MÉTODO PARA O RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Diego Brum Chaves [1]

Guilherme Sebastião da Silva [2]

Felipe Grigoletto [3]

Resumo:

Com a crescente demanda de energia, a geração distribuída é uma opção cada vez mais viável e utilizada, e atualmente é uma realidade no Brasil. O maior foco dessa modalidade de geração são os painéis fotovoltaicos. Por esse motivo, tecnologias para melhorar a eficiência dos painéis são cada vez mais estudadas pela comunidade acadêmica. Este artigo contém uma análise de projeto de conversores para um método de rastreamento de ponto máximo de potência. Os detalhes de como se determina o máximo ponto de potência são demonstrados no documento, e então é detalhado como rastrear esse ponto utilizando das propriedades de um conversor CC-CA em conjunto com um conversor CC-CC boost. O primeiro tópico se detém a apresentar como extrair mais potência de sistemas fotovoltaicos. O segundo tópico apresenta a abordagem analítica proposta para melhorar o rastreamento de potência. O terceiro e último tópico apresenta um circuito completo de rastreamento, e contêm os resultados obtidos via simulação.

Palavras-chave: Conversor, Rastreamento de Máxima Potência, Abordagem analítica

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

MÉTODO PARA O RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

[1] Aluno de graduação. diegobchaves@hotmail.com. Autor principal

[2] Docente. guilhermesilva@unipampa.edu.br. Co-autor

[3] Docente. grigoletto@gmail.com. Orientador

MÉTODO PARA O RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1 INTRODUÇÃO

Conversores eletrônicos são amplamente utilizados nos mais diversos dispositivos. Possuem uma densidade de potência elevada, e são altamente eficientes. O conversor CC-CC *boost* apresenta por princípio de funcionamento uma elevação da tensão de entrada, através de um ganho de tensão. Uma das aplicações do conversor *boost* é o ajuste de tensão de saída de um conjunto fotovoltaico. Este ajuste é realizado com o objetivo de extrair a máxima potência para a rede ou conjunto de baterias. Para o armazenamento de energia em baterias, normalmente emprega-se o conversor *buck*. Para a transferência de potência de um conjunto fotovoltaico, nos terminais do conversor *boost*, há a necessidade da conexão de um inversor CC-CA. Neste artigo, será apresentado um projeto para a transferência de potência dos painéis para a rede elétrica de distribuição.

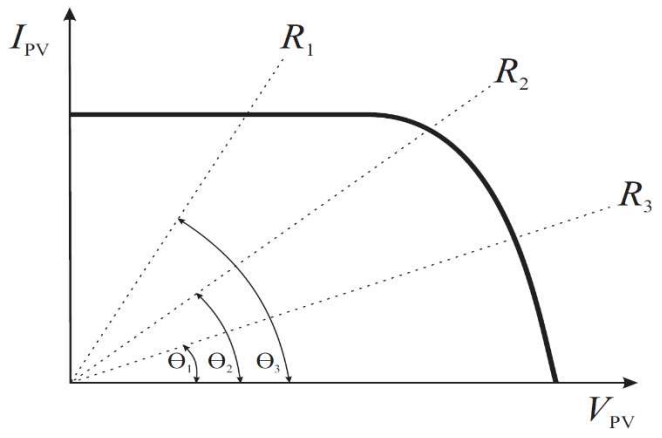
O primeiro tópico ilustra o método de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT). O segundo tópico apresenta como podemos determinar analiticamente a razão cíclica, ou a carga emulada pelo inversor, e como usar essa informação para encontrar o ponto de máxima potência, realizando um ajuste estático. Por fim, o último tópico se dedica a mostrar os resultados teóricos, obtidos por simulações.

2 MÉTODO MPPT

O rastreamento do ponto de máxima potência visa drenar a máxima potência disponível do painel, forçando-o a operar sempre perto do ponto de operação que produz a máxima potência. A potência de saída de um módulo fotovoltaico muda conforme CC-CC com o propósito de transferir a máxima potência do módulo para uma carga.

Painéis fotovoltaicos podem ser representados como fontes de corrente, com um decaimento de corrente para um determinado valor de tensão. Este valor depende do número de células de silício que o painel possui, bem como a forma em que os módulos fotovoltaicos são arranjados. A Figura 1 ilustra como a alteração da razão cíclica do conversor utilizado pode resultar na maior extração de potência de um painel fotovoltaico. A Eq. 1 mostra como a inclinação da curva é determinada.

Figura 1 – Rastreamento do Ponto Máximo de Potência



$$\theta_e = \arctan\left(\frac{G^2}{R_{carga}}\right) \quad (1)$$

onde G é o ganho do conversor e R_{carga} é o valor de carga conectada nos terminais de saída do conversor.

Existem diversos métodos MPPT difundidos na literatura. O método utilizado trata-se de um Perturba e Observa modificado (M. W. Rahman; C. Bathina; V. Karthikyan; R. Prasanth, 2016), e não será detalhado nesse artigo.

3 RASTREAMENTO DE PONTO MÁXIMO DE POTÊNCIA DE FORMA ANALÍTICA

Como demonstrado na Eq. 2, o ponto de máxima potência pode ser encontrado alterando o ganho do conversor, ou modificando a carga conectada nos terminais de saída. A razão cíclica pode ser facilmente alterada com a mudança da modulante na Modulação por Largura de Pulso (PWM). A Eq. 2 resulta na razão cíclica para o ponto de máxima potência do painel.

$$D = 1 - \frac{V_{saida}}{R_{carga} * V_{mp}} \quad (2)$$

onde V_{Saida} é a tensão nos terminais de saída do conversor *boost,* denominada tensão de barramento, e V_{mp} é a tensão nos terminais do painel fotovoltaico que resulta a máxima extração de potência

A carga, da mesma forma, também pode ser alternada para algumas situações. Caso deseja-se transferir a potência dos módulos fotovoltaicos para a rede, existe a necessidade de conectar na saída do conversor *boost* um inversor CC-CA. Para uma topologia de ponte completa a tensão de barramento nos terminais de entrada do inversor CC-CA deve ser de no mínimo 400 V (J. Imhodd, 2009), para garantir com folga que o inversor conseguirá transferir potência elétrica para a rede. Como a tensão no barramento é constante, a variável que controla a potência transferida para rede é a corrente de saída do inversor CC-CA. Variando-se a corrente de saída, para uma tensão constante, tem-se uma variação da carga vista pelo conversor *boost.* A Eq. 3 resulta no valor da carga emulada pelo inversor.

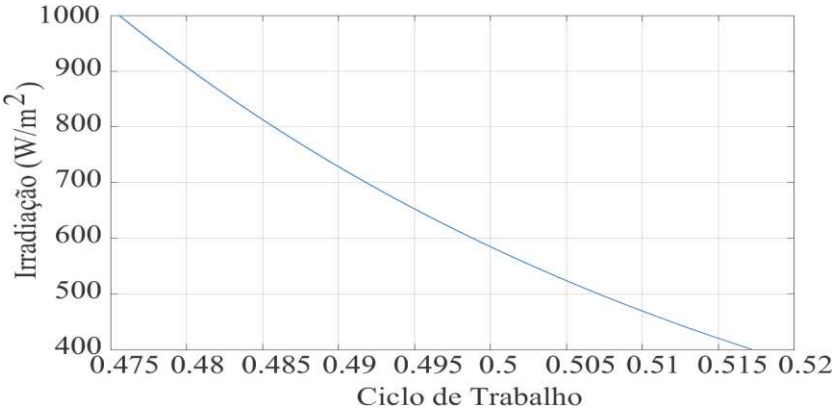
$$R_{carga} = \frac{V_{saida}}{(1-D) * I_{mp}} \quad (3)$$

onde I_{mp} é a corrente extraída do painel fotovoltaico que resulta na máxima transferência de potência.

Com as Eq. 2 e 3, pode-se encontrar analiticamente qual a razão cíclica resulta na maior extração de potência dos painéis, mantendo a tensão desejada no barramento.

Como exemplo, utilizou-se o painel fotovoltaico KD245GH-4FB da fabricante Kyocera. Adotou-se um arranjo de 7 painéis fotovoltaicos em série. A escolha do arranjo para o módulo fotovoltaico foi para garantir uma tensão de entrada no conversor *boost* mais próxima da tensão do barramento. Considerando essa configuração, a Figura 2 ilustra a razão cíclica em função da irradiação incidida no conjunto fotovoltaico, para obter a maior transferência de potência e uma tensão de barramento de 400 V.

Figura 2 – Ciclo de Trabalho em Função da Irradiação



4 RESULTADOS TEÓRICOS

A Figura 3 apresenta o circuito completo da simulação. As características do conjunto são as mesmas descritas no tópico anterior, e encontram-se na Tabela 1.

Figura 3 - Diagrama do Circuito

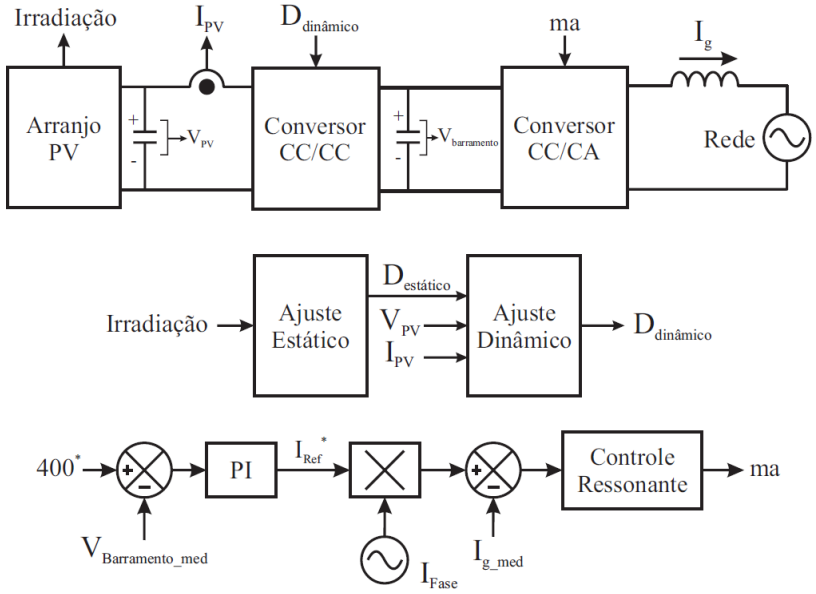


Tabela 1 – Dados de Simulação

Dados de Simulação	
Ondulação de Corrente no *boost*	5%
Frequência de Chaveamento *boost*	25kHz
Frequência de Chaveamento CC-CA	6kHz
Tensão de Rede	127 VRMS
Frequência de corte do PI	6Hz
Frequencia de corte do PR	600Hz
Frequência da Estratégia MPPT	40 Hz
Módulo Fotovoltaico	7 Painéis em Série

Como ilustrado na Figura 3, a informação de irradiação passa por um circuito de controle estático, que determina o ponto teórico da razão cíclica que resulta na máxima extração de potência. Esse ponto passa para um circuito de controle dinâmico, que contém a estratégia MPPT. Esse controle adapta o ponto de trabalho para os valores de tensão e corrente do painel. O controle dinâmico é necessário para ajustar possíveis leituras incorretas de irradiação, bem como as perdas nos conversores. O controle de tensão e de barramento é feita via controle da corrente de saída do inversor. Utilizou-se um controle PI e um controle PR, respectivamente.

O capacitor do barramento CC, bem como o indutor utilizado na saída, foram dimensionados considerando a metodologia presentem em (TEODORESCU; LISERRE; RODRIGUEZ, 2011), e não será detalhada nesse artigo.

Para dimensionar a indutância utilizada no conversor *boost*, foi utilizado a Eq. abaixo (ERICKSON; MAKSIMOVIC, 2001). Como o conjunto fotovoltaico fornece diferentes tensões e correntes de entrada para diferentes irradiações, o dimensionamento do indutor foi feito considerando a máxima corrente e máxima tensão no ponto de máximo potência no painel, que dado o arranjo escolhido, é de 208,6V e 8,23A, respectivamente. Como o conversor *boost* irá trabalha com razão cíclica próxima de 0,5, essa foi utilizada para o dimensionamento.

$$L = \frac{V_{in} * D}{I_{in} * \%riplle * f_s}$$

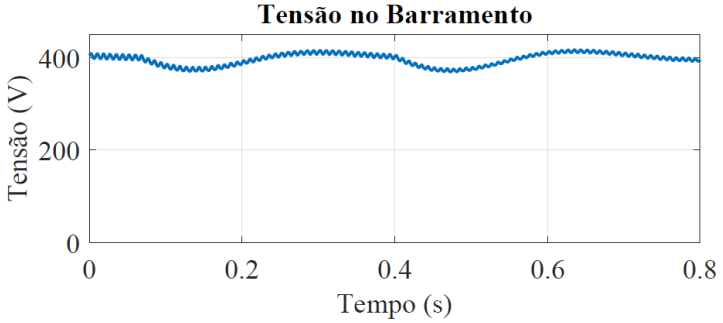
Utilizando a equação acima, a corrente e tensão de entrada especificadas e os demais dados da Tabela 1, temos um indutor de:

$$L_{boost} = 10{,}306\, mH$$

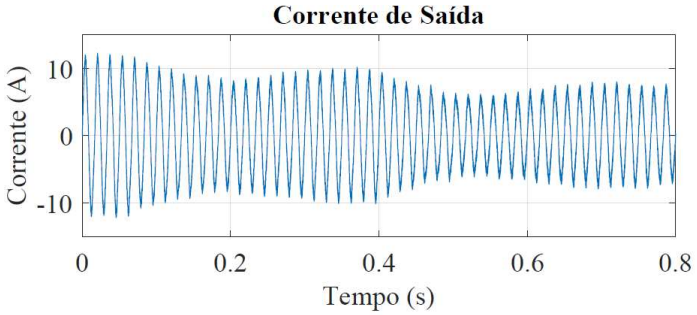
Os resultados para a tensão de barramento, rastreamento de máximo ponto de potência e corrente de saída estão ilustrados na Figura 4. O sistema inicializa em regime permanente, com irradiação incidida de $1000\ W/m^2$. Nos tempos $0{,}07s$ e $0{,}4s$, a irradiação decresce para $800\ W/m^2$ e $600\ W/m^2$, respectivamente.

Na Figura 4(c), a curva em azul representa a máxima potência disponível nos módulos, e a curva em vermelho representa a potência extraída dos painéis. Os controles PI e PR são responsáveis por ajustar a resistência de carga emulada pelo inversor, como é ilustrado nas Figuras 4(a) e 4(b). Perceba que, mesmo com o ajuste da razão cíclica instantâneo resultante do controle estático, a máxima potência dos módulos demora alguns milissegundos para ser encontrada. Esse tempo está vinculado aos elementos reativos do circuito, os quais possuem um período para entrarem em regime.

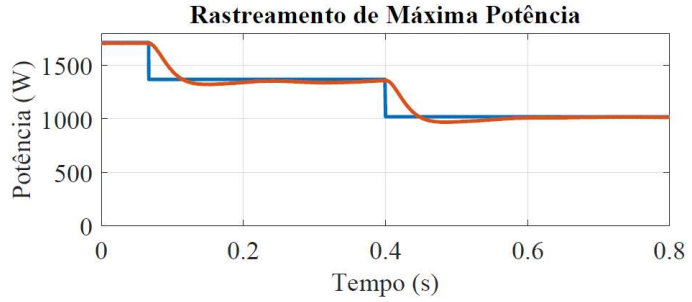
Figura 4 – Resultados Teóricos



(a)



(b)



(c)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo ilustrar o funcionamento do conversor *boost* para o rastreamento de potência, conectado a um inversor CC-CA. A metodologia para rastrear a potência dos módulos fotovoltaicos, e para a transferir a potência extraída para a rede contém um passo de ajuste estático, que diminui a ondulação de tensão no barramento e aumenta a velocidade de convergência do ponto de máxima potência dos módulos. O método possui algumas desvantagens técnicas no controle estático, vinculadas a necessidade da medição de irradiação incidida nos painéis.

REFERÊNCIAS

ERICKSON, R. W.; MAKSIMOVIC, D. **Fundamentals of Power Electronics**. 2ed. ed. [s.l.] Springer, 2001.

J. Imhodd. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

Kyocera. Kd245gh-4fb. [online]. Disponivel em: http: // www.solarconvert.com/imagen/Produtos/KD245GH-4FB.pdf

M. W. Rahman; C. Bathina; V. Karthikyan; R. Prasanth, “Comparative analysis of developed incremental conductance (IC) and perturb observe (p&o) mppt algotithm for photovoltaic applications” **in Proc. 10th Int. Conf. Intelligent Systems and Control (ISCO)**, jan.2016,pp.1-6.

TEODORESCU, R.; LISERRE, M.; RODRIGUEZ, P. **Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems**. [s.l.] Wiley, 2011.