

Phénomène de Hot Spot dans un Module Photovoltaïque Partiellement Masqué

L. Kemmouche, M. Marir et B. Marir

Laboratoire d'Etude de Matériaux et de composants Electroniques, Université Mentouri Constantine, Algérie
E-mail: mbmar5@hotmail.com

Résumé – Lors des applications photovoltaïques, on peut observer des dissipations thermiques localisées qui peuvent impliquer des pannes permanentes, pouvant être généralisées à une chaîne ou à tout le générateur. L'origine de cette dissipation thermique, est le plus souvent due soit à une dispersion des paramètres physiques ou électriques des cellules lors du tri avant l'assemblage, mais ceci peut être contrôlé aisément. Soit à une occultation ou un endommagement accidentelle du panneau ce qui est imprévisible. De nombreuses méthodes existent dans la littérature en vue de la protection des modules constituant le générateur, mais le plus souvent elles sont complexes et/ou coûteuses. A partir d'un modèle analytique nous proposons dans cet article une délimitation numérique d'une zone de fonctionnement sûre, par l'utilisation d'une batterie, ce qui constitue une prévention non onéreuse et de qualité

Abstract – The main advantage of the proposed idea is the analytical determination versus all electrical parameters of cell of power loss, operating cell, dissipated power that it reduced the partial shadowing problems without any extra costs because no diodes are required. On the other hand the hot spot problem is strongly extenuate using such idea it is shown later. The disadvantage of such concept is that it induces low voltage and high current modules.

Mots clés: Hot spot – Dissipation thermique – Protection – Tension inverse.

1. INTRODUCTION

L'énergie solaire transformée par les panneaux solaires est proportionnelle à la surface de captation. Pour obtenir une tension facilement utilisable les photopiles doivent être connectées en série ou séries parallèles [1, 2, 3]. Il est extrêmement important d'éviter la détérioration ou la dispersion des paramètres durant l'assemblage.

La cellule solaire aux performances électriques les plus faibles impose son courant de court-circuit dans le montage série et sa tension de circuit ouvert dans le montage parallèle. Dans les conditions de court circuit, lorsqu'une cellule est défectueuse la tension à ses bornes s'inverse elle devient égale et opposée à la tension des autres cellules en série. Cette dernière va constituer une charge par rapport aux autres cellules et va être le siège d'une dissipation thermique relativement élevée constituant ce qu'on appelle communément le phénomène de points chauds [1, 4, 5].

Pour limiter la dissipation de puissance il existe de nombreuses solutions, la première consiste à placer des diodes de protection de polarisation inverse, en parallèle sur chaque photopile, cette solution pose des problèmes lors de l'encapsulation [1, 6, 7]. Une autre méthode a le même principe que la première, excepté le fait que la diode polarisée en inverse est intégrée dans la cellule solaire durant sa fabrication. Cette méthode est très efficace mais relativement coûteuse car elle introduit des étapes supplémentaires lors de la conception.

Dans cet article nous proposons Une solution simple assez efficace et pas coûteuse il s'agit de s'assurer que le panneau est toujours en parallèle avec une tension source, qui impose par sa tension nominale, une réduction de la tension qui conduit le courant à travers les cellules défectueuses.

2. DETERMINATION NUMERIQUE DE LA ZONE DE CONTRAINTE THERMIQUE

Comme pour d'autres semi-conducteurs, pour les cellules et les panneaux solaires, il est possible de définir une région limitée par les caractéristiques du système et les caractéristiques fonctionnelles à l'intérieur de laquelle les systèmes peuvent fonctionner en sécurité. A l'extérieur des limites de cette zone de sécurité (safe operating area : S.O.A.R.) le fonctionnement peut endommager ou détruire définitivement le système.

Pour définir la SOAR, on doit connaître la puissance maximale absolue pour les cellules individuelles, le panneau, et le cas le plus défavorable des conditions de fonctionnement. La température de la jonction d'une cellule individuelle peut être élevée avant que sa structure ne soit endommagée, néanmoins, la température de la jonction n'est pas un facteur limitant dans le cas d'un panneau solaire. Si la température d'une cellule excède 85° où diffère beaucoup de celle de ses voisines, les composants de la cellule peuvent être tendus ou partiellement décomposés. Cette détérioration est irréversible[8].

Le fonctionnement d'une cellule solaire étant exprimé par une équation non linéaire en I(V) nécessitant une résolution numérique [5].

$$I = -I_{sc} + I_s \exp(q(v+R_s I)/kT)$$

Le module est constitué de trente six cellules connectées en séries et en court circuit, dont la caractéristique I (V) est déduite du modèle relatif à une seule cellule.

Pour illustrer le phénomène d'occultation, on a pris parmi les trente six cellules une seule cellule exposée à différents degrés d'ombre. La tension totale est donnée par :

$$V_{tot} = \sum_{i=1}^n V_i = 0 \quad (1)$$

V_i : Tension délivrée par une seule cellule.

Un courant I, proportionnel à l'irradiation traverse les cellules. On suppose que les cellules sont identiques et éclairées uniformément (8):

$$V_i = \frac{V_{tot}}{n} = 0 \quad (2)$$

et la dissipation dans la cellule occultée sera nulle néanmoins, ces circonstances idéales s'appliquent rarement. Si une cellule donnée, produit un courant de court-circuit $I_{sc} > I$ alors $V_i > 0$, Si $I_{sc} < I$, alors $V_i < 0$. Ceci arrive lorsque une cellule est partiellement masquée. Ainsi, quand $V_i < 0$ (tension inverse) $P_i > 0$ la cellule échauffera (10). Dans ce cas défavorable lorsque toutes les cellules excepté une, sont masquées la cellule éclairée sera incapable de forcer un courant significatif à travers les cellules masquées. Notre modèle est constitué d'un module de trente six cellules connectées en série. Le module débite alors sur court-circuit et sa tension de fonctionnement est:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{36} = 0 \quad (3)$$

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots = -V_{36} \quad (4)$$

Si l'une des cellules (par exemple n° 36) a son I_{cc} quelque peu inférieur du fait d'un masquage partiel. Dans ce cas La cellule 36 peut supporter une tension inverse V_{36} supérieure à 14V La tension optimale des 36 cellules (module) à 28°C est:

$$V_{optm} = V_{opt} \times 36 \quad (5)$$

V_{optf} est la tension de fonctionnement des 36cellules à $T_j = 60^\circ\text{C}$.

$$\Delta T = t_{ae} - t_a \quad (6)$$

t_{ae} : température de jonction= 60°C. t_a : température ambiante =28°C.

$$V_{optf} = V_{optm}(28^\circ\text{C}) - \Delta T \times 2.3 \times 36 \quad (7)$$

[mv] [mv] [mv]

La cellule n° 36 peut supporter une tension inverse V_{36} supérieur à 14V et la puissance dissipée peut atteindre :

$$P_{36} \approx V_{optf} \times I_{opt} \quad (8)$$

C'est-à-dire la puissance nominale du module à $T_j = 60^\circ\text{C}$. La puissance normalement reçue sous irradiation solaire de $1\text{kw}/\text{m}^2$ est :

$$P_{reçu} = \frac{P_{débité}}{\text{rendement}\eta} \quad (9)$$

$$Pr(m) = P_{dis} \times 100 / \eta \quad (10)$$

La puissance reçue par chaque cellule sous AM1 est $Pr(c)$:

$$Pr(c) = \frac{pr(m)}{36} \quad (11)$$

Bilan thermique :

Le coefficient de réflexion de la couche anti- relet (I.T.O) étant égal à 5% et la conversion électrique égale à (11.14%) [9] alors :

La puissance n'échauffant pas la jonction est $Pn(c)$:

$$Pn(c) = Pr(c)a + Pr(c)b \quad (12)$$

$$Pr(c)a = pr(c) \times 5/100 \quad (13)$$

$$Pr(c)b = pr(c) \times 11.14/100 \quad (14)$$

La puissance dissipée par la cellule lors du bilan thermique c'est la différence entre la puissance reçue et la puissance qui ne chauffe pas la cellule [9] :

$$P_{diss} = pr(c) - Pn(c) \quad (15)$$

La puissance (Δp) accrue lors de l'élévation de température de 60° de la jonction jusqu'à 85° qui est la température limite [9]. On utilise une résistance thermique

$$\Delta T = 80^\circ - 60^\circ = 25^\circ \quad (16)$$

$$P_{36c} = P_{35c} + \Delta p \quad (17)$$

Le lieu des points de puissance maximale du module en fonction de l'éclairement étant une droite d'abscisse $V=14$ V, la zone de contrainte thermique est délimitée par [9] :

$$V(j) = 14 - \frac{\Delta p}{I(j)} \quad (18)$$

En pratique, cette zone de contrainte est considérablement plus réduite et une incursion brève de quelques minutes est tolérée jusqu'à $V=0$. Toutefois, si le court-circuit permanent d'un module n'est pas autorisé et il faut retenir que la pénétration dans la zone de contrainte thermique est d'autant plus préjudiciable à la durée de vie du module qu'elle est profonde et prolongée [9]. Il faut bien préciser les tensions sous lesquelles il ne faut pas descendre pour éviter de pénétrer dans la zone de contrainte thermique. Dissipation maximale permise pour une cellule qui est considérée comme la puissance reçue pendant une insolation de 1 kW/m^2 , reçoit un maximum de P_{diss} comme indiqué sur l'équation [15] qui est la valeur de sécurité.

Les autres cellules délivrent dans la cellule occultée une très grande puissance par rapport à cette valeur. On doit donc trouver un moyen pour limiter la dissipation dans une cellule masquée. Il s'agit de la protection par une deuxième batterie placée comme charge. Lorsque les panneaux solaires sont utilisés pour charger une seconde batterie, un certain degré de protection est automatiquement exigé, l'accumulateur agissant comme une source de tension effective. Une protection complète nécessite une certaine tension minimale de batterie V_{bmin} qui dépend de l'insolation et du degré d'occultation de la cellule. Lorsque le courant prend une valeur I la tension de polarisation inverse doit être réduite à la valeur suivante [8]:

$$V_R = \frac{P_{diss}}{I} \quad (19)$$

Pour éviter l'excès de la dissipation, cela signifie que V_{bmin} doit être au moins de $V_F - V_R$. V_F est la tension en fonctionnement normale du panneau

3. ANALYSE DES RESULTATS

A partir de la simulation réalisée de notre modèle mathématique d'une cellule solaire, par la méthode de dichotomie, nous obtenons la caractéristique courant-tension comme indiquée sur la figure 1.

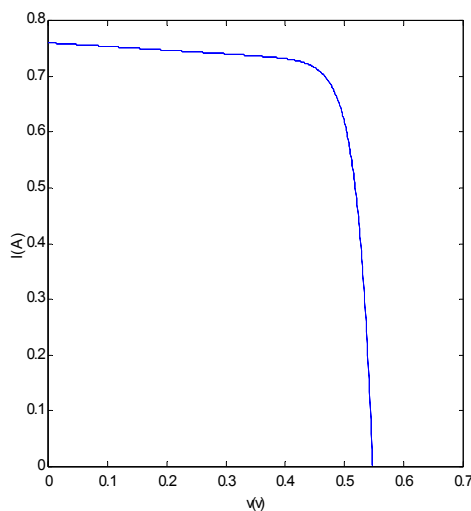


Fig. 1: Caractéristique courant- tension d'une cellule solaire

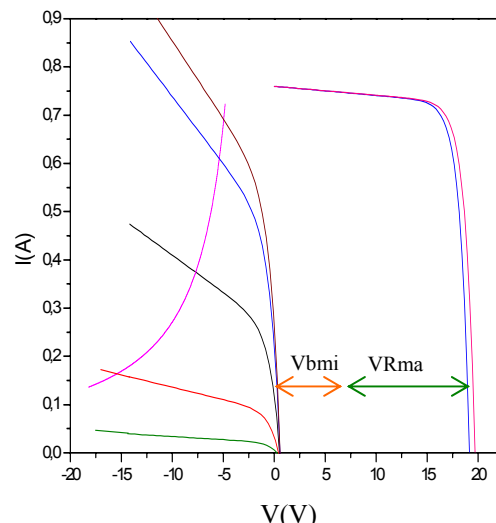


Fig. 2: Caractéristique courant – tension de 36 cellules, une cellule occultée et la puissance dissipée maximale.

Cette dernière nous renseigne complètement sur :

- le comportement d'une cellule solaire éclairée autant qu'un générateur .
- elle retrace la relation entre la tension à ses bornes et l'intensité qu'elle débite

Dans le cas de notre modèle, il est constitué d'un module de 36 cellules, dont la caractéristique courant-tension est déduite du modèle relatif à une seule cellule étudiée précédemment, sachant que le courant reste

constant et la tension égale à la somme des tensions délivrées par chacune des trente six cellules, et si une de ces cellules occultée et polarisée en inverse, la caractéristique courant tension de la cellule occultée devient $I(-V)$, pour savoir les différents degrés d'ombre on a fait varier la surface éclairée de la cellule ce qui influe directement sur le photo- courant I_{ph} . sa caractéristique nous renseigne sur le comportement de la cellule occultée autant qu'un récepteur [11]. A partir de la courbe de puissance dissipée maximale Comme le montre la figure Fig . 2. En construisant les points V_b intermédiaire sur cette Figure on obtient la figure Fig. 3 .

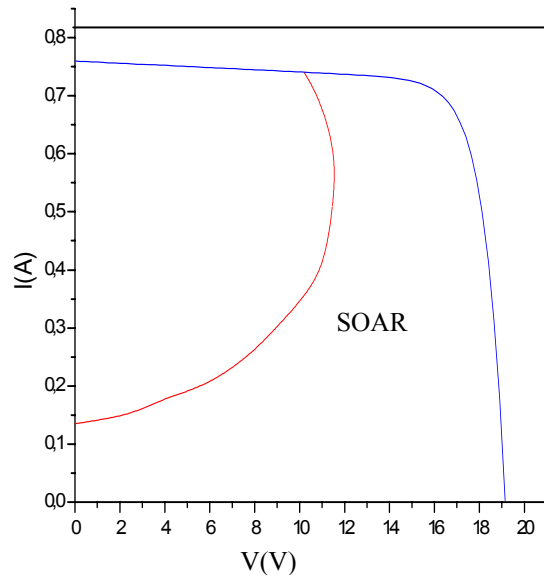


Fig. 3: Délimitation de la zone de contrainte thermique

4. CONCLUSION

La cellule occultée peut subir une tension inverse trop élevée ou être traversées par un courant trop important il peut résulter des dégradations irréversibles pouvant entraîner la destruction de toute une station. Donc l'occultation est un phénomène tout à fait aléatoire, la puissance dissipée représente l'inconvénient majeur. La protection des photopiles contre les tension inverse trop importante par la délimitation numérique d'une zone de contrainte thermique. En pratique la pénétration dans cette zone est d'autant plus préjudiciable à la durée de vie du module qu'elle est profonde et prolongée.

Le principal avantage de l'idée proposée est la protection du module photovoltaïque par une méthode plus simple que la protection par des diodes, et pas coûteuse du tout, puisque elle ne nécessite ni investissement supplémentaire ni technologie nouvelle.

REFERENCES

- [1] Marc Orgeret, " Les piles solaires", paris. 1985.
- [2] Publication Photowatt O.N.A.104.
- [3] A. Labouret, P. Cumunel, J. Paul Braun et B. Faraggi, " Cellules solaires, les bases de l'énergie photovoltaïque", Dunod, paris.2001.
- [4] C. H. Cox,III, D. J. Silversmith and R.W. Mountain., "Reduction of photovoltaic cell reverse breakdown by a peripheral by pass diode" Sixteenth IEEE photovoltaic specialists conference 1982.
- [5] Rauschenbach and E.E. Mauder., "Breakdown phenomena in reverse biased silicon solar cells", proceeding 9th photovoltaic specialists conference 1972.
- [6] Mohamed Sayeh and Larry Partain., "Effect of shading on Cds / CUxS: Solar cell and optimal solar array desing » Energie conversion vol. 14 pp 61 -71.
- [7] M. S. Swaleh and M. A. Green., "Effect of shunt resistance and by pass diodes on the shadow tolerance of solar cell modules" 1982 pp 183-198.
- [8] H. R. Dijkstra and C. Franck, "Solar panels for terrestrial application", Technical information 052.
- [9] Rapport interne du LEP Phillips édité par Photowatt.1981.
- [10] A. Laugier et J.Alain Roger., "Les photopiles solaires", Technique et documentation paris. 1981.
- [11] L. Kemmouche et al, "Phénomène de hot spot dans un module photovoltaïque partiellement masqué", ICPWE, (20 22 Décembre 2003, Tlemcen