

**NORME
INTERNATIONALE**

**CEI
IEC**

**INTERNATIONAL
STANDARD**

60904-10

Première édition
First edition
1998-02

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

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60904-10:1998

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60904-10

Première édition
First edition
1998-02

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

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

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	6
2 Références normatives	8
3 Equipement	10
3.1 Equipement d'essai	10
3.2 Equipement du spécimen	10
4 Procédure pour l'essai de linéarité du courant et de la tension	10
4.1 Procédure avec l'éclairage solaire naturel	10
4.2 Procédure avec un simulateur solaire	14
5 Procédure pour l'essai de linéarité de la réponse spectrale	16
5.1 Considérations particulières	16
5.2 Procédure générale	18
6 Calcul de la linéarité	18
6.1 Détermination de la linéarité de la pente	18
6.2 Détermination de la linéarité de la réponse spectrale	22
6.3 Exigences de linéarité	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object.....	7
2 Normative references.....	9
3 Apparatus.....	11
3.1 Test apparatus.....	11
3.2 Specimen apparatus	11
4 Procedure for current and voltage linearity test.....	11
4.1 Procedure in natural sunlight.....	11
4.2 Procedure with a solar simulator	15
5 Procedure for spectral response linearity test.....	17
5.1 Special considerations	17
5.2 General procedure	19
6 Linearity calculation	19
6.1 Slope linearity determination	19
6.2 Determination of spectral response linearity	23
6.3 Linearity requirements	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/186/FDIS	82/193/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 10: Methods of linearity measurement

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The 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.

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

FDIS	Report on voting
82/186/FDIS	82/193/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.

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 pour déterminer le degré de linéarité d'un quelconque paramètre d'essai 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 fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) et des systèmes, ainsi que la conversion des performances d'un groupe de conditions de température et d'éclairement à l'autre, reposent souvent sur l'usage 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 pour laquelle ces équations peuvent s'appliquer.

Les méthodes de mesure décrites dans cette norme s'appliquent à tous les dispositifs PV et sont destinées à être appliquées sur un échantillon ou sur un dispositif comparable de technologie identique. Il convient qu'elles soient effectuées 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 linéaire lorsque les conditions suivantes sont satisfaites pour la gamme intéressée de températures et d'éclairement. De façon caractéristique, cette gamme de températures est de 25 °C à 60 °C au minimum, et la gamme d'éclairement de 700 W·m⁻² à 1 000 W·m⁻² au minimum.

- En ce qui concerne la courbe du courant de court-circuit en fonction de l'éclairement, il convient que la déviation normalisée de la pente (σ_s/m) soit inférieure à 0,02.
- En ce qui concerne la courbe de la tension en circuit ouvert en fonction du logarithme de l'éclairement, il convient que la déviation normalisée de la pente (σ_s/m) soit inférieure à 0,05.
- En ce qui concerne la courbe du courant de court-circuit et de la tension en circuit ouvert en fonction de la température, il convient que la déviation normalisée de la pente (σ_s/m) soit inférieure à 0,1.
- La variation de la réponse spectrale relative à une tension spécifiée est inférieure à 5 % pour la bande intéressée de longueurs d'onde.

NOTE 1 – Beaucoup de normes PV de la CEI exigent d'effectuer des corrections de désadaptation spectrale qui en fait exigent des mesures de réponse spectrale. La linéarité de la réponse spectrale relative à la température et à l'éclairement est cependant importante. Elle peut aussi être significative pour les nouvelles technologies telles que cellules photochimiques.

NOTE 2 – Du fait que la réponse spectrale relative de certains dispositifs tels que le silicium amorphe varie considérablement avec la tension, il est important que la détermination de la linéarité soit effectuée à une tension fixe. La tension choisie est régie par l'usage final. V_{max} peut être choisi si le régime de puissance maximale est la zone intéressée, et pour l'étalonnage, la tension de polarisation zéro est plus appropriée.

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 the following conditions are met over the temperature and irradiance range of interest. Typically, this range of temperature is 25 °C to 60 °C minimum, and the irradiance range of 700 W·m⁻² to 1 000 W·m⁻² minimum.

- a) For the curve of short-circuit current versus irradiance, the normalized standard deviation of the slope (σ_s/m) should be less than 0,02.
- b) For the curve of open-circuit voltage versus the logarithm of irradiance, the normalized standard deviation of the slope (σ_s/m) should be less than 0,05.
- c) For the curve of open-circuit voltage and short-circuit current versus temperature, the normalized standard deviation of the slope (σ_s/m) should be less than 0,1.
- d) The variation of relative spectral response at a specified voltage is less than 5 % for the wavelength band.

NOTE 1 – Many of the IEC PV standards require spectral mismatch corrections which in turn require spectral response measurements. Therefore, the linearity of spectral response with respect to temperature and irradiance is important. It can also be significant for new technologies such as photochemical cells.

NOTE 2 – Because the relative spectral response of some devices such as amorphous silicon varies considerably with voltage, it is important that the linearity determination be performed at a fixed voltage. The voltage selected is governed by the ultimate usage. $V_{\max}$ may be selected if the maximum power regime is the area of interest, and for calibration zero bias voltage might be more appropriate.

NOTE 3 – Il convient de noter que la réponse spectrale relative de certains dispositifs varie avec la température et l'éclairement. Certains de ces effets peuvent être pris en compte comme variations dans les points a) et c) de la non-linéarité du courant de court-circuit, mais d'autres effets peuvent ne pas l'être. L'exigence du point d) justifie ces non-linéarités.

Les procédures générales pour déterminer le degré de linéarité des paramètres précédents et de tout autre paramètre de performance sont décrites dans les articles 4 à 6.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60904. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60904 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60891:1987, *Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*
Amendement 1 (1992)

CEI 60904-2:1989, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences relatives aux cellules solaires de référence*

CEI 60904-3:1989, *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 60904-6:1994, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 6: Exigences relatives aux modules solaires de référence*

CEI 60904-7:1995, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 7: Calcul de l'erreur de désadaptation des réponses spectrales dans les essais d'un dispositif photovoltaïque* (publiée en anglais seulement)

CEI 60904-8:1995, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 8: Guide pour le mesurage de la réponse spectrale d'un dispositif photovoltaïque (PV)* (publiée en anglais seulement)

CEI 60904-9:1995, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires* (publiée en anglais seulement)

CEI 61215:1993, *Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

CEI 61646:1996, *Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation*

CEI 61829:1995, *Champ de modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin – Mesure sur site des caractéristiques I-V*

NOTE 3 – It should be noted that the relative spectral response of some devices varies with temperature and irradiance. Some of these effects may be accounted for as changes in the items a) and c) short-circuit current non-linearity, but some may not be. The item d) requirement accounts for these non-linearities.

General procedures for determining the degree of linearity for these and any other performance parameter are described in clauses 4 through 6.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60904. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60904 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60891:1987, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices*
Amendment 1 (1992)

IEC 60904-2:1989, *Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar cells*

IEC 60904-3:1989, *Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic solar devices with reference spectral irradiance data*

IEC 60904-6:1994, *Photovoltaic devices – Part 6: Requirements for reference solar modules*

IEC 60904-7:1995, *Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device* (English only)

IEC 60904-8:1995, *Photovoltaic devices – Part 8: Guidance for measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device* (English only)

IEC 60904-9:1995, *Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements* (English only)

IEC 61215:1993, *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61646:1996, *Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61829:1995, *Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On-site measurement of I-V characteristics*

3 Equipement

3.1 Equipement d'essai

L'équipement suivant est exigé pour le contrôle et la mesure des conditions d'essai:

- a) une source de rayonnement (éclairage solaire naturel ou simulateur solaire, classe B ou mieux, conformément à la CEI 60904-9) du type à utiliser dans les essais ultérieurs;
- b) tout équipement nécessaire pour faire varier l'éclairement pour la gamme intéressée sans affecter la distribution relative de l'éclairement spectral et l'uniformité spatiale, comme filtres à mailles ou 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'aboutisse pas à plus de 0,5 % de la variation du courant de court-circuit du dispositif (voir CEI 60904-7 et CEI 60904-8). L'utilisation des filtres à mailles passe pour être la meilleure méthode pour les grandes surfaces.

- c) un dispositif PV de référence dont la caractéristique connue du courant de court-circuit en fonction de l'éclairement est déterminée en effectuant un étalonnage avec un radiomètre absolu, selon la norme CEI concernée;
- d) tout l'équipement nécessaire pour modifier la température du spécimen d'essai pour la gamme intéressée;
- e) un moyen pour contrôler la température du spécimen d'essai et du dispositif de référence, ou un abat-jour amovible;
- f) une installation convenable pour supporter le spécimen d'essai et le dispositif de référence dans le même plan perpendiculaire à la source de rayonnement;
- g) un moyen pour contrôler la température du spécimen d'essai et du dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et la reproductivité de $\pm 0,5$ °C.

3.2 Equipement du spécimen

Selon le paramètre de performance pour lequel la détermination de la linéarité est effectuée, un ou plusieurs articles de l'équipement suivant peuvent être exigés:

- a) équipement pour mesurer le courant du spécimen d'essai et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture;
- b) équipement pour mesurer la tension du spécimen d'essai et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture;
- c) équipement pour mesurer la réponse spectrale relative du spécimen d'essai (ou un échantillon représentatif équivalent du spécimen d'essai) conformément à la CEI 60904-7 avec une précision de ± 2 % de la lecture.

NOTE – La CEI 60904-7 fournit des méthodes pour le calcul de l'erreur de désadaptation dans les essais d'un dispositif photovoltaïque et la CEI 60904-8 fournit un guide pour la mesure de la réponse spectrale.

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

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

4.1 Procédure avec l'éclairage solaire naturel

4.1.1 La mesure avec l'éclairage solaire naturel doit seulement être effectuée lorsque

- l'éclairement total est au moins aussi élevé que la limite supérieure de la gamme intéressée;
- la variation de l'éclairement causée par les oscillations à courte durée (nuages, brume ou fumée) est inférieure à ± 2 % de l'éclairement total comme mesuré par le dispositif de référence; et
- la vitesse du vent est inférieure à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3 Apparatus

3.1 Test apparatus

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

- a) a radiant source (natural sunlight or solar simulator, class B or better in accordance with IEC 60904-9) of the type to be used in subsequent tests;
- 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) a PV reference device having a known short-circuit current versus irradiance characteristic determined by calibrating against an absolute radiometer in accordance with the relevant IEC standard;
- d) any equipment necessary to change the temperature of the test specimen over the range of interest;
- e) a means for controlling the temperature of the test specimen and reference device, or a removable shade;
- f) a suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in the same plane normal to the radiant beam;
- g) a means for monitoring the temperature of the test specimen and reference device to an accuracy of ± 1 °C, and repeatability of $\pm 0,5$ °C.

3.2 Specimen apparatus

Depending on the performance parameter for which the linearity determination is being made, one or more of the following apparatus items may be required:

- a) equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading;
- b) equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading;
- c) equipment for measuring the relative spectral response of the test specimen (or a representative sample equivalent to the test specimen) in accordance with IEC 60904-7 to an accuracy 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 Procedure for current and voltage linearity test

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

4.1 Procedure in natural sunlight

4.1.1 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; and
- the wind speed is less than $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

4.1.2 Installer le dispositif de référence coplanaire avec le spécimen d'essai de sorte que tous les deux soient perpendiculaires au faisceau solaire direct dans les limites des $\pm 1^\circ$. Les raccorder aux instruments nécessaires.

NOTE – Il convient que les mesures décrites dans les paragraphes suivants soient effectuées aussi promptement que possible, durant quelques heures d'un même jour, pour minimiser l'effet des modifications dans les conditions spectrales. Sinon, la correction spectrale peut être exigée.

4.1.3 Si le spécimen d'essai et le dispositif de référence sont équipés avec des régulations de température, mettre ces contrôles au niveau désiré. Si les régulations de température ne sont pas utilisées, mettre le dispositif d'occultation pour abriter le spécimen d'essai du soleil pour leur permettre de se stabiliser dans les limites de $\pm 1^\circ \text{C}$ de la température de l'air ambiant.

4.1.4 Enlever le dispositif d'occultation (s'il est utilisé) et immédiatement lire simultanément le paramètre d'essai X , le paramètre du spécimen d'essai Y , la température et le courant de court-circuit du dispositif de référence.

4.1.5 L'éclairement G_0 doit être calculé conformément à la CEI 60891 à partir des courants mesurés (I_{sc}) du dispositif PV de référence et de leur valeur d'étalonnage à 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 de température spécifié du dispositif de référence α_{rc} .

$$G_0 = \frac{1\,000 \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25)]$$

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

- avec filtres à mailles à 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 filtres à mailles à 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}) et de sa valeur d'étalonnage (I_{rc});
- 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 d'essai, et qu'il soit installé de façon coplanaire avec le spécimen d'essai dans une limite de $\pm 1^\circ$. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) et de sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).

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

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

$$G_i = k_i \times G_0$$

où G_0 est déterminé par la méthode décrite en 4.1.5.

4.1.8 Si le paramètre d'essai en train de varier est la température, pour atteindre et maintenir la température désirée, on peut soit régler la température en utilisant un contrôleur, soit alternativement exposer et mettre à l'abri le spécimen d'essai comme requis. Une seconde possibilité consiste à laisser le spécimen d'essai s'échauffer de lui-même, en relevant les données périodiquement pendant la période d'échauffement, selon la procédure décrite en 4.1.4.

4.1.2 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.

4.1.3 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.

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

4.1.5 The irradiance G_0 shall be calculated in accordance with IEC 60891 from the measured current (I_{sc}) of the PV reference device, and its calibration value at STC (I_{rc}). A correction should be applied to account for the temperature of the reference device T_m using the specified temperature coefficient of the reference device α_{rc} .

$$G_0 = \frac{1\,000 \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25)]$$

4.1.6 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:

- 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);
- 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});
- 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 – 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.

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

$$G_i = k_i \times G_0$$

where G_0 is determined by the method described in 4.1.5.

4.1.8 If the test parameter being varied is the temperature, adjust the temperature by means of a controller or by alternately exposing and shading the test specimen as required to achieve and maintain the desired temperature. Alternatively, the test specimen may be allowed to warm-up naturally with the data recording procedure of clause 4.1.4 performed periodically during the warm-up.

4.1.9 S'assurer que la température du spécimen d'essai et du dispositif de référence s'est stabilisée et reste constante dans les limites de ± 1 °C, et que l'éclairement, comme mesuré par le dispositif de référence, reste constant dans les limites de ± 2 % pendant les périodes d'enregistrement des données.

4.1.10 Répéter les étapes 4.1.4 à 4.1.9. La valeur du paramètre d'essai choisi doit être telle que la gamme intéressée est espacée d'au moins quatre incréments approximativement égaux. Un minimum de trois mesures doit être réalisé à chacune des conditions d'essai.

4.2 Procédure avec un simulateur solaire

NOTE – Il ne faut pas utiliser de lampe à spectre d'émission comme les lampes au xénon pour mesurer la largeur de bande des cellules solaires en direct. Comme cette largeur de bande spectrale varie en fonction de la température, elle peut se superposer aux diverses lignes d'émission du spectre de la lampe et provoquer d'importantes variations des caractéristiques fonctionnelles, effet qui peut être réduit en effectuant une correction de la désadaptation spectrale ou en utilisant les filtres appropriés.

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

4.2.2 Si le spécimen d'essai et le dispositif de référence sont équipés avec des régulations de température, mettre ces contrôles au niveau désiré. Si les régulations de température ne sont pas utilisées, permettre au spécimen d'essai et au dispositif de référence de se stabiliser dans les limites de ± 1 °C de la température de l'air ambiant.

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

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

4.2.5 L'éclairement G_0 doit être calculé conformément à la CEI 60891 à partir des courants mesurés (I_{sc}) du dispositif PV de référence et de leur valeur d'étalonnage à STC (I_{rc}). Il convient qu'une correction soit appliquée pour tenir compte de la température du dispositif de référence T_m en utilisant le coefficient de température spécifié du dispositif de référence α_{rc} .

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

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

- en augmentant la distance entre le plan d'essai et la lampe. Avec le dispositif de référence maintenu dans le même plan que le spécimen d'essai, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) et de sa valeur d'étalonnage (I_{rc});
- en utilisant une lentille optique. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) et de sa valeur d'étalonnage (I_{rc}). Il convient de prendre des précautions pour s'assurer que la lentille ne change pas d'une manière significative l'éclairement spectral relatif dans la gamme de longueurs d'onde dans laquelle le spécimen d'essai et le dispositif de référence réagissent bien;
- en contrôlant l'angle d'incidence. Si cette méthode est choisie, la distance séparant la source de la lampe du spécimen doit être très 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 d'essai et qu'il soit monté de façon coplanaire avec le spécimen d'essai. Dans ce cas, k_i est le rapport du courant de court-circuit du dispositif de référence (I_{sc}) et de sa valeur d'étalonnage (I_{rc});

4.1.9 Ensure that the test specimen and reference device temperature be stabilized and remain constant within ± 1 °C and that the irradiance, as measured by the reference device, remains constant within ± 2 % during the data recording periods.

4.1.10 Repeat steps 4.1.4 through 4.1.9. 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.

4.2 Procedure with a solar simulator

NOTE – The use of an emission lamp such as xenon should not be used for the measurement of direct band gap cells. As the band gap changes due to temperature, it can pass through various emission lines in the lamp spectrum and give rise to large shifts in performance. This effect can be minimized by performing a spectral mismatch correction, or by the use of suitable filters.

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

4.2.2 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 ± 1 °C of the room temperature.

4.2.3 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}).

4.2.4 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.

4.2.5 The irradiance G_0 shall be calculated in accordance with IEC 60891 from the measured current (I_{sc}) of the PV reference device, and its calibration value at STC (I_{rc}). A correction should be applied to account for the temperature of the reference device T_m , using the specified temperature coefficient of the reference device α_{rc} .

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

4.2.6 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. There are various methods to accomplish this:

- 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 very 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});

- d) avec filtres à mailles à 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) avec filtres à mailles à 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}) et de sa valeur d'étalonnage (I_{rc}).

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

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

$$G_i = k_i \times G_0$$

où G_0 est déterminé par la méthode décrite en 4.2.5.

4.2.8 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 de la CEI 61646).

4.2.9 S'assurer que la température du spécimen d'essai et du dispositif de référence s'est stabilisée et reste constante dans les limites de ± 1 °C pendant la durée de l'essai.

4.2.10 Répéter les étapes 4.2.4 à 4.2.9. La valeur du paramètre d'essai choisi doit être telle que la gamme intéressée est espacée d'au moins quatre incréments approximativement égaux. Un minimum de trois mesures doit être réalisé à chacune des conditions d'essai.

5 Procédure pour l'essai de linéarité de la réponse spectrale

La réponse spectrale relative d'un dispositif photovoltaïque (PV) est mesurée en l'éclairant au moyen d'une source d'éclairage à bande étroite avec une série de longueurs d'onde couvrant sa gamme de réponse, et en mesurant la densité du courant de court-circuit et l'éclairement à chacune de ces longueurs d'onde. La CEI 60904-7 fournit un guide pour les mesures de la réponse spectrale relative.

5.1 Considérations particulières

5.1.1 Préconditionnement

- Avant la mesure de la réponse spectrale des dispositifs au silicium amorphe, le dispositif en essai doit être stabilisé (si nécessaire), comme spécifié dans la procédure d'essai de l'exposition prolongée au rayonnement lumineux (voir CEI 61646).
- D'autres technologies photovoltaïques peuvent exiger différentes méthodes de pré-conditionnement.

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

NOTE – La réponse spectrale d'une cellule solaire change lorsqu'elle est mise en capsule. Il convient d'utiliser une cellule solaire encapsulée, si un module à pleines dimensions ne peut être essayé.

5.1.3 Lorsqu'il se produit un effet de tension sur la réponse spectrale relative, il est souhaitable de définir les termes suivants qu'il convient d'utiliser lorsque l'on rend compte des résultats:

- d) 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);
- e) 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 – 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.

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

$$G_i = k_i \times G_0$$

where G_0 is determined by the method described in 4.2.5.

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

4.2.9 Ensure that the test specimen and reference device temperature be stabilized and remain constant within ± 1 °C during the test.

4.2.10 Repeat steps 4.2.4 through 4.2.9. 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 Procedure for spectral response linearity test

The relative spectral response of a photovoltaic (PV) device is measured by irradiating it by means of a narrow-bandwidth light source at a series of different wavelengths covering its response range, and measuring the short-circuit current density and irradiance at each of these wavelengths. IEC 60904-7 provides guidance for relative spectral response measurements.

5.1 Special considerations

5.1.1 Preconditioning

- Before the spectral response of amorphous silicon devices is measured, the device under test shall be stabilized (if necessary), as specified in the light-soaking test procedure (see IEC 61646).
- Other photovoltaic technologies can require different preconditioning procedures.

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

NOTE – The spectral response of a solar cell changes upon encapsulation. Therefore, an encapsulated solar cell should be used if a full-sized module cannot be tested.

5.1.3 When there is an effect of voltage on the relative spectral response, it is desirable to define the following terms which should be used when reporting the results:

- réponse spectrale en charge ($S_{V\lambda}$): la densité de courant à une tension en charge particulière, générée par unité d'éclairement à une longueur d'onde particulière ($A \cdot W^{-1}$), tracée comme une fonction de longueur d'onde;
- réponse spectrale relative en charge ($k_1 \cdot S_{V\lambda}$): la réponse spectrale en charge normalisée à l'unité à une longueur d'onde correspondant à une réponse maximale;

$$k_1 \times S_{V\lambda} = \frac{S_{V\lambda}}{S_{V\lambda\max}}$$

Il convient que la réponse spectrale soit effectuée sous la tension appropriée à l'utilisation prévue des données de réponse spectrale. Le type de tension doit par conséquent être spécifié avec les données.

5.2 Procédure générale

5.2.1 Mettre la tension de polarisation sur le spécimen d'essai au niveau désiré et maintenir cette tension de polarisation dans les limites de $\pm 3 \%$ de V_{oc} .

5.2.2 Mettre la température du spécimen d'essai à la valeur désirée et la maintenir dans les limites de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.2.3 Il convient que la mesure de la réponse spectrale soit effectuée sous la lumière blanche de polarisation, similaire à la distribution spectrale relative référence AM 1,5 de la CEI 60904-3. Mettre la source d'éclairage lumineux blanc de polarisation à la valeur désirée et la maintenir dans les limites de $\pm 1 \%$.

5.2.4 Mesurer la réponse spectrale relative aux intervalles désirés de longueurs d'onde. Un minimum de trois mesures de la réponse spectrale relative en fonction de l'intervalle de la longueur d'onde doit être effectuée à cette condition (voir la CEI 60904-7 et la CEI 60904-8).

5.2.5 Répéter les étapes 5.2.3 et 5.2.4 avec une nouvelle valeur de l'éclairement. La valeur choisie doit être telle que la gamme intéressée est espacée d'au moins quatre incréments approximativement égaux.

5.2.6 Répéter les étapes 5.2.2 à 5.2.5 avec une nouvelle valeur de la température du spécimen d'essai. La valeur choisie doit être telle que la gamme intéressée est espacée d'au moins quatre incréments approximativement égaux.

5.2.7 Si souhaité, cette procédure peut être répétée avec d'autres tensions désirées.

6 Calcul de la linéarité

Vérifier que tout paramètre variable autre que celui en train d'être évalué 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.

6.1 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.

6.1.1 Calculer les valeurs moyennes des paramètres d'essai, et les caractéristiques de la droite la mieux appropriée en utilisant la méthode des moindres carrés.

- spectral response under load ($S_{V\lambda}$): the current density at a particular load voltage, generated by unit irradiance at a particular wavelength ($A \cdot W^{-1}$), plotted as a function of wavelength;
- relative spectral response under load ($k_1 \cdot S_{V\lambda}$): the spectral response under load normalised to unity at the wavelength of maximum response:

$$k_1 \times S_{V\lambda} = \frac{S_{V\lambda}}{S_{V\lambda\max}}$$

The spectral response measurement should be done under the voltage which is appropriate to the intended use of the spectral response data. The voltage condition, therefore, shall be specified with the data.

5.2 General procedure

5.2.1 Set the bias voltage on the test specimen to the desired level and maintain this bias voltage within ± 3 % of V_{OC} .

5.2.2 Set the test specimen temperature to the value of interest, and maintain within ± 1 °C.

5.2.3 The spectral response measurement should be done under white bias light, similar to the reference AM 1,5 relative spectral distribution of IEC 60904-3. Set the white bias light source irradiance to the value of interest, and maintain within ± 1 %.

5.2.4 Measure the relative spectral response over the wavelength intervals of interest. A minimum of three such relative spectral response versus wavelength interval measurements shall be made at this condition (see IEC 60904-7 and IEC 60904-8).

5.2.5 Repeat steps 5.2.3 and 5.2.4 with a new value of irradiance. The value selected shall be such that the range of interest is spanned in at least four approximately equal increments.

5.2.6 Repeat steps 5.2.2 through 5.2.5 with a new value of test specimen temperature. The value selected shall be such that the range of interest is spanned in at least four approximately equal increments.

5.2.7 If desired, this procedure may be repeated at other voltages of interest.

6 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.

6.1 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.

6.1.1 Calculate the mean values of the test parameters, and the characteristics of the best-fit straight line using the least-squares fit method.

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

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

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

où n est le nombre de mesures.

Etape 2: Calculer la pente m de la ligne la mieux appropriée comme suit:

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

Etape 3: La droite la mieux appropriée, connue aussi comme la droite de régression, peut maintenant s'écrire comme suit:

$$\bar{Y} - Y_i = m \times (\bar{X} - X_i)$$

6.1.2 Calculer la variation de la pente de la droite basée sur les différences des points de données individuelles par rapport à la droite la mieux appropriée.

Etape 1: Calculer ΔY_i , différence entre chaque point de donnée et la droite la mieux appropriée à la position X_i comme suit:

$$\Delta Y_i = (Y_i - \bar{Y}) - m \times (X_i - \bar{X})$$

Etape 2: Calculer ΔX_i , différence entre chaque point de donnée et la valeur moyenne de $\bar{X}$ comme suit.

$$\Delta X_i = (X_i - \bar{X})$$

Etape 3: Calculer la déviation normale de la pente d'ensemble σ_s basée sur les différentiels ci-dessus:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Y_i)^2}{(n-2) \sum (\Delta X_i)^2}}$$

6.1.3 La déviation normalisée de la pente est calculée en utilisant la pente de la droite la mieux appropriée m et la déviation normale de la pente du point de donnée σ_s comme suit:

$$\text{Déviation normalisée de la pente} = \sigma_s / m$$