



L'Université d'Adrar Organise: Des Journées
Portes Ouvertes sur la Recherche Scientifique
29 - 30 Mai 2013



Modélisation d'un module photovoltaïque sous Matlab Simulink

A .Belfedhal Post graduant Magistère en Modélisation et simulation de systèmes énergétiques Université Ahmed Draïa Adrar (www.hamza_hamani@yahoo.fr)

Pr A. Benatallah : Directeur de laboratoire LEESI Université Ahmed Draïa Adrar

Résumé : Ce travail présente le modèle électrique du module photovoltaïque dit à une diode. Il nous permet l'étude du comportement du générateur PV lors de la variation de la température et de l'ensoleillement. Un programme de calcul sous Matlab est élaboré pour tracer les différentes caractéristiques et de comparer les résultats obtenus avec ceux donnés par le constructeur du module photovoltaïque.

I. Introduction

Le recours aux énergies renouvelables se présente comme une alternative aux sources d'origine fossile pour satisfaire nos besoins en énergie électrique. En effet, vu l'importance de l'intensité du rayonnement moyen reçu au sud algérien (de 05 à 07 KW/m²/jour) ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir certains de ses besoins en énergie solaire. Ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées. Même avec un capteur de 10% de rendement, l'énergie récupérée est trop importante. L'emploi de la technologie photovoltaïque pour la génération de l'énergie électrique, s'avère un terrain propice, ce qui plaide en faveur du développement des systèmes à sources d'énergies solaires.

II. Principe de fonctionnement d'une cellule PV

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance. Elle convertit l'énergie incidente que transportent les photons de la lumière lorsqu'ils heurtent le matériau semi-conducteur convenablement traité, en énergie électrique. La structure de base de la cellule est une jonction PN. Un cristal semi-conducteur dopé P est recouvert d'une zone mince dopée N qui est couverte par une grille métallique et qui sert de cathode. Une autre plaque métallique recouvre l'autre face du cristal (le contact arrière) et joue le rôle de l'anode. Lorsque l'énergie du rayonnement ($h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ où c est la célérité de la lumière, λ la longueur d'onde et h la constante de Planck) est supérieure ou égale à celle associée à la bande interdite (E_g de Gap) du semi-conducteur qui sépare la bande de valence et la bande de conduction, des paires électron-trou sont créés dans la zone de déplétion. Sous l'effet du champ électrique E qui règne dans cette zone, les porteurs libres sont drainés vers les contacts métalliques des régions P et N. Il en résulte un courant électrique et

une différence de potentiel (de 0.6 à 0.8 V) supportée entre les électrodes de la cellule PV.[1]

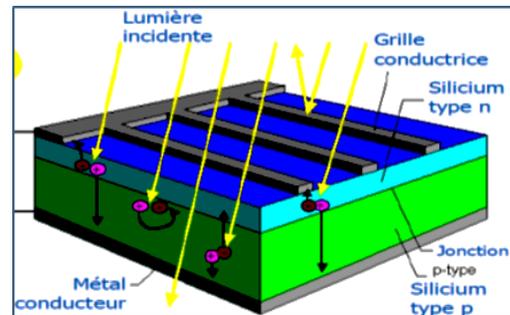


Fig 01 : Structure d'une cellule photovoltaïque

III. Modélisation d'un module PV

Le modèle d'une cellule à une diode est caractérisé par son schéma électrique équivalent (Fig.2). La source de courant modélise la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique, la résistance shunt R_{sh} représente l'état de la surface à la périphérie de la cellule, la résistance série R_s correspond aux diverses résistances de contact et de connexion réalisées sur une cellule et la diode en parallèle modélise la jonction PN. Les deux résistances représentent les différentes pertes au niveau d'une cellule.

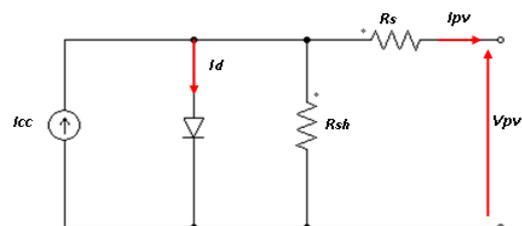


Fig 02 : Modèle à une diode d'une cellule PV

Le modèle dit à une diode a l'avantage d'être simple. Il permet d'obtenir le comportement statique d'une cellule PV sous polarisation. A partir du circuit équivalent, le courant généré par la cellule photovoltaïque est:

$$I_{PV} = I_{cc} - I_d - I_{Rsh} \quad (1)$$

avec I_{cc} est le courant de court-circuit, il est proportionnel à l'éclairement.

I_d est le courant circulant dans la diode idéale D polarisée par la tension V_d . Il peut être exprimé

$$\text{par : } I_d = I_s \left[\exp\left(\frac{qV_d}{\eta KT}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

.où

q : La charge de l'électron ($1,602 \times 10^{-19}$ C).

η : Le facteur d'idéalité de la jonction. Il est compris entre 1 et 2, selon le type du silicium.

T : La température effective de la jonction (en Kelvin).

K : La constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/K).

L'équation du courant généré par la cellule photovoltaïque devient :

$$I_{PV} = I_{cc} - I_s \left[\exp\left(\frac{V_{PV} + (R_s \times I_{PV})}{\eta V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + (R_s \times I_{PV})}{R_{sh}} \quad (3)$$

Avec $V_T = \frac{KT}{q}$ le potentiel thermodynamique.[2]

I_{cc} est le courant de court-circuit, il est proportionnel à l'éclairement.

$$I_{cc/E} = I_{cc/Eréf} \left(\frac{E}{E_{réf}} \right)$$

(4)

Où $E_{réf}$ est l'éclairement nominal de $1000\text{W}/\text{m}^2$.

$$I_{s/T} = I_{s/Tréf} \left(\frac{T}{T_{réf}} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot \exp\left(\frac{-qE_g}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{réf}} \right)\right)$$

Pour une valeur de température T donnée, il s'exprime par :

$$I_{cc/T} = I_{cc/Tréf} \left[1 + a(T - T_{réf}) \right] \quad (5)$$

Avec : $I_{cc/Tréf}$ à la température de référence ($T_{réf}=298\text{K}=25^\circ\text{C}$) est une donnée du constructeur, mesurée sous un éclairement $E=1000\text{W}/\text{m}^2$. Le coefficient a est un pourcentage de I_{cc} , il donne la variation du courant I_{cc} pour une variation de un degré de température (donnée du constructeur).

Le calcul du courant de saturation I_s en fonction de la température se fait par :

(6)

Avec n le facteur d'idéalité de la diode (compris entre 1 et 2)

R_s Représente les diverses résistances des contacts métalliques et de connexion. Elle est très faible. Lorsqu'elle est anormalement élevée, elle peut diminuer notablement la valeur du courant de court-circuit. Pour qu'une cellule ait 1% de perte due à la résistance série, R_s doit être inférieure à : [3]

$$R_s < \left(\frac{0.01 \cdot V_{oc}}{I_{cc}} \right)$$

Ce qui donne pour une large cellule de $I_{cc}=5\text{A}$ et $V_{oc}=0.6\text{V}$, R_s ne doit pas dépasser 0.0012Ω

R_{sh} Caractérise les divers courants de fuite dus à la diode et aux effets de bords de la jonction.

Elle est très importante (de l'ordre du mégohm). Une résistance shunt faible aura un impact la tension du circuit ouvert ; en outre, une cellule dont R_{sh} est trop faible ne donnera plus de tension sous faible éclairement.

Pour qu'une cellule ait 1% de perte due à la résistance parallèle ; R_{sh} doit être supérieure

$$R_{sh} > \left(\frac{100 \cdot V_{oc}}{I_{cc}} \right)$$

Ce qui donne pour une large cellule de $I_{cc}=5\text{A}$ et $V_{oc}=0.6\text{V}$, R_{sh} doit être supérieure à 12Ω .

La variation de la température se traduit au total par une variation relative de la puissance disponible. Il existe des formules empiriques qui expriment la température de la cellule photovoltaïque en fonction de la température ambiante et l'ensoleillement telles que :

$$T_{cell} = T_a + \left(\frac{NOCT - 20^\circ}{0.8} \right) \cdot E$$

Avec : Température $NOCT$ d'utilisation de la cellule « Nominal Operating Cell Temperature ». Elle est donnée par le constructeur

L'ensemble des équations (2 à 7) a été introduit dans un programme Matlab pour calculer le courant généré par un module photovoltaïque, en considérant la résistance parallèle R_{sh} assez grande.

Afin de tester la validité du programme, les caractéristiques obtenues sont comparées à celles données par le constructeur.

Le modèle choisi est celui du panneau photovoltaïque BP 585 Saturn de chez BP Solaire. Ce module fournit une puissance photovoltaïque rentable destinée à un usage général pour exploitation directe des charges à courant continu, ou des charges à courant alternatif sur des systèmes munis d'onduleurs [4]. Il se compose de 36 cellules photovoltaïques multi cristallines en silicium, connectées en série pour produire une puissance maximale de 85 W dans les conditions standard ($E = 1000 \text{ W/m}^2$ et $T_a = 25^\circ\text{C}$).

Les caractéristiques du module BP 585 sont données dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques du Module type BP 585		
I_{cc}	courant de court-circuit	5 A
V_{oc}	tension à circuit ouvert	22.1 V
I_{opt}	courant au point MPP	4.72 A
V_{opt}	tension au point MPP	18 V
P_{opt}	Puissance maximale	85 W (25°C)
n_s	Nombre de cellules en série	36
	Coefficient de température de I_{cc}	(0.065 ± 0.015)% /°C
	Coefficient de température de V_{oc}	(80 ± 10) mV%/°C
	NOCT	47 ± 2 °C
	Dimensions (mm)	1197 X 530 X 18

IV. Résultats

- **Effet de la variation de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$**

D'après les caractéristiques $I_{pv}(V_{pv})$ obtenues pour différents ensoleillements, de fortes variations de l'ensoleillement provoquent des variations relativement importantes du courant optimal. Alors que la tension optimale correspondante varie peu dans une plage étroite.

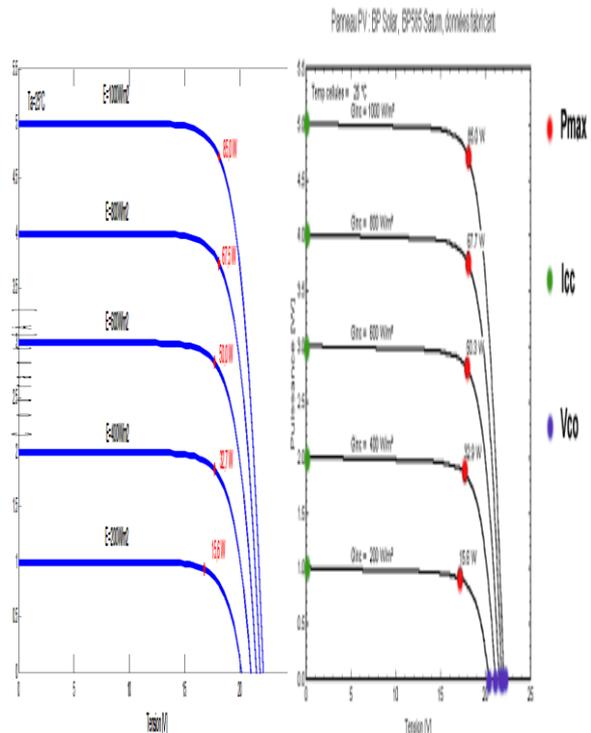


Fig 03 : Effet de la variation de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$

- **Effet de la variation de la température sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$**

La température est un paramètre important dans l'étude de comportement du module photovoltaïque. Plus la température de cellules augmente plus les performances électriques du module se dégradent.

L'augmentation de la température s'accompagne par une légère augmentation du courant de court-circuit, notamment à cause de la diminution de la largeur de la bande interdite. On assiste en même temps à une hausse du courant direct des diodes, entraînant une diminution nette de la tension du circuit ouvert comme le montre la figure 04

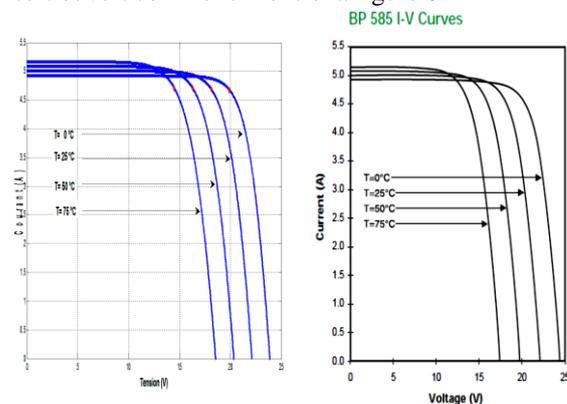


Fig 04 : Effet de la variation de la

V. Conclusion

Le modèle électrique à une diode du module photovoltaïque est le plus utilisé en littérature, il permet d'obtenir le comportement statique de la cellule photovoltaïque et de reproduire d'une façon satisfaisante les principales caractéristiques comme le montre les figures 3 et 4.

VI. Références bibliographiques

[1] **Abdelhak Aziz:** «*Propriétés électriques des composants électroniques minéraux et Organiques, Conception et modélisation d'une chaîne photovoltaïque pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire* ».Thèse Doctorale, 28/11/2006, Toulouse III.

[2]**Corinne Alonso:**« *Contribution à l'optimisation la gestion et le traitement de l'énergie*». Mémoire en vue de l'obtention de l'habilitation de diriger les recherches. 12 /12/ 2003.

[3] **Gilbert M. Masters:** « *Renewable and Efficient Electric Power Systems* ».

[4] **BP Solar :** « *Electricité Photovoltaïque. Module BP 585 Saturn* » 2003-2007 BP Solar
| <http://www.bpsolar.com/> | <http://www.bp-france.com/>