

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Modelagem Matemática Caixa Cinza de Módulo FotovoltaicoAnderson J. Balbino¹Deividi F. Zaions²

Cássio L. Baratieri

Cícero J. M. Moreira

Adilson L. Stankiewicz

Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, URI, Erechim, RS

1 Introdução

Em advento do crescente aumento mundial de consumo de energia elétrica no século XX, a busca por fontes renováveis de energia que não apresentam impactos ambientais significativos tornou-se essencial para suprir tal demanda. Dentre essas fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica tem ganhado destaque no cenário energético mundial. Embora a sua participação seja pequena em nível global, a capacidade instalada cresceu em média 56% no período de 2009 a 2014, segundo o relatório fotovoltaico anual de 2015 do Instituto de Fraunhofer [2]. Devido a essa grande expansão, a caracterização dos fenômenos associados aos módulos é essencial para um adequado projeto, visando redução de custos e o aprimoramento da eficiência energética e operacional. Para isso, a modelagem matemática é uma ferramenta imprescindível para a representação do seu comportamento dinâmico.

Diferentes técnicas de modelagem podem ser aplicadas, classificadas como caixa branca, caixa preta e caixa cinza. A modelagem caixa branca descreve o sistema baseado somente nas leis físicas que governam seu comportamento. Por outro lado, a modelagem caixa preta utiliza apenas dados coletados para identificar a relação entrada-saída. Por fim, a modelagem caixa cinza é um método intermediário, em que suas técnicas envolvem um conjunto de informações físicas e empíricas no intuito de descrever o sistema [1].

Analisando o comportamento experimental de um módulo fotovoltaico, este apresenta característica não-linear em sua curva de tensão *versus* corrente. Esse comportamento deve-se ao fato da constituição física da célula fotovoltaica, a qual pode ser representada pelos modelos de diodo único e diodo duplo. O modelo do diodo único é o mais utilizado na literatura, devido a sua relação entre precisão e simplicidade [3].

Esse modelo vem sendo aprimorado visando a descrição do módulo fotovoltaico para diferentes condições de temperatura e radiação. Os parâmetros físicos intrínsecos do silício não são fornecidos pelo fabricante. Tendo em vista a necessidade de identificação desses parâmetros, este trabalho propõe a aplicação da técnica de modelagem caixa cinza a um módulo fotovoltaico, com base na variação de radiação a uma temperatura fixa de 25 °C.

¹andybalbino@hotmail.com²deividizaions@hotmail.com

2 Metodologia

Para representar adequadamente a dinâmica do módulo fotovoltaico, adotou-se as cinco etapas da Identificação de Sistemas propostas por [1]. A primeira é composta pela **coleta de dados**, os quais foram obtidos por meio da folha de dados do fabricante do módulo Kyocera KD140-SX. Na segunda etapa, o modelo de diodo único é escolhido para **representação matemática**. A **estrutura do modelo** utilizado fundamenta-se na proposta de [4], em que a função $f(S, T, V, I; R_s, R_p, A, I_{ph})$ é composta pelas variáveis de radiação (S), temperatura (T), tensão de saída (V) e corrente de saída (I). Os parâmetros a serem definidos correspondem a resistência série e paralela equivalentes (R_s, R_p), ao fator de idealidade do dispositivo (A), assim como a corrente foto-gerada (I_{ph}), a qual será estimada como sendo a corrente de curto-circuito. A **estimação de parâmetros** transcorreu-se através da técnica de mínimos quadrados não-lineares pelo método numérico de Gauss-Newton. Para **validação do modelo**, comparou-se as curvas do fabricante com radiações de 200, 400, 600, 800 e 1000 W/m² com as obtidas por meio dos parâmetros calculados.

3 Conclusões

Comparando os resultados calculados por meio do método proposto com a folha de dados, obteve-se um erro médio de 4,8%, 3,32%, 3,3%, 0,88% e 1,07% para as respectivas curvas de radiação de 200 a 1000 W/m². Embora seja necessária uma adequada suposição inicial, a modelagem matemática caixa cinza empregada representou de forma confiável o comportamento dinâmico do sistema fotovoltaico.

Agradecimentos

Agradecemos a URI pelo apoio financeiro e estrutura.

Referências

- [1] L. A. Aguirre, Introdução à identificação de sistemas - Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais, 3^a edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.
- [2] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE. *Photovoltaics Report*. Freiburg, 2015. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/photovoltaics-report-slides.pdf>. Acessado: 10/02/2016.
- [3] E. A. Silva, F. Bradaschia, M. C. Cavalcanti e A. J. Nascimento, Jr. Parameter Estimation Method to Improve the Accuracy of Photovoltaic Electrical Model. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2015. DOI: 10.1109/JPHOTOV.2015.2483369.
- [4] M. G. Villalva, J. R. Gazoli e E. R. Filho. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, volume 24, 2009. DOI: 10.1109/tpel.2009.2013862.