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

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*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
1 Domaine d'application et objet	19
2 Références normatives	19
3 Termes et définitions	19
3.1 simulateur solaire	19
3.2 plan d'essai	20
3.3 zone d'essai désignée	20
3.4 temps d'échantillonnage	20
3.5 temps d'acquisition de données	20
3.6 temps pour acquérir la caractéristique I-V	20
3.7 éclairage effectif	21
3.8 domaine spectral	21
3.9 égalisation spectrale	21
3.10 non-uniformité de l'éclairage dans le plan d'essai	21
3.11 instabilité temporelle de l'éclairage	21
3.12 classification du simulateur solaire	22
4 Exigences relatives au simulateur	22
5 Procédures de mesure	23
5.1 Remarques d'introduction	23
5.2 Egalisation spectrale	24
5.3 Non-uniformité de l'éclairage sur le plan d'essai	24
5.4 Instabilité temporelle de l'éclairage	26
5.4.1 Mesure I-V sous simulateurs solaire	26
5.4.2 Simulateurs solaires pour l'exposition de l'éclairage	28
6 Plaque d'identification et fiche technique	28
Bibliographie	30
Figure 1 – Evaluation de la STI pour un simulateur solaire à longues impulsions	27
Figure 2 – Evaluation de la STI pour un simulateur solaire à courtes impulsions	27
Tableau 1 – Répartition de l'éclairage spectral solaire de référence décrite dans la CEI 60904-3	21
Tableau 2 – Définition des classifications de simulateurs solaires	23
Tableau 3 – Exemple de mesures caractéristiques d'un simulateur solaire	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60904-9 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 1995. Elle constitue une révision technique.

Les principaux changements techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

- Ajout d'un Article «Termes et définitions»
- Redéfinition de la classification du simulateur solaire
- Ajout de procédures pour la mesure des paramètres de classification: égalisation spectrale, instabilité temporelle, non-uniformité de l'éclairement
- Fourniture de détails et conseils pour traiter des effets de mesure spécifiques à la technologie

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/488/FDIS	82/498/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 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 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires

1 Domaine d'application et objet

Les normes CEI sur les dispositifs photovoltaïques exigent l'utilisation de classes spécifiques de simulateurs solaires jugés appropriés pour des essais spécifiques. Les simulateurs solaires peuvent être utilisés soit pour des mesures de performance des dispositifs PV ou pour les essais d'endurance d'exposition énergétique. Cette partie de la CEI 60904 fournit les définitions et les moyens pour déterminer les classifications de simulateurs. Dans le cas de mesures de performances PV, l'utilisation d'un simulateur solaire de haute classe n'élimine pas la nécessité de quantifier l'influence du simulateur sur la mesure en réalisant des corrections d'erreur spectrale et en analysant les influences de l'uniformité de l'éclairement du plan d'essai et de la stabilité temporelle sur cette mesure. Les rapports d'essai pour les dispositifs testés avec le simulateur doivent énoncer la classe du simulateur utilisé pour la mesure et la méthode utilisée pour quantifier l'effet du simulateur sur les résultats.

L'objectif de cette norme est de définir les classifications des simulateurs solaires utilisés pour des mesures en intérieur sur des dispositifs photovoltaïques terrestres; les simulateurs solaires sont classés en catégorie A, B ou C, chacune de ces trois catégories étant basée sur des critères d'équilibre de répartition spectrale, de non-uniformité de l'éclairement sur le plan d'essai et d'instabilité temporelle. Cette norme fournit les méthodologies requises pour déterminer les caractéristiques fournies par un simulateur solaire dans chacune des catégories.

La présente norme est citée dans d'autres normes CEI dans lesquelles des exigences de classes sont spécifiées pour l'utilisation de simulateurs solaires. Il convient que les simulateurs solaires pour l'exposition à l'éclairement répondent aux moins aux exigences de classe CCC où la troisième lettre est relative à l'instabilité à long terme. Dans le cas de l'utilisation pour des mesures de performance PV, la classification CBA est demandée, où la troisième lettre est relative à l'instabilité à court terme.

2 Références normatives

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

CEI 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*

3 Termes et définitions

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

3.1 simulateur solaire

un simulateur solaire peut être utilisé pour deux différentes applications:

- a) Mesure I-V.

b) Exposition à l'éclairement.

L'équipement est utilisé pour simuler l'éclairement et le spectre solaires. Les simulateurs sont constitués généralement de trois composants principaux: (1) sources(s) lumineuses et l'alimentation associée; (2) toute l'optique et les filtres nécessaires pour modifier le rayonnement de sortie de façon à satisfaire aux exigences de classification; et (3) les commandes nécessaires au fonctionnement du simulateur. Les simulateurs solaires doivent être repérés par leur mode de fonctionnement durant un cycle d'essai. Il y a des essais à éclairement permanent, à impulsions simples, et à multi-impulsions.

NOTE 1 Deux types de simulateurs solaires sont couramment utilisés pour déterminer les caractéristiques I-V: En continu et à impulsions. Les simulateurs solaires à impulsions peuvent être de plus subdivisés en systèmes à longues impulsions acquérant la caractéristique I-V totale durant un flash et en systèmes à courtes impulsions acquérant un point de données I-V par flash.

NOTE 2 En plus de la source lumineuse, l'alimentation de la lampe et l'optique, ainsi que l'acquisition de données I-V, la charge électronique et le logiciel de fonctionnement peuvent faire partie intégrante du simulateur solaire. Les exigences pour la technique de mesure associée sont incluses dans les autres parties de la série CEI 60904.

3.2 plan d'essai

le plan est destiné à recevoir le dispositif soumis à l'essai avec le niveau d'éclairement de référence

3.3 zone d'essai désignée

région du plan d'essai qui est évaluée pour son uniformité

NOTE Si nécessaire, des géométries types peuvent être spécifiées. Une spécification relative à une géométrie circulaire est également permise.

3.4 temps d'échantillonnage

temps pour relever un ensemble élémentaire de données (éclairement, tension, courant). Dans le cas de mesures simultanées, celui-ci est donné par la caractéristique du convertisseur A/N. Dans le cas de systèmes multiplexés le taux d'échantillonnage est le taux de multiplexage.

EXEMPLE

Un temps de multiplexage de 1 μ s donnerait un taux d'échantillonnage de 1 Méga Échantillons par seconde.

NOTE Suite à un possible temps de retard pour une oscillation transitoire à chaque point de données, il faut que le taux d'échantillonnage soit seulement lié au système d'acquisition de données.

Le temps d'échantillonnage est utilisé pour l'évaluation de la stabilité temporelle.

3.5 temps d'acquisition de données

temps pour relever la totalité ou une partie de la courbe courant-tension

NOTE 1 Le temps d'acquisition de données dépend du nombre de points de données I-V et d'un temps de retard qui pourrait être ajustable.

NOTE 2 Dans le cas de simulateurs solaires à impulsions, le temps d'acquisition de données est lié aux mesures enregistrées durant un flash unique.

3.6 temps pour acquérir la caractéristique I-V

si la courbe I-V d'un dispositif PV est mesurée en sectorisant en différentes parties et en flashes successifs, le temps complet pour acquérir la caractéristique I-V entière est la somme des temps d'acquisition de données

3.7 éclairage effectif

l'éclairage peut changer durant l'acquisition de données d'une mesure de performance I-V. L'éclairage effectif est alors l'éclairage moyen de tous les points de données.

NOTE Il convient de veiller à ce que la correction possible de l'éclairage satisfasse aux exigences de la CEI 60891.

3.8 domaine spectral

la répartition spectrale de référence de l'éclairage solaire à une masse d'air globale de 1,5 est définie dans la CEI 60904-3. Pour les besoins de l'évaluation de simulateurs, cette norme restreint la plage de longueurs d'ondes de 400 nm à 1 100 nm. Conformément au Tableau 1, cette plage de longueurs d'ondes est divisée en 6 bandes de longueurs d'ondes, chacune contribuant à hauteur d'un certain pourcentage à l'éclairage intégré.

3.9 égalisation spectrale

l'égalisation spectrale d'un simulateur solaire est définie par la déviation de l'éclairage spectral de référence à une masse d'air de 1,5 comme établi dans la CEI 60904-3. Pour les 6 intervalles de longueurs d'ondes en question, le pourcentage de l'éclairage total est spécifié dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Répartition de l'éclairage spectral solaire de référence décrite dans la CEI 60904-3

	Gamme de longueurs d'onde nm	Pourcentage de l'éclairage total dans la gamme de longueurs d'onde 400 nm – 1 100 nm
1	400 – 500	18,4 %
2	500 – 600	19,9 %
3	600 – 700	18,4 %
4	700 – 800	14,9 %
5	800 – 900	12,5 %
6	900 – 1 100	15,9 %

3.10 non-uniformité de l'éclairage dans le plan d'essai

$$\text{Non-uniformité } (\%) = \left[\frac{\text{max éclairage} - \text{min éclairage}}{\text{max éclairage} + \text{min éclairage}} \right] \times 100 \% \quad (1)$$

où l'éclairage minimum et maximum sont ceux mesurés avec le(s) détecteur(s) placés au-dessus de la zone d'essai désignée.

3.11 instabilité temporelle de l'éclairage

l'instabilité temporelle est définie par deux paramètres:

a) Instabilité à court terme (STI « Short term instability » en anglais)

Celle-ci est relative au temps d'échantillonnage d'un ensemble de données (éclairage, courant, tension) durant une mesure I-V. La valeur de l'instabilité temporelle peut être différente entre les ensembles de données sur la courbe I-V. Dans ce cas, l'instabilité à court terme est déterminée par le cas le plus défavorable.

Pour les essais par lot de cellules ou modules sans surveillance de l'éclairement durant la mesure I-V, la STI est liée à la période de temps entre la détermination de l'éclairement.

b) Instabilité à long terme (LTI « Long term instability » en anglais)

Celle-ci est relative à la période de temps en question.

- Pour les mesures I-V, il s'agit du temps nécessaire pour acquérir l'ensemble de la courbe I-V.
- Pour les essais d'exposition énergétique, celle-ci est liée à la période de temps d'exposition.

$$\text{Instabilité temporelle (\%)} = \left[\frac{\text{max éclairement} - \text{min éclairement}}{\text{max éclairement} + \text{min éclairement}} \right] \times 100 \% \quad (2)$$

où l'éclairement minimum et maximum dépendent de l'application du simulateur solaire.

Si le simulateur solaire est utilisé pour les essais d'endurance d'exposition énergétique, l'instabilité temporelle est définie par l'éclairement minimum et maximum mesurés avec un détecteur en tout point particulier du plan d'essai durant le temps d'exposition.

3.12 classification du simulateur solaire

un simulateur solaire peut faire partie de l'une des trois classes (A, B ou C) pour chacune des trois catégories - égalisation spectrale, non-uniformité spatiale et instabilité temporelle. Chaque simulateur est repéré avec trois lettres ordonnées suivant l'égalisation spectrale, la non-uniformité de l'éclairement du plan d'essai et l'instabilité temporelle (par exemple: CBA).

NOTE Il est recommandé de vérifier périodiquement la classification du simulateur solaire de façon à prouver que cette classification est maintenue. Par exemple l'éclairement spectral peut changer avec le temps de fonctionnement de la lampe utilisée ou l'uniformité de l'éclairement peut être influencée par les conditions de réflexion dans la chambre d'essai.

4 Exigences relatives au simulateur

Le Tableau 1 donne les exigences de performance pour l'égalisation spectrale, la non-uniformité de l'éclairement et l'instabilité temporelle de l'éclairement. Pour l'égalisation spectrale, pour les six intervalles donnés dans le Tableau 1, les ratios du Tableau 2 doivent être respectés pour obtenir les classes respectives. Se référer à l'Article 5 pour les procédures de mesure et de calcul des trois paramètres (égalisation spectrale, non-uniformité de l'éclairement et instabilité temporelle) du simulateur.

Si le simulateur est destiné à être utilisé pour une mesure STC, il est recommandé qu'il soit capable de produire un éclairement effectif de $1\,000\text{ W/m}^2$ sur le plan d'essai. Des niveaux d'éclairement inférieurs ou supérieurs peuvent aussi être exigés.

NOTE Si un éclairement inférieur ou supérieur est exigé, cela peut modifier la classification du simulateur.

Ces exigences s'appliquent à la fois aux simulateurs solaires à éclairement permanent et à impulsions.

Tableau 2 – Définition des classifications de simulateurs solaires

Classifications	Egalisation spectrale pour tous les intervalles spécifiés dans le Tableau 1	Non-uniformité de l'éclairement	Instabilité temporelle	
			Instabilité à court terme de l'éclairement STI	Instabilité à long terme de l'éclairement LTI
A	0,75 – 1,25	2 %	0,5%	2 %
B	0,6 – 1,4	5 %	2 %	5 %
C	0,4 – 2,0	10 %	10 %	10 %

NOTE Un exemple de classification de simulateurs solaires pour une mesure I-V est donné dans le Tableau 3. La classification de l'égalisation spectrale est donnée pour une lampe xénon non filtrée. La classification de la non-uniformité de l'éclairement dépend des dimensions du module en question.

Tableau 3 – Exemple de mesures caractéristiques d'un simulateur solaire

Classification telle que spécifiée dans le Tableau 2	Egalisation spectrale pour tous les intervalles spécifiés dans le Tableau 1	Non-uniformité de l'éclairement pour une taille de module spécifique	Instabilité temporelle de l'éclairement
CBB	0,81 à 400 – 500 nm (A) 0,71 à 500 – 600 nm (B) 0,69 à 600 – 700 nm (B) 0,74 à 700 – 800 nm (B) 1,56 à 800 – 900 nm (C) 1,74 à 900 – 1 100 nm (C)	2,8 % pour dimensions de module 100 cm x 170 cm	Evaluation de la STI: Mesure simultanée du courant du module, de la tension et de l'éclairement du module. Temps de déclenchement entre les canaux inférieur à 10 nanosecondes. Au sein de ce temps, moins de 0,5 % de changement d'éclairement (A) LTI pour acquérir l'ensemble de la courbe I-V en un intervalle de 10 ms = 3,5 % (B)
	Classification du cas le plus défavorable = C	Classification = B	Classification = B

5 Procédures de mesure

5.1 Remarques d'introduction

Le but de la présente norme est de fournir un guide sur les données de performance d'un simulateur solaire exigées et à prendre en compte, et sur les emplacements exigés dans la zone d'essai de ces données à prendre en compte. Le but n'est pas de définir des méthodes possibles pour déterminer le spectre du simulateur ou l'éclairement en tout point du plan d'essai. C'est de la responsabilité du fabricant du simulateur de fournir les informations sur ce qui est demandé pour les méthodes d'essai utilisées dans la détermination de la performance dans chaque classification. Il convient que ces méthodes soient des procédures scientifiquement et commercialement acceptables. La classification d'un simulateur solaire ne permet pas de fournir des informations sur les erreurs de mesure qui sont relatives aux mesures de performance photovoltaïque obtenues avec un simulateur solaire classifié. De telles erreurs dépendent des dispositifs de mesure réels et des procédures utilisés.

5.2 Egalisation spectrale

5.2.1 Les méthodes disponibles sont l'utilisation de:

- a) un spectroradiomètre comprenant un monochromateur de réseau et un détecteur discret,
- b) un spectromètre à réseaux de photodiodes ou CCD (CCD: dispositif à couplage de charge),
- c) un assemblage de détecteurs multiples avec des filtres passe-bande, et
- d) un détecteur unique avec des filtres passe-bande multiples.

NOTE Il convient de veiller à éviter la réponse de lumière parasite ou les effets de longueurs d'onde de second ordre. Il convient de veiller à ce que la sensibilité du capteur soit adaptée à la plage de longueurs d'onde en question. Il convient de veiller à s'assurer que la constante de temps du détecteur soit adaptée à la longueur d'impulsion du simulateur.

5.2.2 Il est recommandé que les données de l'éclairement spectral soient intégrées dans la plage 400 nm à 1 100 nm et que la contribution en pourcentage de l'éclairement intégré dans les 6 intervalles de longueurs d'onde définis dans le Tableau 1 soit déterminée.

5.2.3 Calculer l'égalisation spectrale pour chaque intervalle de longueurs d'onde, qui est le rapport entre le pourcentage calculé pour le spectre du simulateur et le spectre solaire.

5.2.4 La comparaison des données avec le spectre solaire doit indiquer la classification de l'égalisation spectrale comme suit:

- Classe A: Egalisation spectrale comprise entre 0,75-1,25 pour chaque intervalle de longueurs d'onde, comme spécifié dans le Tableau 2.
- Classe B: Egalisation spectrale comprise entre 0,6-1,4 pour chaque intervalle de longueurs d'onde, comme spécifié dans le Tableau 2.
- Classe C: Egalisation spectrale comprise entre 0,4-2,0 pour chaque intervalle de longueurs d'onde, comme spécifié dans le Tableau 2.

5.2.5 Pour tous les intervalles donnés dans le Tableau 1, les ratios de l'égalisation spectrale du Tableau 2 doivent être respectés pour obtenir les classes respectives.

NOTE 1 L'égalisation spectrale peut changer durant l'impulsion d'un simulateur solaire à impulsions. Ainsi, il convient que le temps d'intégration de la mesure d'éclairement spectral soit ajusté au temps d'acquisition de données et que l'égalisation spectrale soit calculée pour cette période de temps.

NOTE 2 L'égalisation spectrale peut changer durant le fonctionnement du simulateur solaire. Si nécessaire, il convient de vérifier périodiquement l'égalisation spectrale.

5.3 Non-uniformité de l'éclairement sur le plan d'essai

La non-uniformité de l'éclairement dans la zone d'essai d'un simulateur solaire à large étendue pour la mesure de modules PV dépend des conditions de réflexion à l'intérieur de la chambre d'essai ou de l'appareillage d'essai. Ainsi, aucune généralisation ne peut être faite et la non-uniformité est à évaluer pour chaque système.

5.3.1 Une cellule au silicium cristallin encapsulée ou un mini-module est recommandé pour être utilisé comme détecteur d'uniformité pour la détermination de la non-uniformité de l'éclairement dans la zone d'essai du simulateur en mesurant son courant de court-circuit. Le détecteur d'uniformité doit avoir une réponse spectrale appropriée pour le simulateur. La linéarité et le temps de réponse du détecteur d'uniformité doivent être conformes aux caractéristiques du simulateur mesuré.

NOTE Lorsqu'un mini-module est utilisé comme détecteur d'uniformité, il convient de veiller aux effets de mesures possibles causés par l'interconnexion des cellules.

5.3.2 Diviser la zone d'essai désignée en au moins 64 positions d'essai (blocs) de taille égale (par zone). La taille maximale du détecteur d'uniformité doit être le minimum de :

- a) la zone d'essai désignée divisée par 64, ou
- b) 400 cm^2 .

Il est recommandé que la zone couverte par les mesures du détecteur représente 100 % de la zone d'essai désignée. Il est recommandé que les positions de mesure soient réparties uniformément sur la zone d'essai désignée.

NOTE 1 Un mini-module peut être utilisé comme détecteur d'uniformité dès lors que les dimensions de sa surface active sont incluses dans les dimensions des positions d'essai. Il convient qu'il ait au moins une densité d'assemblage de cellules de 80 %.

NOTE 2 Pour des simulateurs solaires de lampes multiples, une résolution supérieure des points de données utilisant un détecteur plus petit peut devenir nécessaire de façon à détecter la non-uniformité de l'éclairement.

NOTE 3 Il convient que les fabricants de modules considèrent l'utilisation d'un détecteur de mêmes dimensions que les cellules du module.

Exemple: Simulateur solaire à large étendue

Une zone d'essai désignée de $240 \text{ cm} \times 160 \text{ cm}$ donne une zone maximum d'une taille de détecteur d'uniformité de 600 cm^2 si divisée par 64. Comme cette valeur est supérieure à 400 cm^2 , la taille maximum du détecteur d'uniformité est 400 cm^2 conduisant à 76 positions d'essai.

5.3.3 En utilisant le dispositif d'uniformité, déterminer l'éclairement à chaque position d'essai en appliquant les méthodes suivantes:

- a) Simulateurs solaires à éclairement permanent : au moins une mesure de l'éclairement doit être réalisée à chaque point.
- b) Simulateur solaire à impulsions: l'éclairement total du simulateur solaire peut ne pas être constant durant le processus de surveillance. Ainsi, il convient qu'un second dispositif PV soit utilisé pour surveiller l'éclairement durant l'impulsion. Celui-ci est à placer en position fixe à l'extérieur de la zone d'essai désignée (dispositif de surveillance). Il est recommandé de réaliser les lectures des deux dispositifs simultanément. Si la courbe IV est relevée durant une impulsion unique, il convient de pratiquer au moins 10 lectures durant le temps de l'impulsion où la mesure I-V est réalisée. Si nécessaire, une correction de l'éclairement est à réaliser. L'éclairement effectif est la moyenne de toutes les lectures corrigées de l'éclairement.

5.3.4 Bien que le dispositif d'uniformité peut être centré sur les positions d'essai à l'intérieur du périmètre de la zone d'essai, il doit être placé sur le bord extérieur de la zone d'essai pour les positions d'essai sur le périmètre de la zone d'essai.

5.3.5 La non-uniformité spatiale est déterminée en utilisant l'équation (1) en 3.10.

5.3.6 Il convient qu'un tableau modèle de l'éclairement d'un simulateur mesuré soit fourni avec le simulateur solaire pour assister l'utilisateur lors des essais et pour définir clairement les zones différentes avec les classifications différentes et trouver les positions d'essais optimum pour des tailles différentes de modules/cellules.

5.3.7 La classe du simulateur pour la non-uniformité est donnée par ce qui suit:

Classe A: Non-uniformité de l'éclairement spatial de 2 %, comme spécifié dans le Tableau 2.

Classe B: Non-uniformité de l'éclairement spatial de 5 %, comme spécifié dans le Tableau 2.

Classe C: Non-uniformité de l'éclairement spatial de 10 %, comme spécifié dans le Tableau 2.

NOTE Le modèle de l'éclairement dans la zone d'essai des simulateurs solaires peut changer avec les heures de fonctionnement ou lorsque des lampes sont changées. Il est recommandé que la vérification de la non-uniformité soit incluse dans les travaux de maintenance et de service.

5.4 Instabilité temporelle de l'éclairement

5.4.1 Mesure I-V sous simulateurs solaire

L'instabilité à court terme (STI) et l'instabilité à long terme (LTI) nécessitent toutes les deux d'être évaluées.

Pour l'évaluation de la STI, le système d'acquisition de données I-V peut être considéré comme faisant partie intégrante du simulateur solaire. Si un simulateur solaire n'inclut pas de système d'acquisition de données, alors le fabricant du simulateur doit spécifier le temps d'échantillonnage correspondant en relation avec la classification de la STI reportée.

Il y a deux cas différents à considérer pour les simulateurs solaires à impulsions et trois cas pour les simulateurs solaires à éclairement permanent.

5.4.1.1 Détermination de la STI avec le simulateur solaire à impulsions

Pour un simulateur solaire à impulsions où le système d'acquisition de données fait partie intégrante du simulateur solaire, l'évaluation de la STI peut être liée à deux concepts de mesure:

- a) Lorsqu'il y a trois lignes d'entrée de données séparées qui fournissent simultanément les valeurs de l'éclairement, du courant et de la tension, l'instabilité temporelle est de Classe A pour la STI.

NOTE L'incertitude dans le déclenchement simultané des trois voies multiples est normalement inférieure à 10 nanosecondes.

- b) Lorsque chaque ensemble de données est pris séquentiellement (éclairement, courant, tension), déterminer l'instabilité temporelle suivant la procédure ci-dessous (Figures 1 et 2).
 - 1) Déterminer le temps nécessaire à l'acquisition de deux ensembles de données successifs (éclairement, courant, tension) en considérant un temps de retard possible entre les mesures.
 - 2) La STI est liée au cas le plus défavorable de changement de l'éclairement entre les ensembles de données successifs.
 - 3) Déterminer la STI en utilisant les données de l'étape 2), de l'équation (2) et du Tableau 2.

NOTE Pour les simulateurs solaires à impulsions utilisés pour les mesures I-V mais non inclus dans un système d'acquisition de données I-V, les sections de l'impulsion qui seront utilisées et le nombre de points de données régulièrement espacés pour obtenir la classe A, B, C de la STI doivent être donnés par le fabricant du simulateur solaire.

5.4.1.2 Détermination de la LTI d'un simulateur solaire à impulsions

- a) Pour les simulateurs solaires à longues impulsions, la LTI est liée au changement de l'éclairement des ensembles de données mesurés durant le temps de l'acquisition des données (Figure 1).
- b) Pour les systèmes multi-flash, la LTI est liée au changement maximum de l'éclairement mesuré entre tous les ensembles de données utilisés pour déterminer l'ensemble de la courbe I-V.

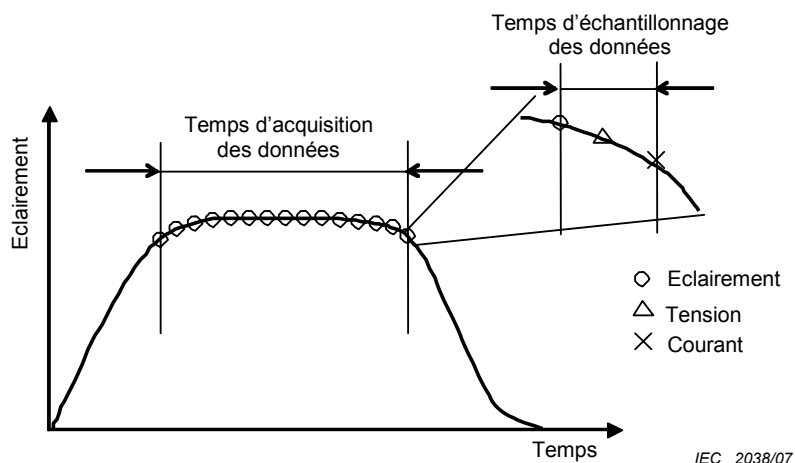


Figure 1 – Evaluation de la STI pour un simulateur solaire à longues impulsions

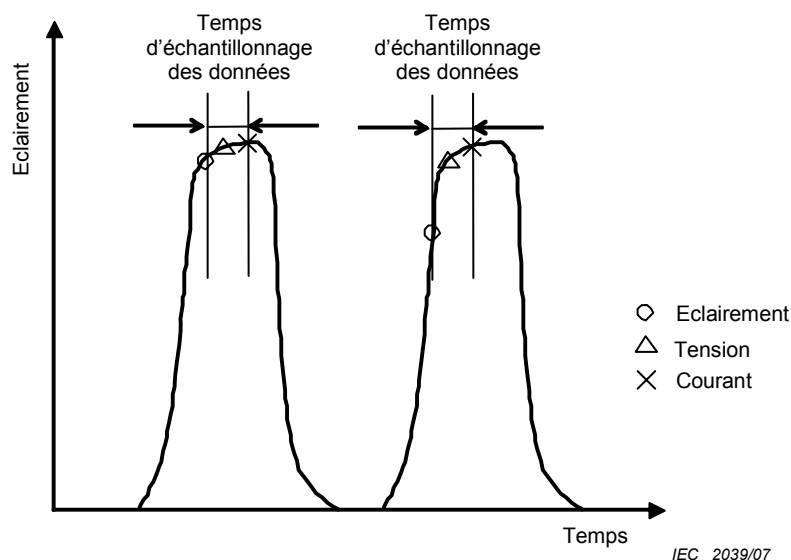


Figure 2 – Evaluation de la STI pour un simulateur solaire à courtes impulsions

5.4.1.3 Simulateurs solaires à éclairement permanent pour la mesure I-V

- a) Lorsqu'il y a trois lignes d'entrée de données séparées qui fournissent simultanément les valeurs de l'éclairement, du courant et de la tension, la STI est de Classe A.

NOTE L'incertitude dans le déclenchement simultané des trois voies multiples est normalement inférieure à 10 nanosecondes.

- b) Pour les simulateurs solaires à éclairement permanent sans mesure simultanée de l'éclairement, du courant et de la tension, la procédure suivante est utilisée pour déterminer la STI:
- 1) Déterminer le temps nécessaire à l'acquisition de deux ensembles de données successifs (éclairement, courant et tension) en considérant un temps de retard possible entre les mesures.
 - 2) La STI est liée au cas le plus défavorable de changement de l'éclairement entre les ensembles de données successifs.
 - 3) Calculer la STI en utilisant les données de l'étape 2), de l'équation (2) et du Tableau 2.

NOTE Pour les simulateurs solaires à éclairement permanent utilisés pour les mesures de performance mais non inclus dans un système d'acquisition de données I-V, il convient que le temps maximum de l'acquisition de données soit fourni par le fabricant du simulateur solaire pour une classe obtenue A, B, C de STI.

- c) Pour les simulateurs solaires à éclairement permanent n'incluant pas une mesure de l'éclairement pour un ensemble de données, la valeur de la STI doit être déterminée depuis la mesure précédente de l'instabilité temporelle sur la période de temps en question pour la mesure I-V (temps entre les mesures de l'éclairement). La mesure continue de l'éclairement aux conditions de fonctionnement stabilisé est évaluée à partir du maximum et du minimum sur cette période de temps. Pour ce cas, il n'y a pas de LTI.

5.4.2 Simulateurs solaires pour l'exposition de l'éclairement

Pour les simulateurs solaires à éclairement permanent utilisés pour les essais d'endurance d'exposition énergétique, la valeur de la LTI est de premier intérêt et est utilisée pour la classification. La procédure suivante est utilisée pour déterminer la LTI:

- a) Enregistrer les variations de l'éclairement sur la période de temps en question en utilisant un capteur d'éclairement approprié et un temps de moyennage approprié. Si des systèmes à lampes multiples sont utilisés, un nombre représentatif de points dans la zone d'essai désignée doit être spécifié.
- b) Déterminer l'éclairement maximum et l'éclairement minimum depuis les données mesurées à l'étape a).
- c) Déterminer la LTI en utilisant les données de l'étape b), et de l'équation (2).
- d) Appliquer la valeur calculée de la LTI pour déterminer la classification de la STI dans le Tableau 2.

5.4.3 La classe de la STI du simulateur solaire est donnée par ce qui suit:

Classe A: Instabilité temporelle 0,5 %, comme spécifié dans le Tableau 2.

Classe B: Instabilité temporelle 2 %, comme spécifié dans le Tableau 2.

Classe C: Instabilité temporelle 10 %, comme spécifié dans le Tableau 2.

6 Plaque d'identification et fiche technique

Les informations suivantes doivent être fournies par le fabricant du simulateur solaire sur la plaque d'identification qui accompagne chaque simulateur:

- fabricant;
- modèle;
- type du simulateur solaire (à impulsions ou à éclairement permanent);
- numéro de série;
- date de fabrication ou numéro de série permettant de la retrouver.

En outre, les informations suivantes doivent être fournies par le fabricant du simulateur solaire sur une fiche technique qui accompagne chaque simulateur:

- Date de publication de la fiche technique.
- Utilisation prévue du simulateur solaire (mesure I-V ou exposition à l'éclairement).
- Classification de « l'égalisation spectrale ».
- Classification de la « non-uniformité de l'éclairement ».
- Classification de la STI.
- Méthodes de mesure utilisées pour déterminer les catégories de classification.
- Gamme d'éclairements sur laquelle ces classes sont déterminées.
- Temps maximum de l'acquisition de données si utilisation pour des mesures I-V.

- Environnement de fonctionnement pour lequel la classification est valide (conditions ambiantes, exigences de puissance).
- Points et zone nominale du plan d'essai sur lesquels la classification a été déterminée.
- Réglage nominal de la lampe et niveaux d'éclairement avec lesquels les classes ont été mesurées.
- Tableau de répartition de l'éclairement spectral mesuré.
- Temps d'échauffement pour une stabilisation de l'éclairement.
- Temps d'échauffement pour une stabilisation des mesures I-V.
- Tableau de non-uniformité de l'éclairement mesuré sur la zone d'essai spécifiée.
- Instabilité temporelle mesurée de l'éclairement (LTI).
- Angle maximum sous-tendu par la source lumineuse (incluant la lumière réfléchie) sur le plan d'essai.
- Profil d'éclairement vs. durée de l'impulsion (pour simulateur à impulsions).
- Taux d'échantillonnage.
- Changements qui pourraient exiger une vérification de la classification.

Bibliographie

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

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

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

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

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

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*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. 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