

Cellule Solaire : Modèle Spice

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

Ce document se propose de vous détailler la procédure pour écrire un modèle mathématique simple et le schéma électronique d'une cellule solaire et d'un panneau photovoltaïque. Le but final étant de créer un modèle Spice permettant une simulation sous Orcad Pspice.

I. Introduction

L'utilisation des cellules solaires comme source d'énergie électrique a fait apparaître le besoin d'étudier ces systèmes afin de les optimiser. Le simulateur est un atout pour étudier et optimiser tous systèmes électriques et les systèmes photovoltaïques ne font pas exception.

En attendant que les fabricants nous fournissent des modèles de type Spice de leurs produits, nous pouvons créer des modèles simplifiés de générateurs photovoltaïques à partir de leurs circuits équivalents.

II. Caractéristiques

La cellule étant chargée par une résistance, lorsque l'on éclaire la jonction PN, on observe l'apparition d'un courant inverse I sous une tension en sens direct V . La jonction fonctionne en photopile, c'est l'effet photovoltaïque.

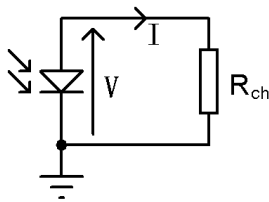


Figure 1 : schéma d'application

La caractéristique d'une jonction PN non éclairée est celle d'une diode. En présence d'un éclairement, cette caractéristique est décalée vers le bas d'un courant I_{cc} (courant de court-circuit) [1]. De même, elle coupe l'axe des abscisses en V_{co} (tension maximale de circuit ouvert). La droite de charge indique le point de fonctionnement.

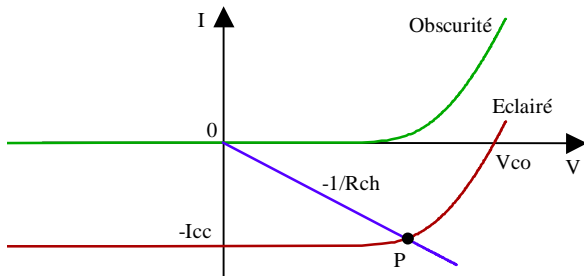


Figure 2 : caractéristique d'une jonction PN non éclairée puis éclairée avec sa droite de charge

Dans la suite et pour des raisons de simplicité, le courant I sera dessiné en sens inverse afin de respecter la convention générateur.

III. Modèle mathématique

A partir de la caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule solaire, nous pouvons considérer 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 :

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

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

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

et l'expression de la tension en circuit ouvert :

$$V_{co} = n \frac{k.T}{e} \ln\left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1\right) \quad -3-$$

I_s 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).

IV. Schéma équivalent simplifié

Pour tenir compte des chutes de tension dans les zones P et N, on doit ajouter une résistance série R_s et pour le courant de fuite, une résistance parallèle R_p dans le schéma équivalent.

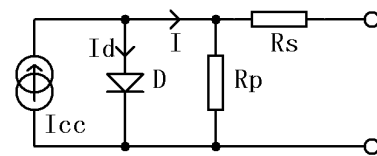


Figure 3 : schéma équivalent simplifié

Les valeurs des paramètres I_{cc} , R_s et R_p sont calculées à partir d'essais effectués sur la cellule à modélisée. On donne à R_p la valeur $1M\Omega$ [2].

On modifie une diode générique Dbreak en changeant son courant de saturation I_s .

V. Modèle Spice

Le logiciel de simulation permet de créer un schéma équivalent ou un macro-modèle, tous deux paramétrables.

□ Symbole hiérarchique et sous-circuit

Lorsque le système étudié est un panneau photovoltaïque comportant quelques cellules solaires

en série, il est plus simple d'associer un symbole hiérarchique à la cellule solaire, puis d'assembler ces symboles en série pour former un nouveau symbole représentant le panneau photovoltaïque.

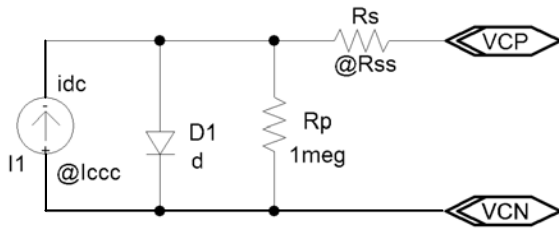


Figure 4 : schéma d'une cellule paramétrable

Les paramètres I_{cc} , R_{ss} sont précédés du caractère @ indiquant que leurs valeurs seront données au niveau supérieur.

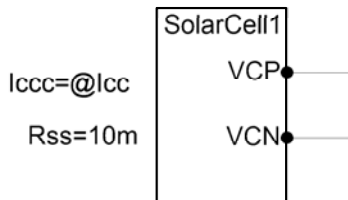


Figure 5 : symbole d'une cellule paramétrable

La valeur des paramètres internes est précisée à la création du symbole, tel que la résistance série, ou encore paramétrable pour le niveau encore supérieur.

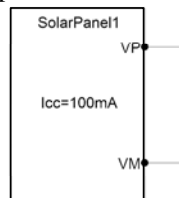


Figure 6 : symbole d'un panneau paramétré

Le symbole du panneau photovoltaïque représente le module final contenant les cellules solaires reliées en série. Le courant de court-circuit proportionnel à l'éclairement est le seul paramètre disponible au final.

□ **Macro-modèle et sa librairie**

La création d'une librairie permet de définir plusieurs types de cellules solaires et autres panneaux photovoltaïques L'écriture d'un modèle Spice pour une cellule solaire, est moins évidente à écrire, mais plus simple à utiliser ensuite.

```
Macro modèle d'une cellule solaire paramétrable
.subckt solarcell 10 12 params: Icc=100m Rs=0.01
Is=10p ns=7
Isc 10 11 {Icc}
Dsc 11 10 diode
Rscp 10 11 1meg
Rscs 11 12 {Rs}
.model diode d(is={Is},n={ns})
```

Le facteur d'idéalité n peut être utilisé pour définir un nombre de cellule en série dans le cas d'une simulation de panneau photovoltaïque. Dans le cas présent, nous simulons un module comportant 7 cellules en série.

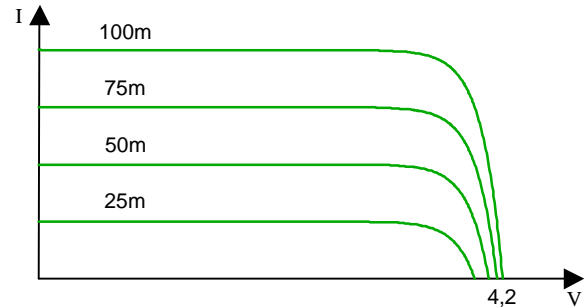


Figure 7 : simulation du panneau pour plusieurs éclaircements

La création d'une librairie permet de définir des cellules solaires plus ou moins complexes, de créer des modèles pour des cellules du commerce ainsi que pour des panneaux photovoltaïques.

VI. Paramètres

Les paramètres que nous pouvons définir, ne définissent pas entièrement le modèle d'une cellule solaire, mais s'en approchent. Un aspect très important que nous n'avons pas abordé est l'effet de la température. Une augmentation de la température diminue la tension de la cellule.

Si l'on modélise une cellule proposée par un fabricant, il est ensuite plus pratique de la paramétrer en puissance irradiante en W/m^2 qu'en courant de court-circuit. On peut aussi imaginer faire intervenir le rendement d'une cellule ou encore sa surface.

VII. Conclusion

En attendant que les fondeurs de cellules solaires adoptent la norme Spice, nous pouvons dès à présent en quantifier quelques paramètres. Cette démarche est indispensable pour optimiser les systèmes photovoltaïques, dont chaque watt gagné nous éloigne de notre dépendance envers les énergies fossiles.

Références

[1] Semi-conducteurs – effet photovoltaïque – 1. C.E.S.I.R.E. Univ. J.Fourier Grenoble
 [2] Symbolisation of the electric diagram of the marketed solar panels in the Orcad-Pspice environnement. A. Aziz, K. Kassmi, F. Olivíé, A. Martinez