

SISTEMA DE CONTROLE DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA EM CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Cristian Junior Donini Barbosa¹, Alexandre Werner Arins²

Resumo: A conversão da radiação solar em energia elétrica vem ganhando espaço na composição da matriz energética global. Há, portanto, uma crescente necessidade de desenvolver tecnologias economicamente viáveis e eficientes para aproveitar o enorme potencial energético do sol. Este trabalho apresenta um estudo comparativo acerca do rendimento de células fotovoltaicas instaladas sobre um dispositivo de rastreamento do ponto de máxima potência e células instaladas em uma posição fixa.

Palavras-chave: Célula Fotovoltaica. Ponto de Máxima Potência. Eficiência.

1 INTRODUÇÃO

Quando células fotovoltaicas são instaladas, é muito importante encontrar a melhor posição para fixá-las, pois seu rendimento depende diretamente do ângulo de incidência da radiação solar. Para melhorar a eficiência de células fotovoltaicas (PV - *Photovoltaic*) é possível utilizar um sistema móvel com o intuito de rastrear o ponto de máxima potência (MPP - *Maximum Power Point*). A melhor captação dos raios solares ocorre com o as células PV posicionadas perpendicularmente aos raios solares. O rastreador MPP é usado em sistemas fotovoltaicos para maximizar a potência de saída do conjunto de placas fotovoltaicas, independentemente da temperatura, condições de irradiação e características elétricas da carga.

Na última década, vários métodos de MPP têm sido propostos (Esrám *et al.*, 2007; Gules *et al.*, 2008; Mutoh *et al.*, 2006; Tse *et al.*, 2004; Xiao *et al.*, 2007).

Muitos desses métodos visam rastrear o MPP de operação de sistemas PV, satisfazendo, em um sistema fechado de regulação, a condição $dP/dV = 0$, onde P e V representam, respectivamente, a potência e tensão de saída do módulo PV. Uma maneira para se obter o MPP é por meio de uma técnica de estimativa do valor ideal da tensão ou corrente calculados como uma função da corrente de curto-circuito (I_{CC}) (Noguchi *et al.*, 2000; Yuvarajan *et al.*, 2003), da tensão de circuito aberto (V_{CA}) (Schoeman *et al.*, 1982; Noh *et al.*, 2002), ou da temperatura (T) (Park *et al.*, 2004). Embora os métodos que usam estimativas são, em geral, simples e baratos, sua eficiência pode ser reduzida devido às aproximações que podem posicionar o sistema fora do MPP.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na primeira parte, seções 2 e 3, apresenta-se a análise matemática de um modelo elétrico módulo fotovoltaico, o que esclarece os

¹ Instituto Superior Tupy – UNISOCIESC. E-mail: crisdonini@hotmail.com

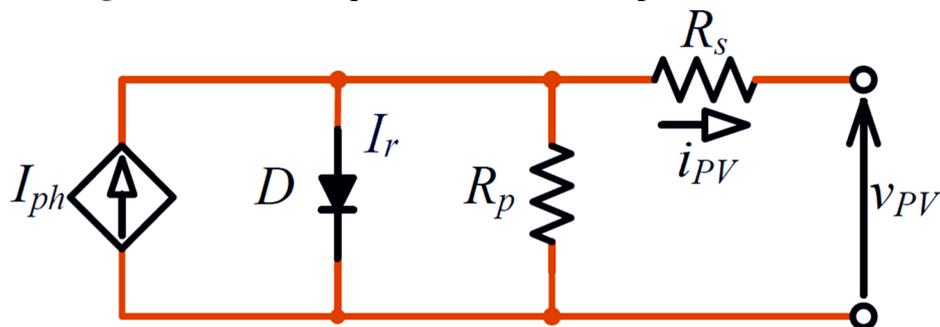
² Instituto Superior Tupy – UNISOCIESC. E-mail: arins@sociesc.org.br

conceitos físicos subjacentes que compõem a expressão analítica do MPP. Na parte seguinte, que compreende as seções 4 e 5, apresenta-se o método e descreve-se a aplicação experimental, comparando-se a eficácia do sistema de rastreamento MPP aos resultados obtidos com uma placa PV fixa.

2 CIRCUITO EQUIVALENTE DA CÉLULA PV

O comportamento eletrônico de uma célula fotovoltaica pode ser representado pelo modelo eletricamente equivalente, mostrado na Figura 1. O modelo é composto por uma fonte de corrente, cujo valor é proporcional à radiação solar incidente, em paralelo com um diodo usado para representar a característica não linear da junção p-n do material semiconductor (ABERLE *et al.*, 1993).

Figura 1 - Circuito equivalente a um diodo para a célula solar



Fonte: ABERLE *et al.* (1993)

A Equação 1 descreve a característica $I \times V$ de uma célula fotovoltaica:

$$i_{PV} = I_{ph} - I_r \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (v_{PV} + i_{PV} \cdot R_s)}{\eta \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{v_{PV} + i_{PV} \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

Onde i_{PV} é a corrente nos terminais de saída da célula fotovoltaica, I_{ph} é a corrente gerada pela incidência de fótons na célula, I_r é a corrente de saturação reversa da célula na junção p-n, q é a carga do elétron, η é o fator de qualidade da junção p-n, T é a temperatura ambiente, v_{PV} é a tensão nos terminais de saída da célula fotovoltaica.

3 CURVA CARACTERÍSTICA

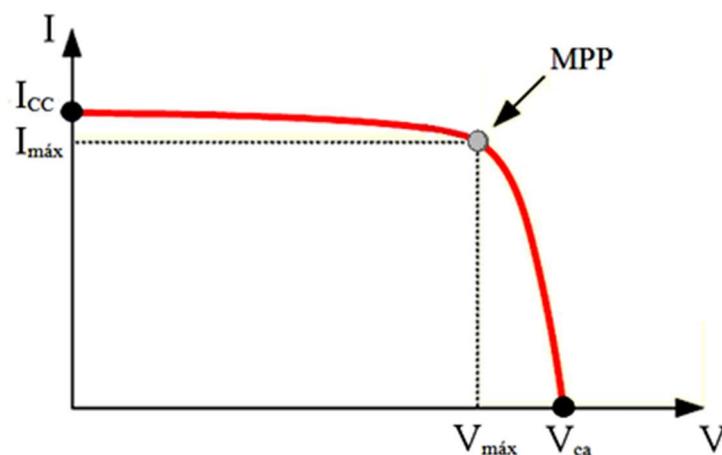
Para as células fotovoltaicas, a característica mais significativa é a potência de pico medida em Watt-pico (Wp). Existem outras características elétricas que demonstram a funcionalidade do módulo, as principais características dos módulos são a tensão de circuito aberto (V_{CA}), corrente de curto circuito (I_{CC}). As características elétricas célula PV são determinadas, seguindo condições de teste-padrão (STC - *Standard Test Conditions*), cujas principais condições são a radiação solar de 1000 W/m^2 , que é a média recebida na superfície da terra ao meio dia, sem nuvens, e a temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para maximizar a potência de saída do módulo PV, é preciso monitorar continuamente os sinais de corrente elétrica (I) e tensão (V) do sistema. O rendimento do sistema depende das condições de operação do módulo PV. As principais condições são: os níveis de irradiação, a temperatura do módulo e a carga conectada ao sistema. A principal função de sistemas de

rastreamento do MPP é manter o módulo PV em uma posição onde possa obter o máximo aproveitamento da radiação solar incidente.

A curva característica I-V para um módulo FV é mostrada na Figura 2. Para cada ponto na curva I-V, o produto da corrente pela tensão determina a potência gerada para aquela condição de operação do módulo PV. Em uma dada condição, só existe um ponto na curva I-V onde a potência é máxima (MPP). Pode-se verificar na Figura 2 que a máxima corrente fornecida pelo módulo FV é a corrente de curto circuito (I_{CC}), porém, nesse ponto, a tensão nos terminais do módulo é de 0 V, logo, a potência fornecida é nula. Percorrendo a curva I-V no sentido crescente da tensão, observa-se uma diminuição na intensidade da corrente, porém há um aumento na potência fornecida até o ponto de MPP. A partir do MPP ocorre uma diminuição exponencial da corrente, fazendo com que a potência diminua rapidamente.

Figura 2 - Curva característica aproximada de uma célula PV



Fonte: Dos autores, 2014

4 SISTEMA MPP

O sistema MPP utilizado neste trabalho registra a tensão e corrente geradas pela placa PV, satisfazendo, em um sistema fechado de regulação, a condição $dP/dV = 0$. O sistema movimenta a placa PV através de dois motores de passo acionados por um sistema de controle, cujo algoritmo de operação busca o valor ideal da tensão ou corrente calculados como uma função da corrente de curto-circuito (I_{CC}) e da tensão de circuito aberto (V_{CA}) especificados pelo fabricante da placa.

Existem vários algoritmos que executam a função MPP, mas ajustar a posição da placa PV, buscando a condição $dP/dV = 0$, é amplamente utilizado devido à sua facilidade de aplicação. Se a tensão do gerador fotovoltaico é perturbada em uma determinada direção, o sistema é redirecionado para que a potência retirada da matriz PV aumente. Isso significa que o ponto de operação mudou para o MPP.

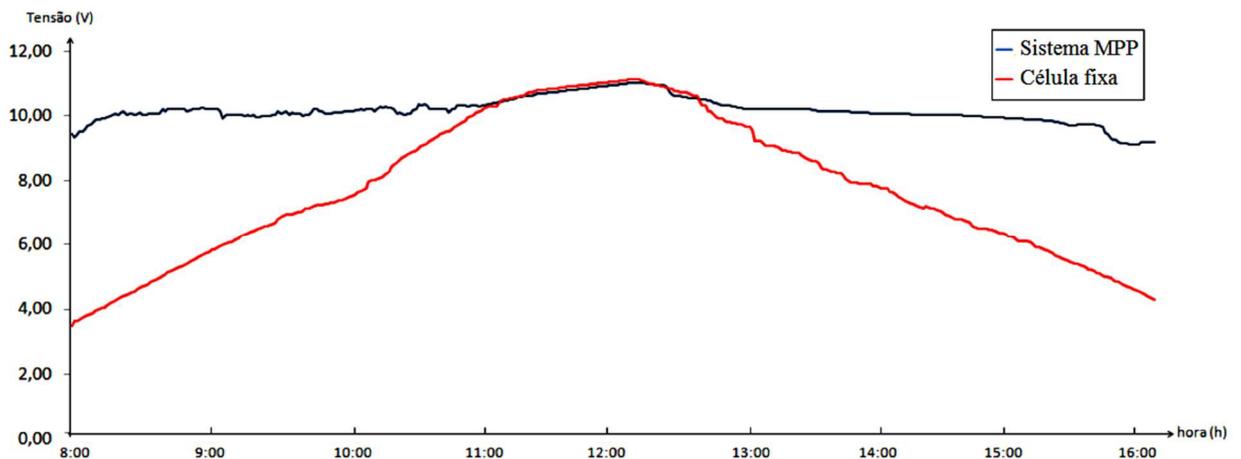
5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O sistema de controle do MPP e uma placa PV fixa foram posicionados, inicialmente, virados na direção do norte geográfico. A placa fixa foi orientada com um ângulo de inclinação de 30° em relação ao plano horizontal. Nesse experimento foram utilizadas duas placas solares da marca Komaes modelo KM(P)5, confeccionadas com cristal policristalino

que possuem área útil de 40.000 mm² (250 x 160 mm). O módulo Komaes possui potência máxima de 5 Wp, corrente de pico de 0,29 A, tensão de pico de 17,56 V, corrente de curto-circuito de 0,31 A e tensão de circuito aberto de 21,52 V.

As medições de tensão foram realizadas das 8 h às 16 h com intervalos de 2 minutos entre uma medida e outra. Os registros são mostrados no gráfico da Figura 3, onde é possível verificar que a placa PV acoplada ao sistema MPP mantém a tensão V_{CA} praticamente constante em 10 V, enquanto o sistema com célula fixa a V_{CA} variou entre, aproximadamente, 4 e 10 V ao longo do dia.

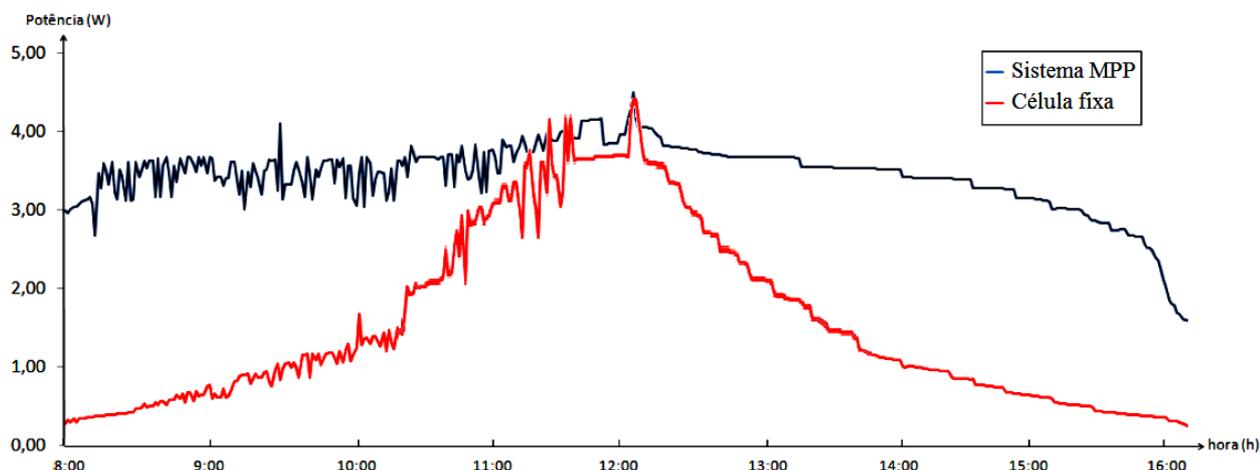
Figura 3 – Gráfico da tensão de circuito aberto (V_{ca}) obtida com placa fixa e no sistema MPP com placa móvel



Fonte: Dos autores, 2014

Para comparar as potências geradas pelo sistema MPP e com placa fixa, foram utilizados como cargas a serem alimentadas dois ventiladores idênticos de 12 V e 250 mA. No gráfico da Figura 4 é possível observar que a potência gerada pelo sistema MPP é superior ao do sistema fixo e sua variação é menor ao longo do dia, enquanto no sistema com placa fixa a potência gerada oscila e atinge seu pico próximo às 12 h. A principal vantagem do uso de um sistema MPP é obter uma potência praticamente constante, aumentando assim a eficiência do sistema.

Figura 4 – Gráfico da potência máxima obtida utilizando os sistemas com placa fixa e MPP com placa móvel



Fonte: Dos autores, 2014

Na Figura 4 apresenta-se uma sobreposição dos gráficos de potência total gerada, a diferença entre as áreas das duas curvas representa o ganho efetivo de energia com a utilização do sistema de rastreamento do MPP. Para uma análise detalhada dos gráficos mostrados na Figura 4, foi utilizado o método da soma de Riemann para o cálculo de área abaixo da curva. Dessa forma, verificou-se que a utilização do sistema de rastreamento do MPP gera um aumento na potência e, conseqüentemente, um ganho na energia gerada de aproximadamente 37% em relação ao módulo PV em modo estático.

6 CONCLUSÃO

No estudo comparativo entre o sistema de rastreamento do MPP e a placa fixa foi identificada uma grande diferença no desempenho das células fotovoltaicas, provando que o uso do rastreador solar em sistemas PV aumenta a eficiência do sistema. Verificou-se um aumento na potência gerada pelo sistema de rastreamento do MPP em relação à placa fixa. Esse aumento deve-se ao reposicionamento da placa PV, no sistema de rastreamento do MPP, permitindo que a incidência dos raios solares ocorra, na maior parte do tempo, perpendicularmente à superfície da célula, obtendo melhor aproveitamento da luz solar para a geração de energia elétrica.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da UNISOCIESC (PIC- UNISOCIESC) / Convênio FUMDES - Fundo de apoio à manutenção e ao desenvolvimento da Educação Superior, da Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina – SED.

REFERÊNCIAS

ABERLE, A. G.; WENHAM, S. R.; GREEN, M. A. **A new method for accurate measurements of the series of solar cells.** IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1993.

ESRAM, T.; CHAPMAN, P. L. **Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques**, IEEE Trans. Energy Convers., vol. 22, no. 2, pp. 439–449, Jun. 2007.

GULES, R.; PACHECO, J. P.; HEY, H. L.; IMHOFF, J. **A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications**, IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 7, pp. 2674–2683, Jul. 2008.

MUTOH, N.; OHNO, M.; INOUE, T. **A method for MPPT control while searching for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems**, IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 4, pp. 1055–1065, Jun. 2006.

NOH, H. J.; LEE, D. Y.; HYUN, D. S. **An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications**, in Proc. 28th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., 2002, pp. 1113–1118.

NOGUCHI, T.; TOGASHI, S.; NAKAMOTO, R. **Short-current pulse based adaptive maximum-power-point tracking for photovoltaic power generation system**, in Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., 2000, pp. 157–162.

PARK, M.; YU, I. **A study of the optimal voltage for MPPT obtained by surface temperature of solar cell**, in Proc. 30th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., Nov. 2004, pp. 2040–2045.

SCHOEMAN, J. J.; VANWYK, J. D. **A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays**, in Proc. 13th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 1982, pp. 361–367.

TSE, K. K.; HO, B. M. T.; CHUNG, H. S.-H.; HUI, S. Y. R. **A comparative study of maximum-power-point trackers for photovoltaic panels using switching-frequency modulation scheme**, IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 51, no. 2, pp. 410–418, Apr. 2004.

XIAO, W.; DUNFORD, W. G.; PALMER, P. R.; CAPEL, A. **Application of centered differentiation and steepest descent to maximum power point tracking**, IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 5, pp. 2539–2549, Oct. 2007.

YUVARAJAN, S.; XU, S. **Photo-voltaic power converter with a simple maximum-power-point-tracker**, in Proc. Int. Symp. Circuits Syst., 2003, pp. III-399–III-402.

SYSTEM CONTROL OF MAXIMUM POWER POINT IN PHOTOVOLTAIC CELLS

***Abstract:** The conversion of solar radiation into electrical energy is gaining ground in the composition of the global energy mix. There is therefore a growing need to develop economically viable and efficient technologies to harness the vast energy potential of the sun. This paper presents a comparative study of the performance of photovoltaic cells installed on a tracking device the maximum power point and installed in a fixed position cells.*

***Keywords:** Photovoltaic Cell. Maximum Power Point. Efficiency.*