Produção Distribuída e Energias Renováveis

-

Integração de Sistemas Fotovoltaicos em Redes Eléctricas: Principais Problemas a Resolver

J. A. Peças Lopes

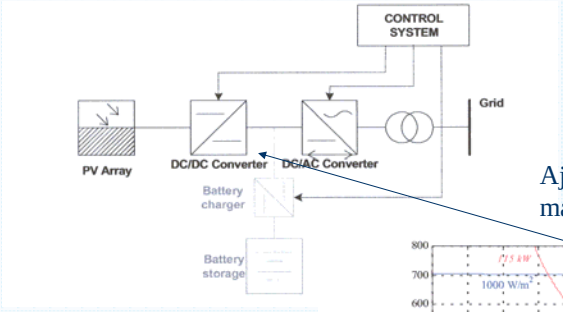
Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

Introdução

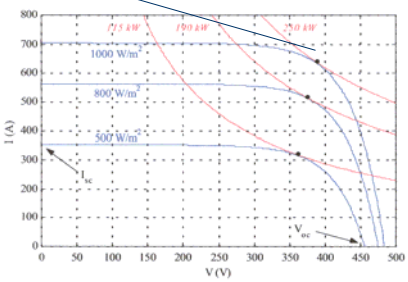
- **Aumento da Produção de origem Fotovoltaica:**
  - Integração na rede eléctrica;
  - Sistemas isolados.
- **Utilização como resultado de:**
  - Necessidade da redução de emissões de CO_2
  - Autonomia de sistemas isolados.
- **Política da UE de incentivo ao aumento da Produção Distribuída:**
  - Incentivos ao investimento;
  - Financiamento de projectos de Investigação e Demonstração.

Instalação Física de PV

Estrutura típica de um sistema PV



Ajuste para o ponto de maior potência



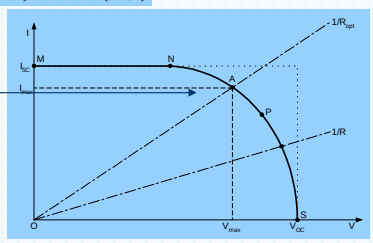
Parâmetros fundamentais de uma célula PV

- **Currente de cc gerada com tensão nula aos terminais – Icc;**
- **Tensão em circuito aberto- corresponde à queda de tensão através da junção P-N quando esta é atravessada pela corrente fotónica (Iph). Traduz a tensão da célula durante a noite:**

$$V_{OC} = m \cdot \frac{k \cdot T_c}{e} \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) = V_t \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right)$$

- **Potência máxima (Pmáx)**

  Pmáx= Imáx*Vmáx

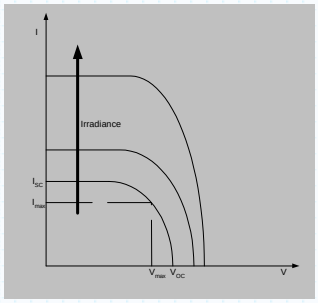


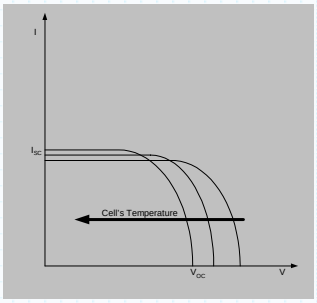
- **Rendimento**

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{A \cdot G_a}$$

G - radiação

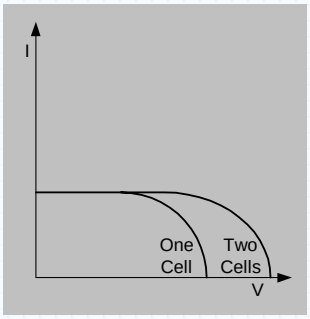
Influência da irradiação e da Temperatura



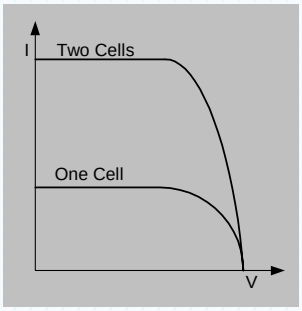


Paralelo e série de células solares PV

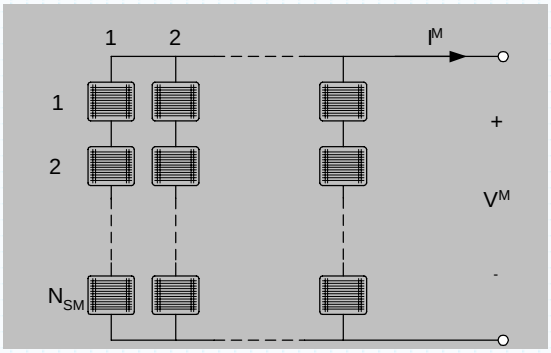
- **Série de 2 células PV**



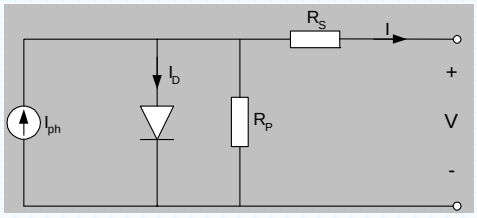
Paralelo de 2 células PV



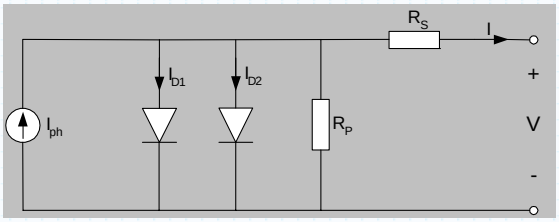
Construção de módulos de células PV



Modelos físicos para representação de arrays PV



Melhor representação para baixos níveis de iluminação



Modelo matemático

- **Modelo de um díodo (utilizando parâmetros de fabricante)**
  A corrente de um módulo é dada por:

$$I^M = I_{SC}^M \cdot \left[1 - e^{\frac{V^M - V_{OC}^M + I^M \cdot R_S^M}{V_t^M}} \right]$$

Parameter	Unit	Description
I^M	[A]	Module current.
V^M	[V]	Module voltage.
N_{SM}	[-]	Number of series cells.
I_{SC}^M	[A]	Short circuit current of the module.
V_{OC}^M	[V]	Open circuit voltage of the module.
V_t^M	[V]	Thermal voltage in the module.

Modelo matemático

- **Parâmetros para estabelecimento do modelo**

Parameter	Unit	Description
$I^{M}_{max,0}$	[A]	Module current at standard conditions.
$V^{M}_{max,0}$	[V]	Module voltage at standard conditions.
$P^{M}_{max,0}$	[W]	Module maximum power at standard conditions.
$I^{M}_{SC,0}$	[A]	Module short circuit current at standard conditions.
$V^{M}_{OC,0}$	[V]	Module open circuit voltage at standard conditions.
N_{SM}	[-]	Module number of cells in series.
N_{PM}	[-]	Module number of cells in parallel.
$NOCT$	[ºC]	Module normal operating cell temperature.
$\mu_{I_{SC}}$	[A/ºC]	Module short circuit current variation coefficient with temperature.
$\mu_{V_{OC}}$	[V/ºC]	Module open circuit voltage variation coefficient with temperature.
m	[-]	Module diode quality factor. If not known, use the following value: -In case of crystalline or multi-crystalline silicon solar cells, use 1.3 -In case of amorphous solar cells, use 2.

Modelo matemático

- **Algoritmo de cálculo da corrente f(radiação, temperatura, V)**
  1. Cálculo de parâmetros do array de células em condições standard

$$V^{C}_{t,0} = m \cdot \frac{k \cdot T_{C,0}}{e} \;,\; V^{C}_{OC,0} = \frac{V^{M}_{OC,0}}{N_{SM}} \;,\; I^{C}_{SC,0} = \frac{I^{M}_{SC,0}}{N_{PM}}$$

  2. Determinação da resistência série

$$R^{M}_{S} = R^{C}_{S} \cdot \frac{N_{SM}}{N_{PM}}$$

$$\begin{cases} P^{C}_{max,0} = \dfrac{P^{M}_{max,0}}{N_{SM} \cdot N_{PM}} \;,\; V^{C}_{max,0} = \dfrac{V^{M}_{max,0}}{N_{SM}} \;,\; I^{C}_{max,0} = \dfrac{I^{M}_{max,0}}{N_{PM}} \;,\; v_{OC,0} = \dfrac{V^{C}_{OC,0}}{V^{C}_{t,0}} \\ FF_{0} = \dfrac{P^{C}_{max,0}}{V^{C}_{OC,0} \cdot I^{C}_{SC,0}} \;,\; FF = \dfrac{v_{OC,0} - \ln(v_{OC,0} + 0{,}72)}{v_{OC,0} + 1} \\ r_{s} = 1 - \dfrac{FF}{FF_{0}} \;,\; R^{C}_{S} = |r_{s}| \cdot \dfrac{V^{C}_{OC,0}}{I^{C}_{SC,0}} \end{cases}$$

Modelo matemático

3. **Cálculo de condições de operação para os inputs de irradiação(Ga), temperatura (Ta) e tensão V^M (controlada pelo conversor DC/DC)**

$$T_C = T_a + G_a \cdot \frac{NOCT - 20}{800}$$

$$I_{SC}^M = \frac{G_a}{G_{a0}} \cdot \left[I_{SC,0}^M + \mu_{I_{SC}} \cdot (T_C - T_{C,0}) \right]$$

$$V_{OC}^M = V_{OC,0}^M + \mu_{V_{OC}} \cdot (T_C - T_{C,0})$$

$$V_t^M = N_{SM} \cdot m \cdot \frac{k \cdot T_C}{e}$$

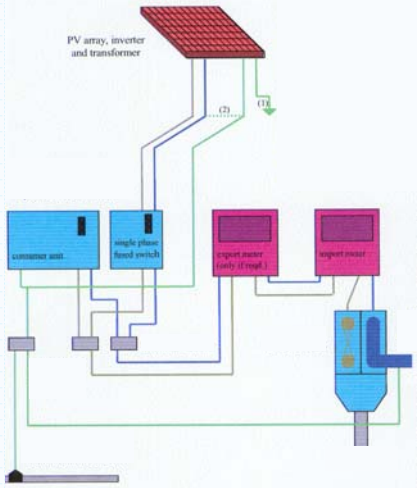
Tensão térmica do módulo

4. **A corrente entregue ao exterior:**

$$I^M = I_{SC}^M \cdot \left[1 - e^{\frac{V^M - V_{OC}^M + I^M \cdot R_S^M}{V_t^M}} \right]$$

Ligação de um Sistema PV num Edifício

- **Baixa Tensão**



Problemas

- **Injecção de harmónicos na rede;**
- **Produção de "flicker" (*Flutuações de irradiação solar*);**

Qualidade da onda

- **Funcionamento em rede isolada:**
  - Segurança de pessoas (utilizadores e pessoal da concessionária)
  - Necessidade de coordenação de protecções com a rede pública;
    - **Relés de protecção de mínimo de tensão e de frequência**

Problemas

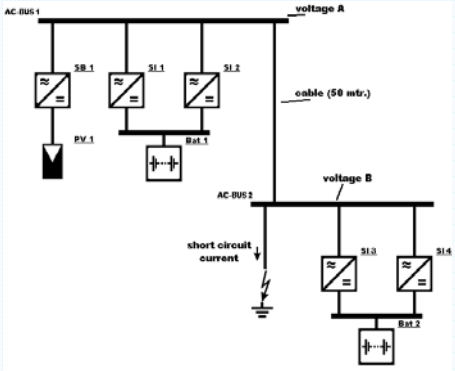
- **Religação automática rápida na rede pública:**
  - Necessidade de detecção de situações de rede isolada;
  - Flutuações de tensão da rede;
  - Contribuições para um curto-circuito;

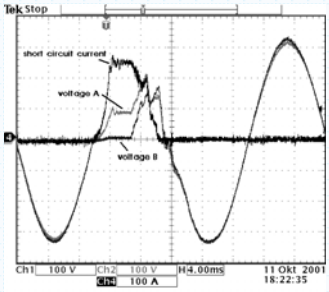
Funcionamento como fonte de corrente

Grande problema para as protecções

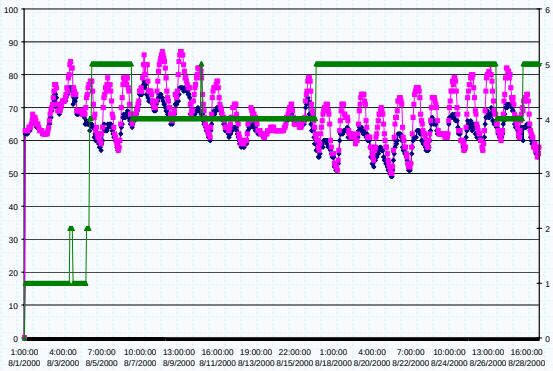
- **Contagem de energia**
- **Protecções e protecções contra descargas atmosféricas.**

Curto-circuito





Previsão da Produção Solar PV



Conclusões

- **Standardização das soluções de ligação à rede (tipo de conversor e protecções);**
- **As companhias distribuidoras devem preparar-se tecnicamente para acomodar este tipo de produção nas suas redes de BT;**
- **Necessidade de futuramente definir alguma regulamentação para permitir a integração na rede pública desta produção.**

Estudo e desenvolvimento do conceito de micro-rede