

Cellule Solaire : Modèle Spice (suite)

I.U.T. de Nîmes
giamarchi@iut-nimes.fr

Le précédent document introduisait le concept de modèle mathématique d'une cellule solaire dans le but de permettre sa simulation dans un environnement de type Pspice. Ce document complète la procédure pour écrire le modèle Spice en introduisant plus de paramètres

I. Introduction

Nous souhaitons améliorer le modèle Spice d'une cellule solaire. Il s'agit essentiellement de préciser les paramètres de la diode et de la résistance série R_s .

Le courant de court-circuit I_{cc} est parfaitement défini par un générateur de courant, mais il est intéressant de le rendre dépendant de la quantité de lumière reçue. De même, la résistance de fuite R_p est suffisamment élevée pour ne pas nécessiter de calculs complémentaires.

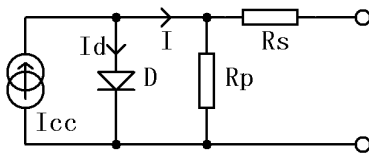


Figure 1 : schéma équivalent simplifié

II. Modèle mathématique

Précédemment [1], nous avons pu constater que le courant d'une cellule solaire est la différence entre un courant I_{cc} proportionnel à la quantité de photons reçus par la cellule et le courant I_d d'une jonction non éclairée [2] :

$$I = I_{cc} - I_D \quad -1-$$

Connaissant l'équation d'une diode, on en déduit l'expression du courant fourni par une cellule solaire :

$$I = I_{cc} - I_s \left[\exp\left(\frac{e \cdot V}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad -2-$$

Is est le courant de saturation (courant inverse de la jonction), e est la charge de l'électron, n est un facteur d'idéalité, k est la constante de Boltzmann et T est la température (en °K).

$$T(^{\circ}K) = 273 + T(^{\circ}C)$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / } ^{\circ}K$$

On exprime l'expression suivante par le potentiel thermodynamique à une température donnée :

$$V_T = \frac{k \cdot T}{e} = 25,88 \text{ mV (à } 300^{\circ}K) \quad -3-$$

III. Paramètres de la diode

La diode est caractérisée par son courant de saturation et son facteur d'idéalité.

□ Courant de saturation

Le courant de saturation de la diode interne d'une cellule solaire peut être assez bien estimé à l'aide de la formule 2. En effet, lorsque la cellule solaire est en circuit ouvert, le courant s'annule. Tout le courant fourni par le générateur de courant est compensé par la diode interne. On peut donc écrire, après simplification :

$$I_{cc} = I_s \exp\left(\frac{V_{co}}{n \cdot V_T}\right) \quad -4-$$

On en déduit l'expression du courant de saturation :

$$I_s = \frac{I_{cc}}{\exp\left(\frac{V_{co}}{n \cdot V_T}\right)} \quad -5-$$

La tension V_{co} (circuit ouvert) est donnée par le fabricant ou mesurée par des relevés sous un éclairage 1000 W/m^2 . Le potentiel thermodynamique V_T est calculé à 300 K . Le facteur d'idéalité n est compris entre 1 et 2 :

$$1 \leq n \leq 2$$

□ Facteur d'idéalité

Le facteur d'idéalité est égal à 1 pour une diode idéale, mais peut monter jusqu'à 2, lors de la prise en compte du courant de génération – recombinaison.

L'expression de n est obtenue en dérivant le logarithme népérien de I par rapport à V.

$$n = \frac{1}{V_T} \cdot \frac{dV}{d \ln(I)} \quad -6-$$

On relèvera des écarts de tension et de courant dans la partie proche de V_{co} qui est une droite, après avoir converti l'échelle de courant en logarithme.

Ce résultat n'étant pas évident à calculer, on peut dans une première approximation laisser ce facteur à 1.

IV. Résistance série

La résistance série dans une cellule solaire est due aux contacts entre les semi-conducteurs et les parties métalliques permettant d'utiliser la cellule.

En faisant intervenir cette résistance dans l'équation de la cellule solaire, on obtient :

$$I = I_{CC} - I_s \exp\left(\frac{V + R.I}{n.V_T}\right) \quad -7-$$

Pour calculer ce paramètre, il est nécessaire de disposer d'un couple de valeurs proches de la puissance maximale [3].

On peut alors exprimer la résistance par l'équation suivante :

$$R = \frac{V_T}{I} \cdot \log\left(\frac{I_{CC}}{I \cdot I_s}\right) - \frac{V}{I} \quad -8-$$

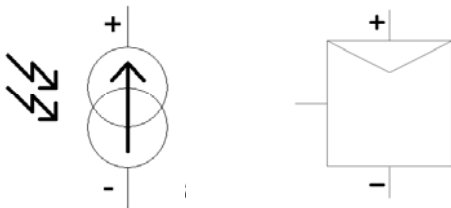
V. Influence de l'ensoleillement

Si l'on modélise une cellule proposée par un fabricant, il est ensuite plus pratique de la paramétrer en puissance irradiante en W/m² qu'en courant de court-circuit. Il est moins intéressant de faire intervenir le rendement d'une cellule ou encore sa surface.

VI. Modèle Spice

Le modèle Spice pour une cellule solaire doit indiquer les bornes de liaison du modèle à son schéma d'application et permettre de paramétrer les grandeurs caractéristiques [4].

- ☐ Symboles pour une cellule et un panneau



Dans la littérature, la cellule solaire est représentée de diverses manières. Nous retiendrons le symbole d'un générateur de courant recevant des photons pour une cellule solaire et un rectangle pour un panneau photovoltaïque. Le symbole de la photodiode est une autre représentation possible.

- ☐ Modèle pour une cellule solaire

```
Macro modèle d'une cellule solaire paramétrable
.subckt solarcell 10 12 params: Icc=1 Rs=0.01 Is=10p
N=1
Isc 10 11 {Icc}
Dsc 11 10 diode
Rsc 10 11 1meg
Rscs 11 12 {Rs}
.model diode d(is={Is},n={N})
```

- ☐ Modèle pour un panneau photovoltaïque

Pour exprimer l'association de plusieurs cellules solaires en série, on joue sur le facteur d'idéalité.

Une fois ce coefficient identifié, il suffit de le multiplier par le nombre de cellule en série afin de simuler un panneau photovoltaïque.

Sur le modèle suivant de panneau photovoltaïque, nous avons ajouté la puissance irradiante en entrée et le calcul du courant de saturation est réalisé en interne, à partir de la tension Vco.

```
Macro modèle d'un panneau paramétrable
.subckt solarpanel 100 102 103 params: Icc=1 Vco =10
Rs=0.01 N=1 Ns=10
Girrad 100 101 value={(v(103)*Icc)/1000}
Dsp 101 100 diode
Rsp 100 101 1meg
RspS 101 102 {Rs}
.model diode d(is={Icc/exp(Vco/(N*Ns*25.88m))},
n={N*Ns})
```

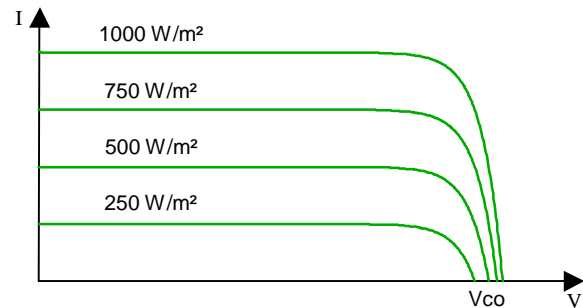


Figure 7 : simulation du panneau pour plusieurs éclaircements

VII. Conclusion

Dans cette fiche, nous avons essayé d'approcher encore un peu mieux le modèle mathématique d'une cellule solaire.

Il nous resterait à faire intervenir la température, ce qui peut être fait assez simplement en jouant sur l'équation de la diode ou plus sérieusement sur les paramètres de la diode modélisée.

Références

[1] Cellule Solaire : Modèle Spice F. Giamarchi
Départ :GE2I IUT de Nîmes
[2] Semi-conducteurs – effet photovoltaïque – 1.
C.E.S.I.R.E. Univ. J.Fourier Grenoble
[3] Diode réelle Ph. Roux
[4] Symbolisation of the electric diagram of the marketed solar panels in the Orcad-Pspice environnement. A. Aziz, K. Kassmi, F. Olivíe, A. Martinez LAAS/CNRS