

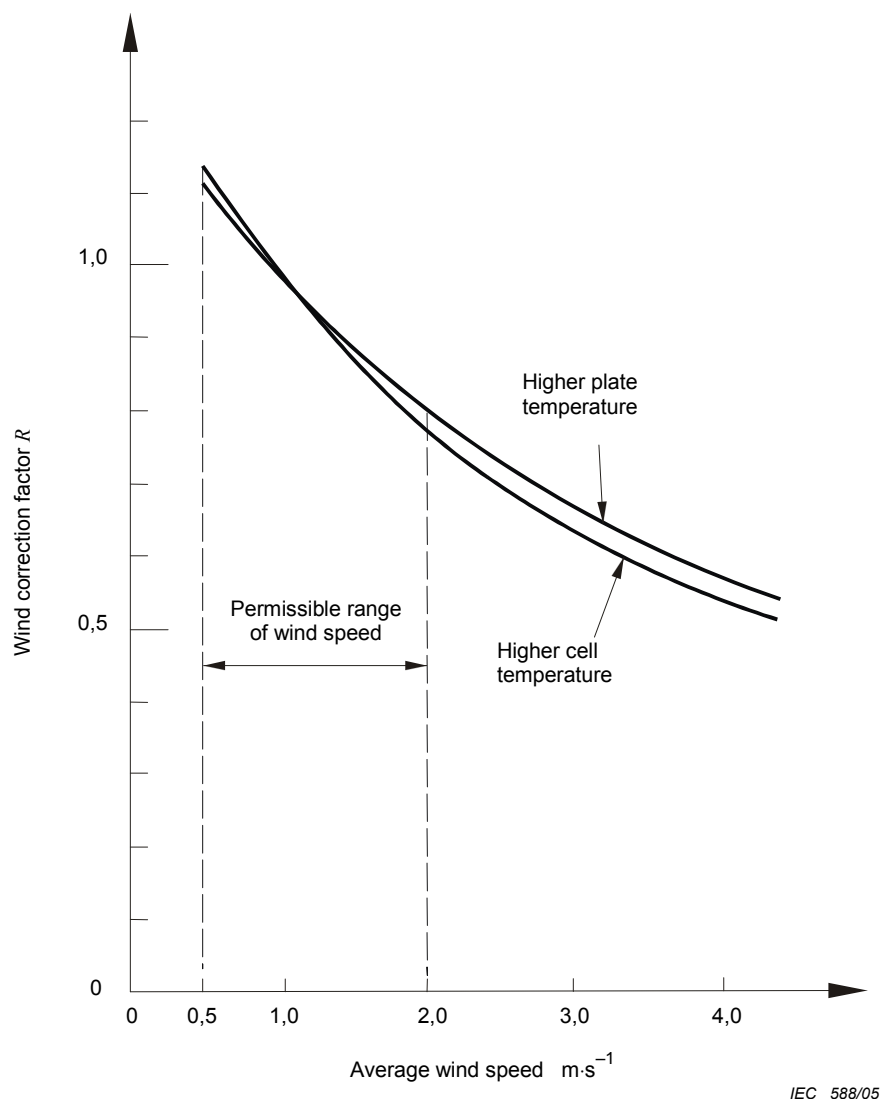


Figure 5 – Wind correction factor

10.6 Performance at STC and NOCT

10.6.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at STC ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ cell temperature, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution) and at NOCT and an irradiance of $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution.

10.6.2 Apparatus

- A radiant source (natural sunlight or a solar simulator class B or better) in accordance with IEC 60904-9.
- A PV reference device in accordance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6. If a class B simulator is used, the reference device shall be a reference module of the same size with the same cell technology to match spectral response.

- c) Un support approprié pour maintenir l'éprouvette et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- d) Un moyen de contrôler la température de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- e) Appareil pour mesurer le courant de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- f) Appareil pour mesurer la tension de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- g) Appareil nécessaire pour modifier la température de l'éprouvette en température de NOCT mesurée en 10.5.

10.6.3 Mode opératoire

10.6.3.1 STC

Maintenir le module à 25 °C et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairage de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

10.6.3.2 NOCT

Chauffer le module uniformément jusqu'à atteindre sa NOCT et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairage de $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

Si le spectre du dispositif de référence n'est pas adapté au module en essai, utiliser la CEI 60904-7 pour calculer la correction de désadaptation des réponses spectrales.

10.7 Performance sous faible éclairage

10.7.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à 25 °C, sous un éclairage de $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté) selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

10.7.2 Appareillage

- a) Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe B ou mieux) conformément à la CEI 60904-9.
- b) Appareil nécessaire pour changer l'éclairage en $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sans affecter la répartition d'éclairage spectral relatif et l'uniformité spatiale conformément à la CEI 60904-10.
- c) Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2 ou à la CEI 60904-6.
- d) Un support approprié pour maintenir l'éprouvette et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- e) Un moyen de contrôler la température de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- f) Appareil pour mesurer le courant de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- g) Appareil pour mesurer la tension de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.

- c) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- d) A means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of ± 1 °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C.
- e) Equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.
- f) Equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.
- g) Equipment necessary to change the temperature of the test specimen to the NOCT temperature measured in 10.5.

10.6.3 Procedure

10.6.3.1 STC

Maintain the module at 25 °C and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9.

10.6.3.2 NOCT

Heat the module uniformly to NOCT and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of the IEC 60904-9.

If the reference device is not spectrally matched to the test module, use IEC 60904-7 to calculate the spectral mismatch correction.

10.7 Performance at low irradiance

10.7.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at 25 °C and an irradiance of $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1 using natural sunlight or a simulator class B or better conforming to the requirements of IEC 60904-9.

10.7.2 Apparatus

- a) A radiant source (natural sunlight or a solar simulator class B or better) in accordance with IEC 60904-9.
- b) Equipment necessary to change the irradiance to $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ without affecting the relative spectral irradiance distribution and the spatial uniformity in accordance with IEC 60904-10.
- c) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6.
- d) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- e) A means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of ± 1 °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C.
- f) Equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.
- g) Equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.

10.7.3 Mode opératoire

Déterminer la caractéristique courant-tension du module à $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à un éclairement de $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9. L'éclairement doit être réduit au niveau spécifié en utilisant des filtres neutres ou toute autre technique qui ne modifie pas la répartition d'éclairement spectral. (Voir la CEI 60904-10 à titre informatif concernant la réduction de l'éclairement sans modifier la répartition d'éclairement spectral.)

10.8 Essai d'exposition en site naturel

10.8.1 Objet

L'objet de cet essai est de faire une évaluation préliminaire de la capacité d'un module à supporter une exposition dans des conditions de site naturel et de révéler les effets d'une dégradation synergétique qui ne pourraient pas être détectés par des essais effectués en laboratoire.

NOTE Il y a lieu que tout jugement absolu sur la durée de vie d'un module ayant satisfait à cet essai soit considéré avec prudence parce que l'essai est de courte durée et les conditions d'environnement sont variées. Il convient d'utiliser cet essai seulement comme un guide ou un indicateur d'éventuels problèmes.

10.8.2 Appareillage

- a) Un dispositif de mesure de l'éclairement solaire avec une précision de $\pm 5\%$.
- b) Des moyens pour fixer le module, conformément aux recommandations du constructeur, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement.
- c) Une charge résistive adaptée de telle sorte que le module fonctionnera à proximité du point de puissance maximale à STC.

10.8.3 Mode opératoire

- a) Fixer la charge résistive au module et l'installer, conformément aux recommandations du constructeur, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions de site naturel. Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le constructeur avant que le module ne soit essayé.
- b) Exposer le module à un éclairement cumulé de $60\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, mesuré par le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions conformes aux climats généraux d'air libre définis dans la CEI 60721-2-1.

10.8.4 Mesures finales

Répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

10.8.5 Exigences

Les exigences sont les suivantes:

- pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme définis à l'Article 7;
- la dégradation, par rapport à la valeur mesurée avant l'essai, de la puissance maximale de sortie, ne doit pas excéder 5% ;
- la résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

10.7.3 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module at $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and an irradiance of $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1 using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9. The irradiance shall be reduced to the specified level by using neutral filters or some other technique, which does not affect the spectral irradiance distribution. (See IEC 60904-10 for guidance on reducing the irradiance without changing the spectral irradiance distribution.)

10.8 Outdoor exposure test

10.8.1 Purpose

To make a preliminary assessment of the ability of the module to withstand exposure to outdoor conditions and to reveal any synergistic degradation effects which may not be detected by laboratory tests.

NOTE Caution should be taken in making absolute judgements about module life on the basis of passing this test because of the shortness of the test and the environmental variability of the test conditions. This test should only be used as a guide or indicator of possible problems.

10.8.2 Apparatus

- A device capable of measuring solar irradiation, with an uncertainty of less than $\pm 5\%$.
- Means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation measuring device.
- A load sized such that at STC the module will operate near the maximum power point.

10.8.3 Procedure

- Attach the resistive load to the module and mount it outdoors, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor. Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.
- Subject the module to an irradiation totalling $60\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, as measured by the monitor, under conditions conforming to general open-air climates, as defined in IEC 60721-2-1.

10.8.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.8.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5% of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé

10.9.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets d'un échauffement localisé dus par exemple à la rupture d'une soudure ou à la détérioration de l'encapsulation. Ce défaut peut être provoqué par la présence de cellules incompatibles ou fêlées, par des défauts d'interconnexion, par un masquage partiel ou par salissure.

10.9.2 Effet de l'échauffement localisé

L'échauffement localisé d'un module se produit lorsque son courant nominal excède le courant de court-circuit réduit d'une cellule masquée ou défectueuse ou d'un groupe de cellules qu'il contient. Quand de telles conditions apparaissent, le groupe de cellules ou la cellule affecté(e) se trouve polarisé(e) en inverse et dissipe de la puissance, pouvant ainsi créer un échauffement.

La Figure 6 illustre l'effet d'un échauffement localisé sur un module constitué des cellules en série, parmi lesquelles la cellule Y est partiellement masquée. La puissance dissipée dans la cellule Y est égale au produit du courant circulant dans le module par la tension inverse créée aux bornes de Y. Pour chaque niveau d'éclairement, la puissance maximale est dissipée dans les conditions de courant de court-circuit, quand la tension inverse aux bornes de Y est égale à la tension produite par les $(s - 1)$ cellules restantes du module. Ceci est représenté à la Figure 6 par le rectangle hachuré construit à l'intersection de la caractéristique en inverse I-V de la cellule Y avec l'image de la caractéristique en direct I-V des $(s - 1)$ cellules.

Les caractéristiques en inverse pouvant varier considérablement d'une cellule à une autre, il est nécessaire de classer les cellules par limitation en tension (type A) ou limitation en courant (type B), en tenant compte des conditions d'intersection entre la caractéristique en inverse et la «zone limite d'essai» décrite à la Figure 7.

La Figure 6 s'applique aux cellules de type A. Elle illustre que la dissipation maximale dans une cellule de type A défectueuse ou masquée se produit quand la caractéristique en inverse recoupe l'image de la caractéristique des $(s - 1)$ cellules à son point de puissance maximale.

Par contraste, la Figure 8 montre que la dissipation maximale dans une cellule de type B se produit quand elle est complètement masquée. Mais il convient de noter que, dans ce cas, la puissance dissipée peut être seulement une fraction de la puissance totale du module.

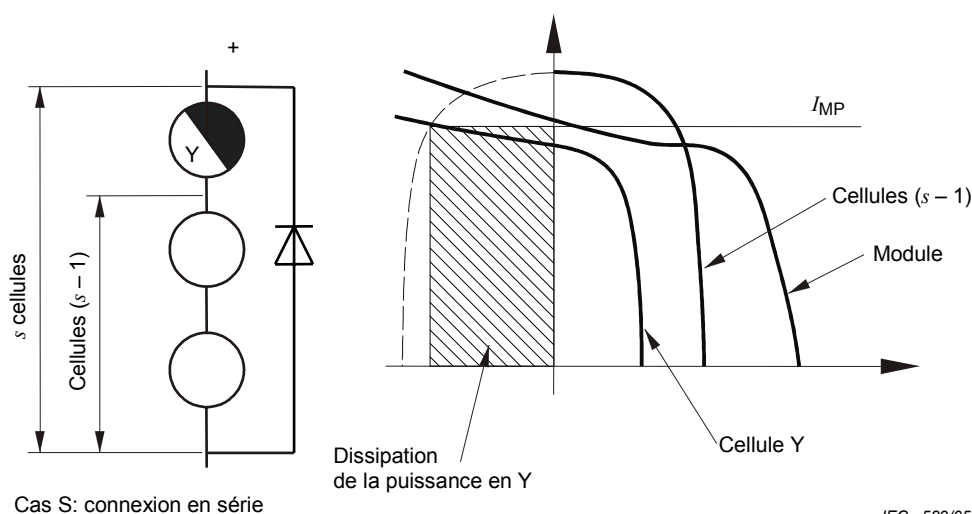


Figure 6 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type A

10.9 Hot-spot endurance test

10.9.1 Purpose

The purpose of this test is to determine the ability of the module to withstand hot-spot heating effects, for example solder melting or deterioration of the encapsulation. This defect could be provoked by cracked or mismatched cells, interconnect failures, partial shadowing or soiling.

10.9.2 Hot-spot effect

Hot-spot heating occurs in a module when its operating current exceeds the reduced short-circuit current of a shadowed or faulty cell or group of cells within it. When such a condition occurs, the affected cell or group of cells is forced into reverse bias and must dissipate power, which can cause overheating.

Figure 6 illustrates the hot-spot effect in a module of a series string of cells, one of which, cell Y, is partially shadowed. The amount of power dissipated in Y is equal to the product of the module current and the reverse voltage developed across Y. For any irradiance level, maximum power is dissipated in the short-circuit current condition, when the reverse voltage across Y is equal to the voltage generated by the remaining $(s - 1)$ cells in the module. This is shown in Figure 6 by the hatched rectangle constructed at the intersection of the reverse I-V characteristic of Y with the image of the forward I-V characteristic of the $(s - 1)$ cells.

Because the reverse characteristics can vary considerably from cell to cell, it is necessary to classify cells as voltage limited (type A) or current limited (type B), according to how the reverse characteristic intersects the “test limit zone” shown in Figure 7.

Figure 6 applies to type A cells. It illustrates that the maximum dissipation in a faulty or shadowed type A cell occurs when the reverse characteristic intersects the image of the $(s - 1)$ characteristic at its maximum power point.

In contrast, Figure 8 shows that the maximum dissipation in a type B cell occurs when it is fully shadowed. But it should be noted that, in this case, the dissipated power may be only a fraction of the total power available from the module.

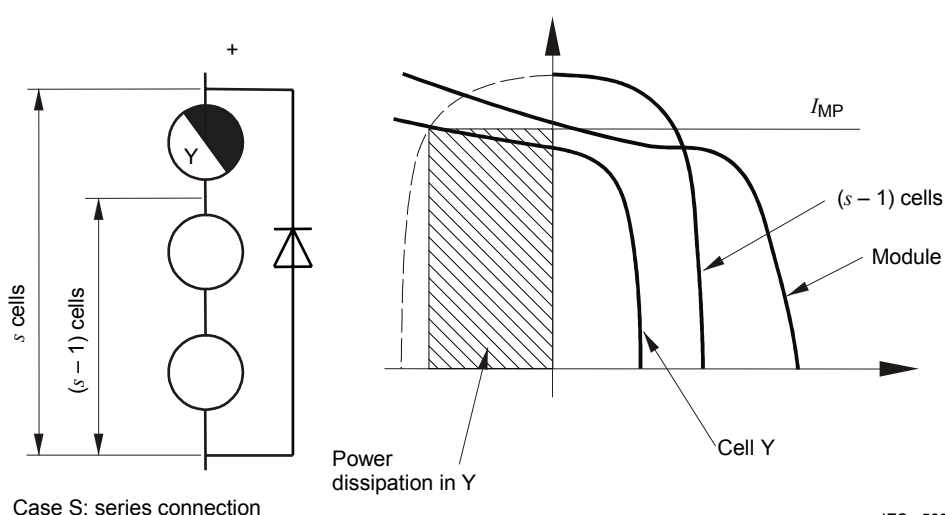


Figure 6 – Hot-spot effect in type A cell

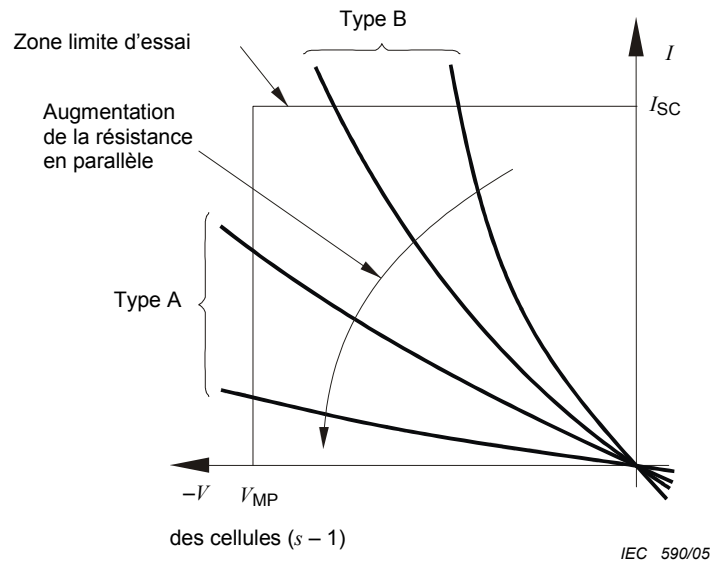


Figure 7 – Caractéristiques inverses

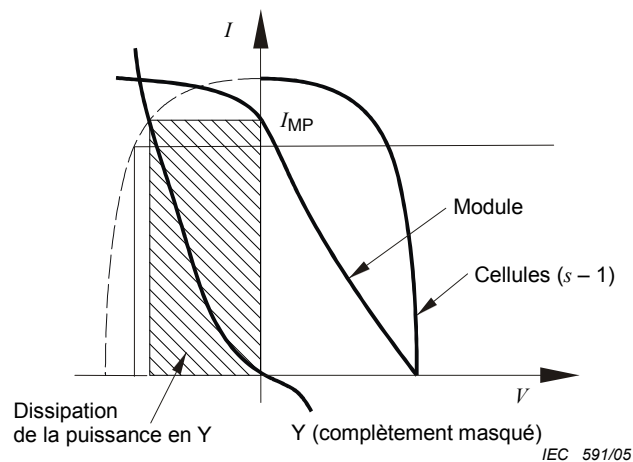


Figure 8 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B

10.9.3 Classification des interconnexions de cellules

Les cellules solaires d'un module photovoltaïque sont connectées de plusieurs manières différentes:

- Cas S: connexion en série de s cellules dans une seule branche;
- Cas SP: connexion en série-parallèle; c'est-à-dire une connexion en parallèle de p branches, chaque branche étant constituée de s cellules en série, voir Figure 9;
- Cas SPS: Connexion en série-parallèle-série; c'est-à-dire une connexion en série de b blocs, chaque bloc étant constitué d'une connexion en parallèle de p branches, chacune d'elles étant constituée de s cellules en série. Voir la Figure 10.

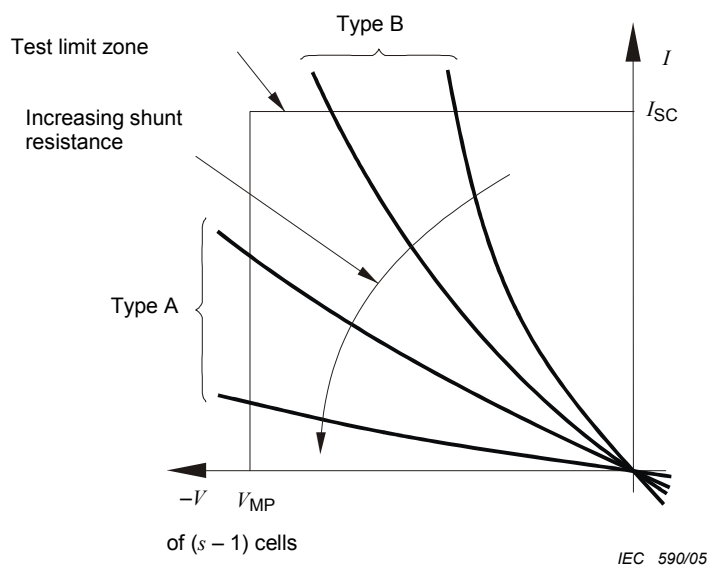


Figure 7 – Reverse characteristics

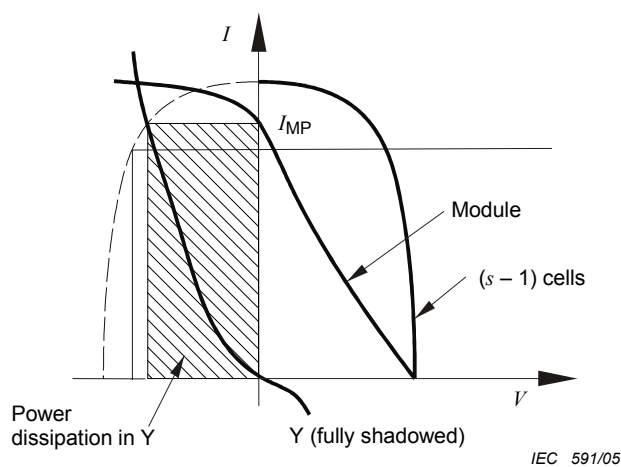


Figure 8 – Hot-spot effect in type B cell

10.9.3 Classification of cell interconnection

Solar cells in a PV module are connected in one of the following ways:

- Case S: series connection of s cells in a single string;
- Case SP: series-parallel connection, i.e. a parallel connection of p strings, each with s cells in series; see Figure 9;
- Case SPS: Series-parallel-series connection, i.e. a series connection of b blocks, where each block consists of a parallel connection of p strings, each with s cells in series. See Figure 10.

La présence de diodes de dérivation limite la tension inverse des cellules internes et définit ainsi la partie du circuit à soumettre aux essais. La dissipation de puissance interne maximale se produit quand le module est en court-circuit.

NOTE La dissipation de puissance interne maximale de la diode se produit quand l'élément de circuit protégé par la diode by-pass est en court-circuit. Cela s'effectue généralement en court-circuitant l'ensemble du module. Si le module ne dérive pas les diodes, vérifier les instructions du fabricant pour voir si un nombre maximum de modules série est recommandé avant d'installer les diodes de dérivation. Si le nombre maximum recommandé de modules est supérieur à un, les essais à effectuer dans cette section seront effectués avec ce nombre de modules en série. Si ce nombre est important, l'alimentation de puissance fournie à courant constant doit remplacer le tout sauf le module d'essai. Dans ce cas, le courant d'alimentation fourni doit être porté à I_{MP} pendant les 5 h d'exposition.

10.9.4 Appareillage

- Source de rayonnement 1: Simulateur solaire à éclairage permanent ou ensoleillement naturel capable de produire un éclairage d'au moins $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ avec une non-uniformité inférieure à $\pm 2 \%$ et une stabilité temporelle de $\pm 5 \%$.
- Source de rayonnement 2: Simulateur solaire à éclairage permanent de classe C (ou mieux) ou ensoleillement naturel produisant un éclairage de $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 10 \%$.
- Un traceur de courbe I-V des modules.
- Un système de masquage opaque par incrémentation de 5% pour la phase de masquage de la cellule.
- Un capteur de température approprié, si nécessaire.

10.9.5 Mode opératoire

Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le constructeur avant que le module ne soit essayé.

10.9.5.1 Cas S

- Exposer le module non masqué à la source de rayonnement 1 sous un éclairage d'au moins $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Tracer la caractéristique I-V et déterminer le courant correspondant à la puissance maximale, I_{MP} .
- Court-circuiter le module et sélectionner une cellule par l'une des méthodes suivantes:

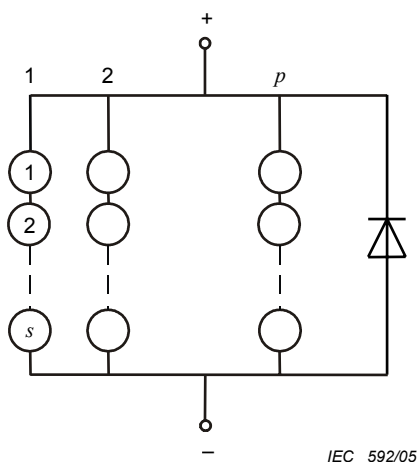


Figure 9 – Cas SP: Connexion en série-parallèle

By-pass diodes, if present, limit the reverse voltage of the enclosed cells and therefore define the part of the circuit to be tested. The maximum internal power dissipation occurs with the module short-circuited.

NOTE The maximum internal power dissipation of the diode occurs when the circuit element protected by the bypass diode is short circuited. Usually this is accomplished by short circuiting the whole module. If the module does not bypass diodes, check the manufacturer's instructions to see if a maximum number of series modules is recommended before installing bypass diodes. If the maximum number of modules recommended is greater than one, the subsequent tests in this section should be performed with that number of modules in series. If this number is large a constant current power supply may be substituted for all but the test module. In this case, the current of the power supply should be set at I_{MP} during the 5 h exposure.

10.9.4 Apparatus

- Radiant source 1. Steady-state solar simulator or natural sunlight capable of an irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ with a non-uniformity of not more than $\pm 2 \%$ and a temporal stability within $\pm 5 \%$.
- Radiant source 2. Class C steady-state solar simulator (or better) or natural sunlight with an irradiance of $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \pm 10 \%$.
- Module I-V curve tracer.
- Set of opaque covers for test cell shadowing in 5% increments.
- An appropriate temperature detector, if required.

10.9.5 Procedure

Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.

10.9.5.1 Case S

- Expose the unshadowed module to radiant source 1 at an irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Measure the I-V characteristic and determine the current at maximum power, I_{MP} .
- Short-circuit the module and select a cell by one of the following methods:

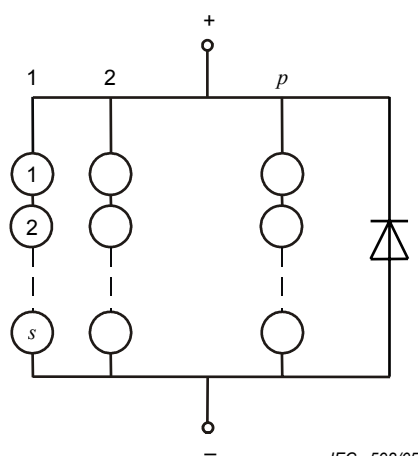


Figure 9 – Case SP: Series-parallel connection