

3 CARACTERÍSTICA ELÈCTRICA D'UNA CÈL·LULA SOLAR

Resum. En aquest treball es mesuraran les característiques $I(V)$ d'una cèl·lula solar de silici en fosc i en presència d'il·luminació. Per a la mesura amb il·luminació s'utilitzarà simplement una resistència de càrrega variable, la qual cosa és suficient per obtenir els punts en el quadrant de generació (quan la cèl·lula solar actua com a generador). S'estudiarà també la connexió sèrie-paral·lel de cèl·lules solars, comprovant l'efecte en la tensió en circuit obert i el corrent de curtcircuit. Per explicar el comportament de la cèl·lula solar s'utilitzarà el circuit equivalent basat en un díode en paral·lel amb un generador de corrent.

3.1 Fonament

Una cèl·lula solar és un dispositiu electrònic que permet transformar directament l'energia lluminosa en energia elèctrica. Bàsicament consisteix en un díode semiconductor que, en ser il·luminat, produeix un voltatge i/o corrent en el circuit exterior. Això és possible gràcies a l'existència d'un camp elèctric permanent en la unió pn del díode. Els parells electró-forat generats per l'absorció dels fotons són separats per aquest camp, provocant una diferència de potencial entre les zones p i n del díode. Aquesta diferència de potencial genera un corrent en connectar una resistència R (resistència de càrrega) entre els terminals de la cèl·lula.

Si els terminals estan desconnectats (resistència de càrrega infinita) el corrent que circula és 0 i la diferència de potencial és màxima (tensió en circuit obert, V_{OC}). Si es connecten directament els terminals de la cèl·lula solar, la diferència de potencial és 0 i el corrent és màxim (corrent de curtcircuit, I_{SC}). Per a resistències de càrrega intermitges, el voltatge pren un valor V comprès entre 0 i V_{OC} , i el corrent un valor entre 0 i I_{SC} . El punt de treball de la cèl·lula està determinat per la intersecció entre la corba $I(V)$ de la cèl·lula i la recta $I = V/R$ de la resistència de càrrega.

En la figura 1 es mostra la característica $I(V)$ d'una cèl·lula solar. S'hi indica el punt de treball òptim (V_M, I_M), és a dir, el punt en el qual la potència subministrada per la cèl·lula ($P = VI$) és màxima. Observeu que en aquest cas l'àrea ($V_M \cdot I_M$) del rectangle inscrit en la característica $I(V)$ és màxim. El factor de forma, FF , es defineix com el quocient entre la potència màxima i el producte $V_{OC} \cdot I_{SC}$, i s'utilitza com a paràmetre indicador de la qualitat del dispositiu ($FF \leq 1$, interessa que el seu valor sigui proper a 1):

$$FF = \frac{V_M \cdot I_M}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (1)$$

3.1.1 Circuit equivalent d'una cèl·lula solar

En fosc el comportament de la cèl·lula és el d'un díode:

$$I_D(V) = I_0 (e^{eV/nk_B T} - 1) \quad (2)$$

on I_0 és el corrent invers de saturació, n el factor d'idealitat (entre 1 i 2), k_B és la constant de Boltzmann i T la temperatura en Kelvin.

La il·luminació produeix un fotocorrent ($= I_{SC}$) proporcional a la intensitat de la il·luminació (al nombre de fotons incident) i, en principi, independent de la diferència de potencial. Aquest comportament és el d'un generador de corrent ideal¹. La característica $I(V)$ pot aproximar-se per la superposició del fotocorrent I_{SC} creat per aquest generador i el corrent de díode en foscor:

$$I(V) = I_{SC} - I_D(V) \quad (3)$$

De l'equació (3) es dedueix el circuit equivalent d'una cèl·lula solar: un generador de corrent en

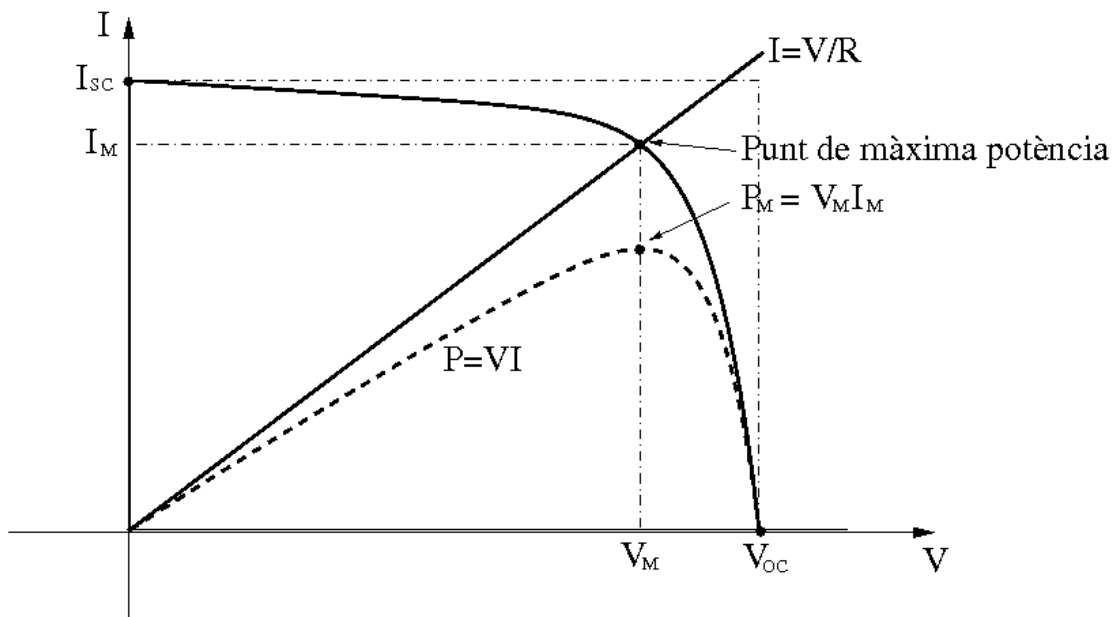


Figura 1: Característiques $I(V)$ d'una cèl·lula solar i de la resistència de càrrega (recta de pendent $1/R$). La línia discontinua indica la potència subministrada per la cèl·lula.

paral·lel amb un díode (veure figures 2 i 3). En foscor, el corrent del generador és 0 i només contribueix el corrent del díode al corrent total: $I(V) = -I_D(V)$. Sota il·luminació el corrent I_{SC} del generador és diferent de 0 i cal sumar-lo al corrent del díode per obtenir el corrent total. La característica $I(V)$ d'una cèl·lula solar és, de fet, la d'un díode desplaçada una quantitat igual a I_{SC} .

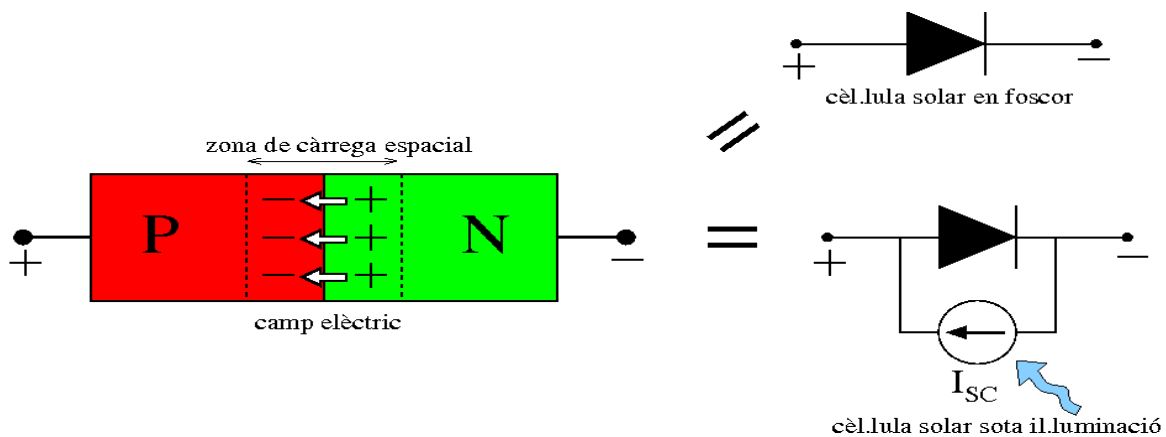


Figura 2: Circuit equivalent d'una cèl·lula solar.

¹ És més habitual el concepte de generador de voltatge, el qual, en un circuit, manté un voltatge fix amb independència del corrent (o la resistència de càrrega connectada).

Observeu que prenem com a sentit positiu del corrent el del fotocorrent I_{SC} , i aquest va en sentit contrari al corrent del díode (en directe). Amb aquest criteri de signes la $I(V)$ en fosc de la cèl·lula és la d'un díode però a l'inrevés (línia discontinua en la figura 3).

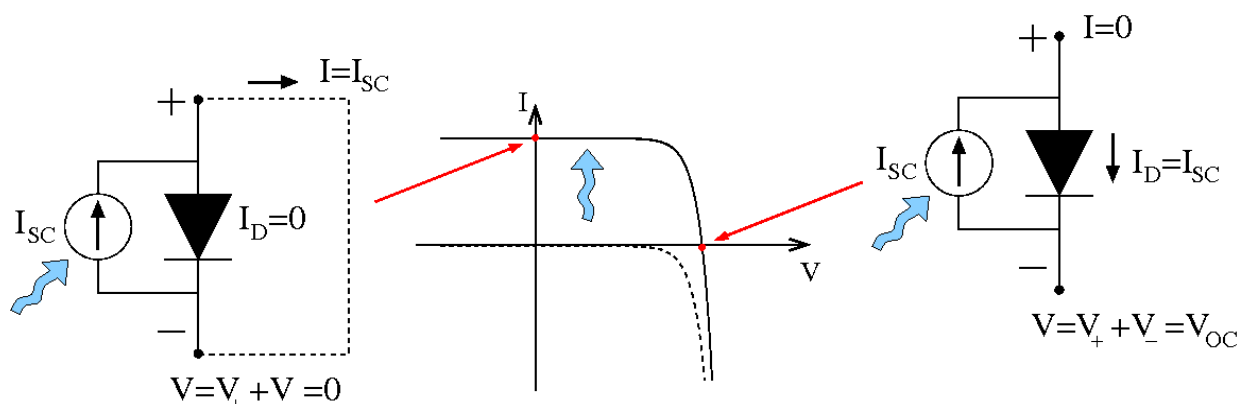


Figura 3: Cèl·lula solar en curtcircuit (esquerra) i en circuit obert (dreta). Es mostren els punts corresponents en la corba $I(V)$.

3.1.2 Connexió en sèrie i paral·lel de cèl·lules solars

Les cèl·lules solars poden connectar-se en sèrie o en paral·lel per augmentar la tensió o el corrent. De fet un plafó fotovoltaic consisteix en una gran quantitat de cèl·lules solars connectades en sèrie-paral·lel (els plafons també poden connectar-se en sèrie i paral·lel per formar un sistema fotovoltaic com, per exemple, el sistema de l'atri de la Facultat de Física de la U.B.). En la figura 4 es mostren les característiques $I(V)$ de dues cèl·lules solars idèntiques quan estan connectades en sèrie i en paral·lel.

3.2 Dispositiu experimental

- 1 cèl·lula solar de silici
- 2 cèl·lules solars de silici (per la connexió sèrie/paral·lel)
- 1 placa de connexions (per la connexió sèrie/paral·lel)
- 1 coberta de plàstic per tancar la cèl·lula solar (mesura en fosc)
- 1 il·luminador amb làmpada halògena
- 2 multímetres (un mesura I , i l'altre V)
- 1 font d'alimentació DC
- 1 resistència de 100Ω
- 1 potenciòmetre (resistència de càrrega externa)

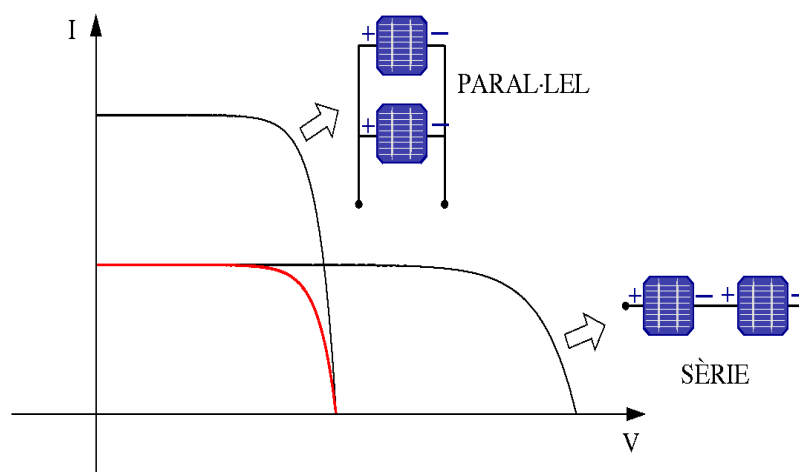


Figura 4: Característiques $I(V)$ de 2 cèl·lules solars idèntiques connectades en paral·lel i en sèrie. En vermell es mostra la característica $I(V)$ d'una cèl·lula individual.

3.3 Procediment experimental

En la primera part de la pràctica es mesurarà la característica $I(V)$, tant en foscor com en presència d'il·luminació, de la cèl·lula solar de silici enganxada en la placa de connexions. Els esquemes dels muntatges que cal realitzar es mostren a la figura 5. Observeu que, per a la cèl·lula solar en foscor, és necessari utilitzar una font d'alimentació per poder polaritzar el dispositiu.

3.3.1 Característica $I(V)$ en foscor

1. Connecteu tots els elements segons l'esquema de la figura 5(A).
2. Tapeu la cèl·lula solar amb la coberta plàstica per mantenir-la en foscor.
3. El pol positiu de la cèl·lula solar ha d'estar connectat amb el pol positiu de la font d'alimentació (polarització directa).
4. Varieu la tensió aplicada de 0 a 0,55 V aproximadament (fixeu-vos en els valors del voltímetre connectat a la cèl·lula). Cal que tingueu present que, quan el corrent s'incrementa ràpidament amb la tensió aplicada (>0.4 V), les lectures $I(V)$ cal fer-les a intervals de tensió petits. Vigileu que el corrent màxim no superi els 100 mA.
5. Polaritzeu en inversa la cèl·lula solar (pol positiu de la cèl·lula connectat amb el pol negatiu de la font d'alimentació) i realitzeu diverses lectures $I(V)$ fins a una tensió aplicada de -1V.

3.3.2 Característica $I(V)$ sota il·luminació

Per a la mesura sota il·luminació elimineu del circuit la resistència de 100Ω i la font d'alimentació. Connecteu el potenciòmetre com a resistència de càrrega variable tal com s'indica en la figura 5(B).

L'amperímetre ha d'estar configurat amb rang manual i amb el major fons d'escala possible.

1. Ajusteu la resistència del potenciòmetre a 0 i apropau el il·luminador a la cèl·lula de manera que el corrent fotogenerat sigui d'uns 7 mA aproximadament.

2. Aneu augmentant la resistència de càrrega per obtenir els diferents punts de la corba $I(V)$. L'últim punt, la tensió en circuit obert, pot obtenir-se desconnectant el potenciòmetre.

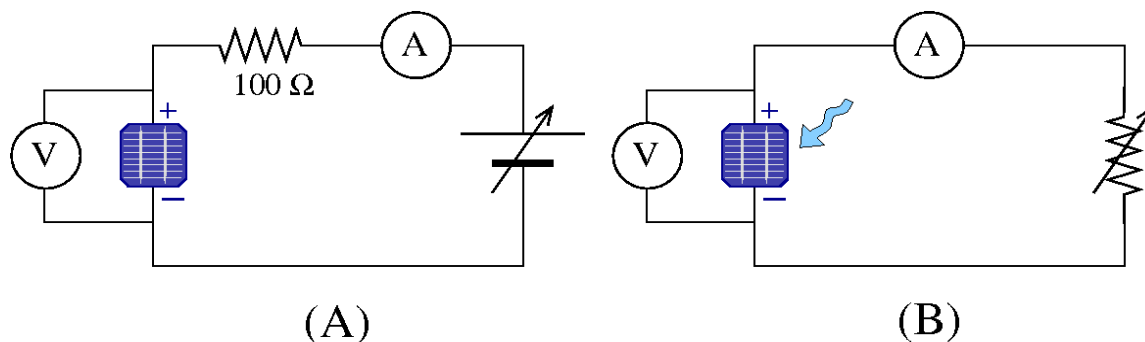


Figura 5: Esquemes dels muntatges per a la mesura de la corba $I(V)$ en fosc (A) i sota il·luminació (B).

3.3.3 Connexió en sèrie i paral·lel

Quan munteu les 2 cèl·lules solars de silici sobre la placa de connexions per realitzar l'associació en sèrie i paral·lel, heu de procurar que es trobin el més juntes possible perquè la il·luminació sigui similar.

Realitzeu primer l'associació en paral·lel. Una vegada col·locades les cèl·lules en la placa de connexions i il·luminades, però encara abans de connectar-les en paral·lel, mesureu les tensions de circuit obert i corrents de curtcircuit de cadascuna d'elles (utilitzeu l'amperímetre en rang manual i amb el màxim fons d'escala). Els valors dels corrents de curtcircuit han de ser molt similars (això prova que la il·luminació és la mateixa). Després connecteu les cèl·lules amb cura, tractant de no alterar la il·luminació, i mesureu la tensió en circuit obert i el corrent en curtcircuit del conjunt.

Repetiu els mateixos passos per a l'associació de les 2 cèl·lules en sèrie.

3.4 Realització de l'informe

En el full de laboratori:

- Representeu les característiques $I_D(V)$ en fosc, tant en directe com en invers.
- Representeu la corba $I_D(V)$ en directe en una gràfica logarítmica.
- Realitzeu l'ajust del comportament exponencial de la corba $I_D(V)$ per deduir els paràmetres del díode.
- Representeu la característica $I(V)$ sota il·luminació. Compareu en la mateixa gràfica amb la corba $I_{teòrica}(V)$ calculada a partir de $I_D(V)$.
- Representeu la corba $P(V)$ de la potència subministrada per la cèl·lula solar.
- Determineu i anoteu els paràmetres característics de la cèl·lula solar.
- Anoteu els resultats de la connexió en sèrie i paral·lel de les 2 cèl·lules solars.