

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

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
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. The 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 température 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<sup>-2</sup> à 1 000 W·m<sup>-2</sup> au minimum.

- a) 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 ( $\sigma_s/m$ ) soit inférieure à 0,02.
- b) 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 ( $\sigma_s/m$ ) soit inférieure à 0,05.
- c) 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 ( $\sigma_s/m$ ) soit inférieure à 0,1.
- d) 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<sup>-2</sup> to 1000 W·m<sup>-2</sup> minimum.

- a) For the curve of short-circuit current versus irradiance, the normalized standard deviation of the slope ( $\sigma_s/m$ ) 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 ( $\sigma_s/m$ ) 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 ( $\sigma_s/m$ ) 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 61640:1996, *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*