

USO DE CARGA CAPACITIVA PARA LEVANTAMENTO DA CURVA I-V DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

Fernando Schuck de Oliveira – fernandoschuck@hotmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar
Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá
Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar
Fabiano Perin Gasparin – gasparin.fabiano@gmail.com.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar

Resumo. A determinação da curva I-V de um módulo ou arranjo fotovoltaico é fundamental na caracterização elétrica do dispositivo e dos sistemas fotovoltaicos. A medida da curva característica de um módulo ou arranjo fotovoltaico proporciona informação relevante para o projeto, instalação, gerenciamento, manutenção e operação de um sistema. A curva de um arranjo fotovoltaico pode ser determinada a partir das curvas individuais dos módulos que compõem o arranjo, no entanto existem perdas de potência por associação que implicam em se obter, usando este método, uma potência maior que aquela que o arranjo realmente poderia entregar. Neste trabalho propõe-se o uso de um circuito que utiliza capacitores e transistores IGBTs (insulated gate bipolar transistor) como carga para polarizar o arranjo fotovoltaico e permitir a medida dos pontos I-V pelo sistema de medida de curvas características de módulos fotovoltaicos utilizado no Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para os testes do protótipo foi utilizado um sistema fotovoltaico conectado à rede de 4,8 kW_p que está dividido em 3 arranjos de 1,6 kW_p instalado no prédio do laboratório. As medições preliminares e aquisições de curvas de arranjos demonstraram a simplicidade da utilização da carga capacitiva para polarizar arranjos fotovoltaicos.

Palavras-chave: Energia Solar, Carga Capacitiva, Arranjo Fotovoltaico, Curva I-V.

1. INTRODUÇÃO

Analisando a evolução da capacidade mundial instalada de sistemas fotovoltaicos, fica evidente a importância que essa fonte de energia tem conquistado nos últimos anos na matriz energética de diversos países. No ano de 2000 a potência fotovoltaica instalada no mundo era de 1,4 GW, enquanto que no final de 2012 a potência instalada era de aproximadamente 96,5 GW (IEA, 2013). Em 2012 o mercado global de energia solar fotovoltaica estabilizou-se em níveis similares ao ano de 2011. A Alemanha instalou em 2012 cerca de 7,6 GW e continua sendo o país com a maior potência instalada acumulada com aproximadamente 32 GW. A Itália, depois de instalar 9,3 GW em 2011 e 3,3 GW em 2012 tem uma potência fotovoltaica acumulada com aproximadamente 16,2 GW. Alemanha e Itália, geraram a partir da energia solar fotovoltaica, cerca de 5,6 % e 5,75 % da energia elétrica em 2012, respectivamente (IEA, 2013). A China foi o segundo mercado de energia solar fotovoltaica em 2012, instalando uma potência de 3,5 GW. Na sequência pode-se destacar os Estados Unidos e Japão com instalações fotovoltaicas, em 2012, de 3,3 GW e 2 GW, respectivamente. Atualmente existem 13 países com capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos acima de 1 GW (IEA, 2013). No ano de 2012 foram instalados aproximadamente 28,4 GW_p de potência fotovoltaica no mundo. Os sistemas fotovoltaicos respondem por aproximadamente 0,5 % da produção de energia elétrica no mundo.

A energia solar fotovoltaica tem atributos que a tornam única. O fato de ser possível incrementar a produção tão rapidamente e a tecnologia se desenvolver a partir de infraestrutura existente faz com que a taxa de inovação no segmento seja muito maior que nos demais setores de energia. Na realidade, esta taxa situa-se mais próxima de setores como TI, com suas mudanças constantes. Além de uma extensa variedade de pesquisa em novas tecnologias, há constantes inovações na indústria que vêm reduzindo significativamente o custo por unidade de energia assegurada das tecnologias disponíveis comercialmente via novos produtos e processos de produção, disposição, comercialização, financiamento e instalação (ABINEE, 2012).

No caso do Brasil, a realidade da energia solar fotovoltaica ainda está muito longe dos patamares dos países precursores na utilização desta fonte energética. Paralelo a esse fato, em um estudo publicado por Breyer e Gerlach (2013), a paridade de rede para sistemas fotovoltaicos já seria atingida em 2013 para sistemas residenciais e estará muito próxima para sistemas industriais. De acordo com esse estudo, a paridade de rede será uma realidade altamente favorável à energia solar fotovoltaica para sistemas residenciais e industriais já no ano de 2016.

As primeiras centrais fotovoltaicas com potências da ordem de 1 MW_p foram instaladas recentemente ou estão em fase de implantação no Brasil. A chamada nº 13/2011 da Agência Nacional de Energia Elétrica denominada Projeto

Estratégico: Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira aprovou diversos projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação de centrais fotovoltaicas entre 0,5 MW e 3 MW a serem concluídos nos próximos 2 anos totalizando 24,4 MW. Também se destacam neste cenário promissor para o aproveitamento da energia solar fotovoltaica iniciativas como a resolução normativa 482/2012 da ANEEL, na qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração (potências menores ou iguais a 100 kW) e minigeração (potências maiores que 100 kW e menores ou iguais a 1 MW) aos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012). Diversas distribuidoras de energia elétrica recentemente disponibilizaram manuais de procedimentos estabelecendo a regulamentação e requisitos necessários para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico das empresas.

Outro marco importante que deve ser destacado é o programa brasileiro de etiquetagem de módulos fotovoltaicos e inversores do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). A Portaria nº 004 de 4 de janeiro de 2011 aprovou a revisão dos requisitos de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (INMETRO, 2011). O atual processo de regulamentação elimina uma das maiores barreiras ao desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil. Krenzinger e Zilles (2012) estimam que no ano de 2020 os sistemas fotovoltaicos contribuam com cerca de 1 % a 2 % da geração de energia elétrica e que a potência acumulada será da ordem de 10 GW.

2. CURVA I-V DE MÓDULOS E ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

Para a avaliação e análise do desempenho elétrico de um módulo fotovoltaico é imprescindível a determinação da curva (*I-V*) de corrente *versus* tensão denominada curva característica. A partir da curva *I-V* é possível obter importantes informações sobre as características elétricas do módulo fotovoltaico como, por exemplo, a máxima potência que o dispositivo é capaz de fornecer em uma dada condição de temperatura e irradiância solar. A determinação desta curva deve ser realizada dentro de condições específicas, denominada condição padrão de ensaio. Quando a curva *I-V* é obtida fora da condição padrão, ou quando se deseja conhecer o comportamento da curva em uma condição diferente da medida, torna-se necessária a aplicação de algum método de correção. Combinando as informações obtidas a partir da caracterização elétrica do dispositivo, dados meteorológicos e informações dos demais componentes de um sistema fotovoltaico é possível determinar índices de produtividade, como por exemplo, a energia convertida em um determinado período. A medida da curva *I-V* proporciona informação relevante para o projeto, instalação, gerenciamento, manutenção e operação de um sistema fotovoltaico.

A confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos está baseada na capacidade da correta previsão do seu comportamento durante a sua vida útil, sendo que uma parte fundamental dos trabalhos de avaliação dos respectivos sistemas é a caracterização dos módulos e arranjos e a determinação dos parâmetros que influenciam no seu comportamento (Silva et. al., 2012). A determinação da curva *I-V* permite conhecer informações sobre a qualidade e eficiência do dispositivo elétrico. Os módulos fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com o seu fator de forma que é expresso na Eq. (1).

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

onde: FF é o fator de forma; I_{PMP} é a corrente no ponto de máxima potência; V_{PMP} é a tensão no ponto de máxima potência; I_{SC} é a corrente de curto-circuito; V_{OC} é a tensão de circuito aberto.

Outro parâmetro de avaliação é a eficiência do módulo fotovoltaico que pode ser descrita de acordo com a Eq. (2).

$$\eta_{mod} = \frac{FF \cdot I_{SC} \cdot V_{OC}}{G \cdot A_{mod}} \quad (2)$$

onde: η_{mod} é a eficiência do módulo; G é a irradiância incidente; A_{mod} é a área do módulo.

A conversão de energia a partir de sistemas fotovoltaicos, principalmente em aplicações em que energia é injetada na rede, necessita a associação de diversos módulos formando o que se denomina de arranjo fotovoltaico. As propriedades elétricas de um módulo são expressas a partir da curva *I-V*, permitindo assim a determinação de sua qualidade e desempenho (Prieb, 2002). A curva *I-V* de um arranjo fotovoltaico pode ser determinada a partir das curvas individuais dos módulos que compõem o arranjo, no entanto existem perdas de potência por associação que implicam em se obter, usando este método, uma potência maior que aquela que o arranjo realmente poderia entregar (Rampinelli, 2007). A curva *I-V* de um módulo fotovoltaico pode ser obtida de formas variadas. O método usado no Laboratório de Energia Solar da UFRGS (LABSOL) para obtenção da curva de um módulo usa um sistema de aquisição de dados e uma fonte programável como carga eletrônica, conforme descrito por Gasparin (2009). Este sistema possui tensão máxima de 100 V e corrente máxima de 10 A, devido às características da fonte programável Kepco modelo BOP 100-10MG utilizada como carga eletrônica, sendo possível utilizá-lo em arranjos que superem o limite de tensão em

pequena proporção, associando uma segunda fonte em série. Uma alternativa para contornar as limitações implicadas pelo uso de uma fonte é substituí-la por um circuito com capacitores para polarizar o módulo desde a corrente de curto circuito (I_{SC}) até a tensão de circuito aberto (V_{OC}).

Prieb e Krenzinger (2007) apresentaram uma maneira de determinar a curva características de arranjos utilizando uma carga resistiva variável manualmente e sincronizado com um sistema de aquisição de pares I - V obtendo bons resultados. Entretanto uma carga eletrônica permite uma varredura mais rápida e com maior flexibilidade de parâmetros.

Os sistemas comerciais para determinação de curvas I - V de arranjos fotovoltaicos não podem medir, atualmente, correntes superiores a 100 A (Neuenstein e Podewils 2009 apud Martínez-Moreno et. al., 2012). O Instituto de Energia Solar da Universidad Politécnica de Madrid desenvolveu um equipamento capaz de medir correntes de até 900 A e tensões de até 900 V mediante um aperfeiçoamento de uma carga capacitiva implementada por Muñoz e Lorenzo (2006). A Fig. 1 apresenta a curva I - V de um gerador fotovoltaico com potência nominal de 500 kW. A corrente de curto circuito é de 709 A, a tensão de circuito aberto é de 780 V e a potência do ponto de máxima potência é da ordem de 400 kW.

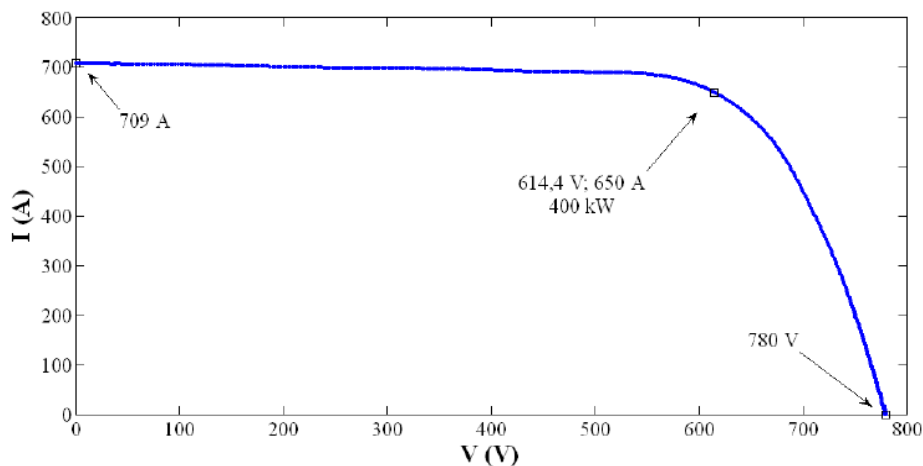


Figura 1 – Curva I - V de um gerador fotovoltaico de 500 kW medida por um sistema desenvolvido no IES-UPM (Martínez-Moreno et. al., 2012)

O Laboratório de Energia Solar da UFRGS está iniciando o desenvolvimento de um sistema portátil de aquisição de curvas características de arranjos fotovoltaicos de grande porte. O sistema deverá ser capaz de medir curvas de arranjos com correntes de até 100 A e tensões de até 1000V, dotado de facilidades de aquisição e armazenamento de dados e fazendo uso de processamento embarcado para rápida e precisa análise dos resultados. Inicialmente, o primeiro protótipo da carga capacitiva para determinação de curvas de arranjos de pequena potência que utiliza capacitores e transistores IGBTs (*isolated gate bipolar transistor*) para polarizar o arranjo fotovoltaico, foi montado acoplado ao sistema de medidas de pares I - V já existente no Laboratório. Este protótipo foi utilizado para determinar a curva I - V dos arranjos que compõem o sistema fotovoltaico conectado à rede do Laboratório de Energia Solar (LABSOL) que tem potência nominal de 4800 W e está instalado no prédio do mesmo. Esta instalação é composta por 48 módulos que, na condição padrão (irradiância de 1000 W/m^2 , temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e espectro equivalente à massa de ar 1,5), apresentam 100 W_p e tensão nominal de 24 V. O sistema fotovoltaico é organizado em três arranjos de 16 módulos. Estes arranjos, por sua vez, são formados a partir de duas séries de oito módulos conectadas em paralelo. Os módulos fotovoltaicos que compõem esta instalação foram ensaiados individualmente por Krenzinger e Prieb (2005) permitindo que a curva do arranjo fotovoltaico seja comparada com a curva resultante obtida a partir da soma das curvas individuais dos módulos que compõem o arranjo.

O princípio básico que se utiliza para medir a curva I - V de um módulo fotovoltaico está baseado na leitura da corrente que circula pelo módulo quando a tensão é incrementada gradualmente entre o ponto de curto circuito e o ponto de circuito aberto, nesta varredura os valores de tensão e corrente devem ser medidos simultaneamente. Para proporcionar a varredura de tensão foi montado um circuito semelhante ao da carga capacitiva proposta por Muñoz e Lorenzo (2006). Para a aquisição dos pares I - V utilizou-se o sistema detalhadamente descrito em Gasparin (2009), do qual foi retirada a fonte usada como carga eletrônica, além de outras modificações necessárias para adaptar o circuito da carga capacitiva ao traçador de curvas características utilizado no LABSOL.

3. DESCRIÇÃO DO CIRCUITO USADO COMO CARGA CAPACITIVA

O circuito proposto por Muñoz e Lorenzo (2006) usa transistores modelo IGBT para o chaveamento dos capacitores. Os transistores IGBT combinam a característica de controle de chaveamento por tensão do Mosfet e a atuação rápida e a alta potência, características de transistores bipolares (Lander, 1996). Os capacitores são usados

como carga para o arranjo. O capacitor carrega-se polarizando o arranjo nos diversos pontos da curva característica sendo estes pontos medidos por dois multímetros da marca Agilent, modelo 3458A, independentes e sincronizados. Estes equipamentos, junto com outros, compõem o sistema de medição utilizado no LABSOL para levantar a curva característica de módulos fotovoltaicos. A tensão é medida diretamente do arranjo e a corrente através de um resistor *shunt* calibrado. A Fig. 2 apresenta o circuito da carga capacitiva usada no âmbito desse trabalho com as devidas modificações.

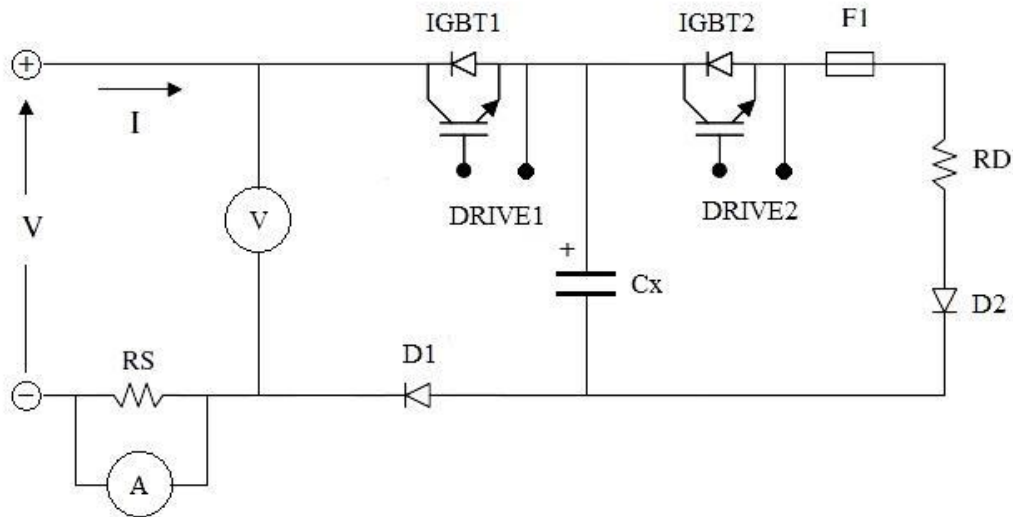


Figura 2 – Circuito de chaveamento dos capacitores (adaptado de Muñoz e Lorenzo, 2006).

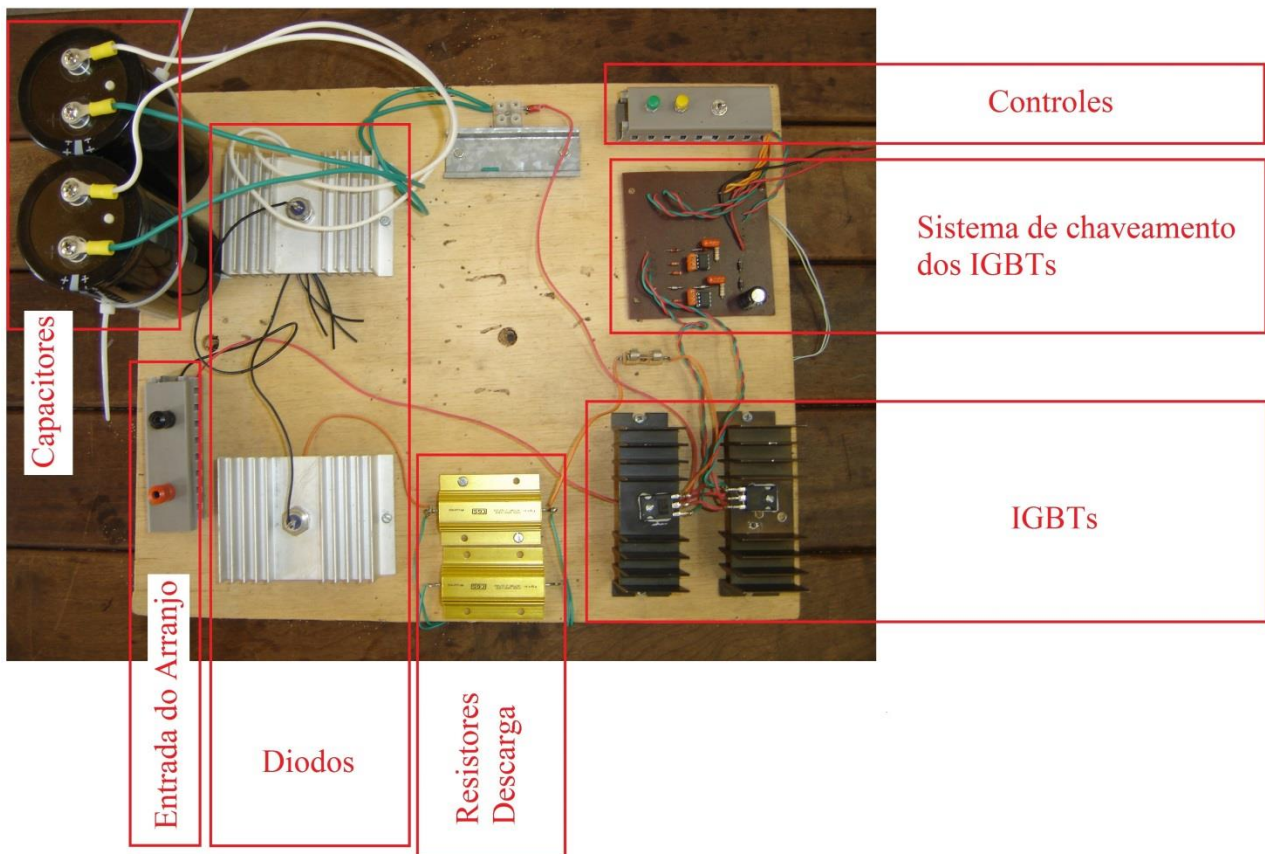


Figura 3 – Protótipo do circuito de chaveamento dos capacitores

Para a montagem do circuito da Fig. 2 foram utilizados os IGBTs modelo IRGP4063DPbF. Estes transistores suportam uma tensão de 600 V e uma corrente de 48 A em modo contínuo. Os diodos usados foram os de modelo SKN 71/08 para tensões reversas de até 800 V e corrente de 150 A. O fusível é de 1 A e o resistor R_S é um *shunt* com constante de calibração 300 mV/10 A.

A capacitância C_x é obtida por um capacitor ou por uma associação de capacitores. O tempo de carga do capacitor é calculado pela Eq. (3), entretanto o tempo encontrado por esta equação é menor daquele que realmente leva na aplicação real, pois esta equação é deduzida supondo o arranjo fotovoltaico uma fonte de corrente ideal conforme apresentado na Fig. 4 (Muñoz e Lorenzo, 2006).

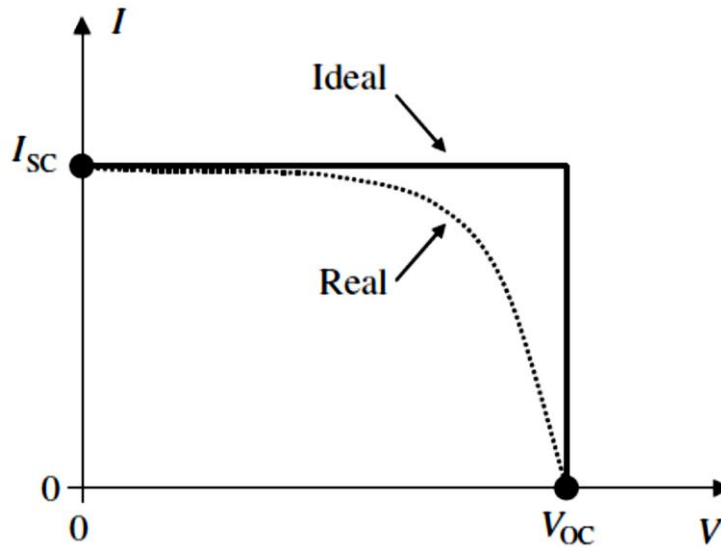


Figura 4 – Curva I - V (Muñoz e Lorenzo, 2006).

A definição da capacitância a ser usada depende do tempo de aquisição do sistema e das características elétricas do arranjo. As séries de módulos a serem medidas nesse trabalho apresentam tensão de circuito aberto de 320 V e corrente de curto circuito de 3,2 A. O sistema instalado no LABSOL permite fazer diversas combinações entre as séries de módulos formando, por exemplo, arranjos com dois, três ou quatro séries de módulos.

$$t_c = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} \times C \quad (3)$$

onde: t_c é o tempo de aquisição (tempo de carga do capacitor); I_{SC} é a corrente de curto-circuito; V_{OC} é a tensão de circuito aberto e C é o valor da capacitância.

Para o chaveamento dos IGBTs utiliza-se um circuito auxiliar de chaveamento, cujo principal componente é o optoacoplador HCPL3120. Este circuito é descrito por (Muñoz e Lorenzo, 2006) e pode ser visto na Fig. 5.

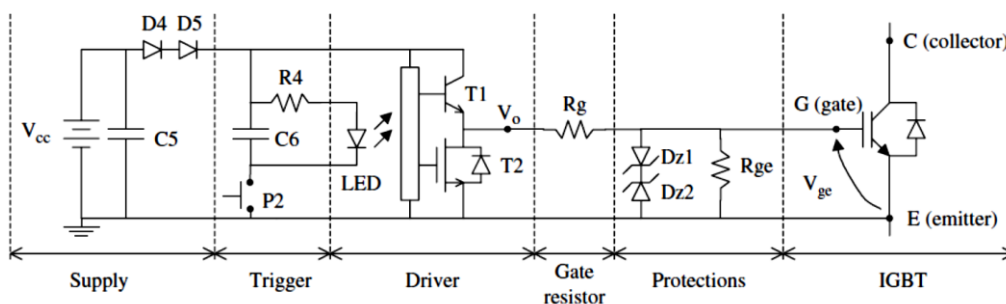


Figura 5 – Circuito auxiliar de chaveamento (Muñoz e Lorenzo, 2006).

Para cada IGBT utiliza-se um circuito independente. O IGBT1 é usado para o chaveamento do capacitor com o arranjo e o IGBT2 para descarregar o capacitor após as medidas. É importante salientar que os IGBTs nunca devem ser disparados simultaneamente. O disparo (*trigger*) da carga capacitiva se dá de forma manual e independente do sistema de aquisição, através de um interruptor de pressão normalmente aberto.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A forma de conexão do sistema fotovoltaico permite que sejam obtidas curvas I - V dos arranjos e séries de módulos separadamente. Os arranjos foram medidos com irradiâncias que variaram entre 860 W/m² e 880 W/m² enquanto a temperatura de célula nos ensaios foi da ordem de 65 °C. Os valores de irradiância solar e temperatura de célula foram

obtidos pelo sistema de monitoramento da instalação fotovoltaica descrito por Dias (2006). Para a obtenção das curvas na condição padrão, é necessário aplicar algum método de translação de curvas como, por exemplo, o método descrito na norma brasileira NBR 12302. Uma discussão aprofundada sobre aplicação de métodos de translação de curvas pode ser visto em Bühler (2011).

O tempo de aquisição de cada par $I-V$ foi de $800 \mu\text{s}$ e foram medidos 2500 pontos durante a varredura. Em todas as medidas foi utilizada uma associação em paralelo de dois capacitores de $4700 \mu\text{F} \times 450 \text{V}$. A Fig. 6 mostra o que ocorre durante um período de aquisição de dados. No tempo 755 ms a corrente salta de zero para 8,7 A quando a carga do capacitor dá início. Evidentemente neste mesmo instante a tensão do arranjo inicia seu progresso até o valor final de 288 V. Aplicando a simplificada Eq.(3) seria obtido um tempo de carga de 310 ms. A Fig. 6 permite ver que a carga durou cerca de 700 ms. O gráfico também permite observar que a parte mais significativa da varredura (entre 750 ms e 1350 ms) teve duração de 600 ms, correspondendo a uma aquisição de dados da ordem de 750 pares $I-V$. Esta densidade de pontos é muito boa, dada a experiência de ensaios no LABSOL, assume-se que a partir de 300 pontos por cada curva os resultados já são de muito boa qualidade.

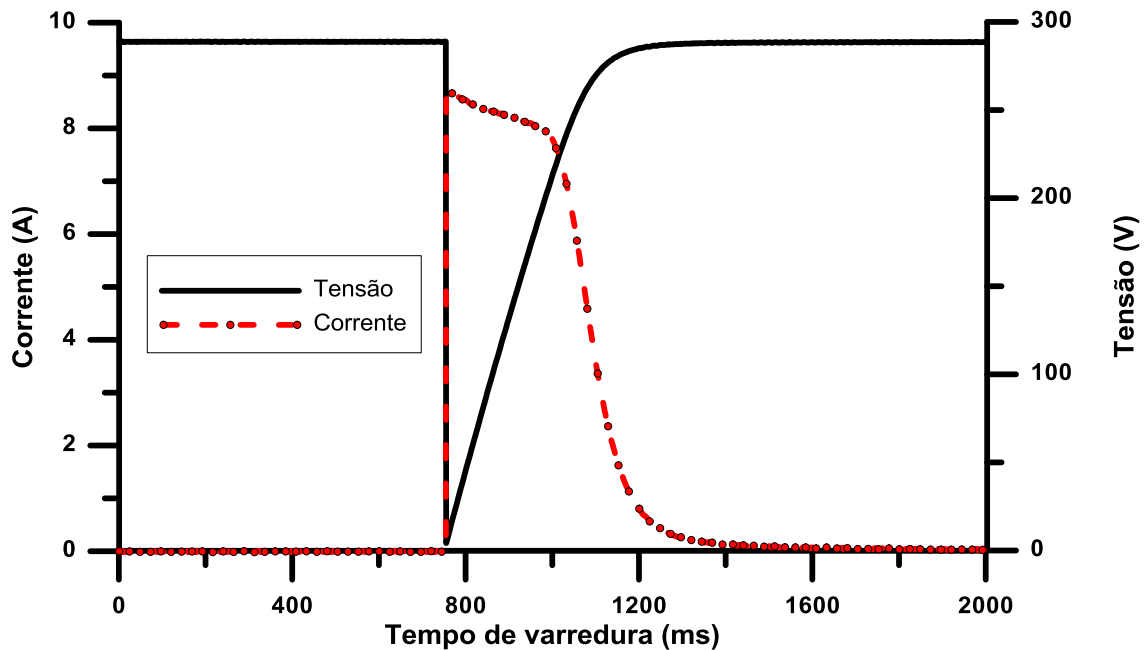


Figura 6 – Curvas de tensão e corrente em função do tempo durante a carga do capacitor, com dados adquiridos durante a varredura para medir um arranjo com três séries de módulos em paralelo.

Ressalta-se aqui que para garantir a qualidade das medidas não há necessidade de comprovação através de comparações de curvas características de um mesmo arranjo com dois equipamentos diferentes. O sistema de aquisição de dados está exaustivamente validado por um grande número de verificações realizadas nos últimos anos, havendo total segurança na exatidão das medidas de grandezas elétricas (melhor que 0,1% na tensão e 0,3% na corrente) e no perfeito sincronismo das capturas dos valores de tensão e de corrente, procedimento assegurado pelo controle de um sinal de *trigger* externo, também validado experimentalmente. O equipamento em desenvolvimento, cujo primeiro protótipo se apresenta neste trabalho, envolve apenas a carga eletrônica que faz o papel de polarizar o arranjo. Desta forma não há como o estímulo influenciar a qualidade da aquisição de dados, e, conseqüentemente, a exatidão da medida da curva $I-V$.

A medida da curva $I-V$ do arranjo permite a determinação de parâmetros importantes como tensão de circuito aberto, tensão do ponto de máxima potência, corrente de curto circuito e corrente do ponto de máxima potência. As informações permitem a caracterização completa do arranjo ou série de módulos e são fundamentais na pesquisa, no comissionamento da instalação e na manutenção. Além dos pontos básicos, através das formas das curvas é possível extrair informações sobre a deterioração de módulos ou de bloqueio da luz por sujeiras, sombras ou por problemas de transmissividade dos materiais da cobertura dos módulos.

A Fig. 7 e a Fig. 8 apresentam, respectivamente, a curva $I-V$ e a curva $P-V$ de uma das séries de módulos. A aquisição dos dados foi realizada com irradiância de 868W/m^2 e temperatura de célula de $64,7 \text{°C}$. A Fig. 9 e a Fig. 10 apresentam, respectivamente, a curva $I-V$ e a curva $P-V$ de um dos arranjos com três séries de módulos em paralelo. A aquisição dos dados foi realizada com irradiância de 865W/m^2 e temperatura de célula de $65,3 \text{°C}$.

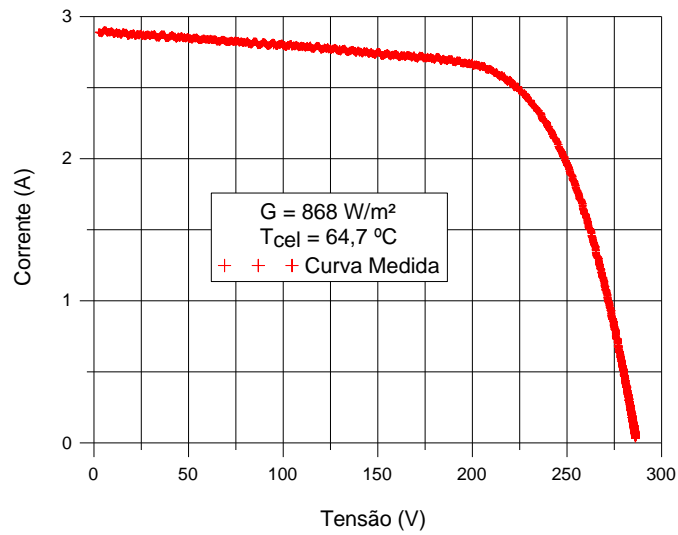


Figura 7 – Curva I-V de uma série de módulos.

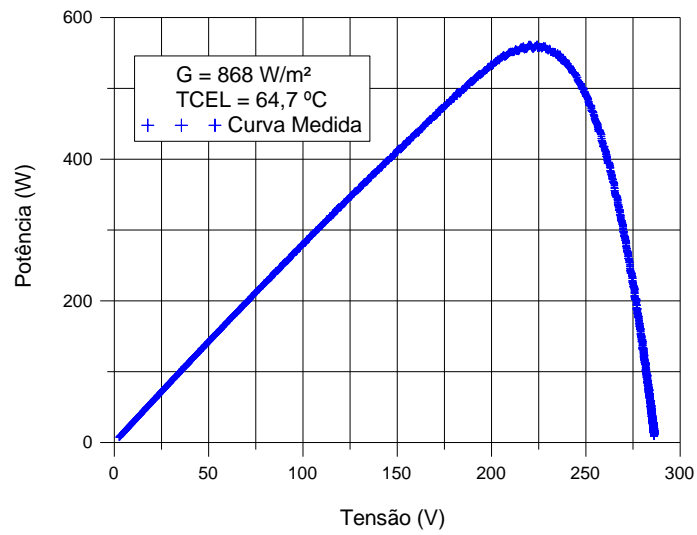


Figura 8 – Curva P-V de uma série de módulos.

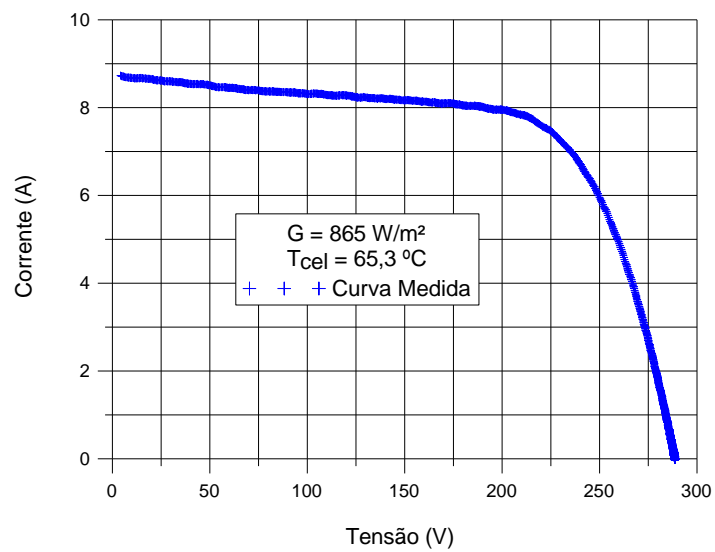


Figura 9 – Curva I-V de um arranjo com três séries de módulos em paralelo.

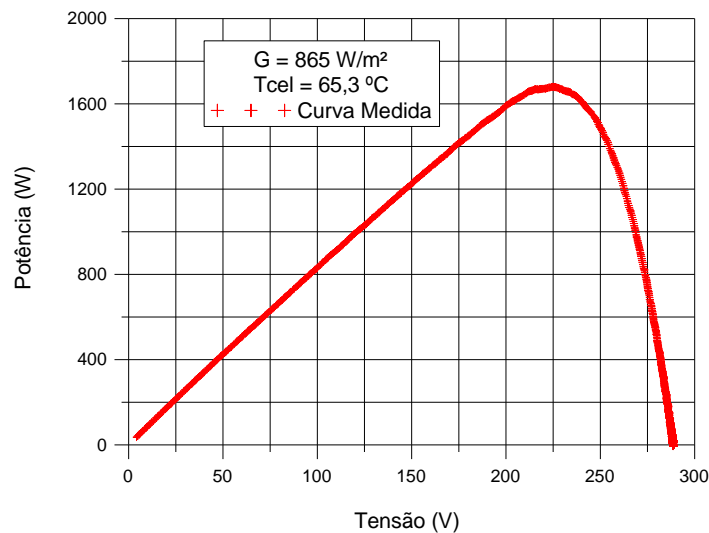


Figura 10 – Curva P - V de um arranjo com três série de módulos em paralelo.

5. CONCLUSÕES

A curva I - V de um arranjo fotovoltaico pode ser obtida a partir das curvas individuais dos módulos que compõem o gerador, entretanto este método não considera as perdas por associação. Para a correta determinação da curva característica do arranjo deve ser utilizado um sistema de aquisição de curvas que seja capaz de operar dentro dos limites de tensão e corrente do mesmo.

A determinação da curva características de arranjos fotovoltaicos é uma importante ferramenta de análise do funcionamento de sistemas fotovoltaicos. Ela fornece informações importantes em uma eventual falha do sistema e permitem identificar falhas que a simples medição da energia produzida não identificaria.

Este trabalho apresentou a descrição e o desenvolvimento do protótipo de um sistema de aquisição de arranjos fotovoltaicos que utiliza uma carga capacitiva. O sistema de aquisição de curvas de arranjos está sendo desenvolvido no Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para os testes iniciais do protótipo foi utilizado um sistema fotovoltaico conectado à rede de 4,8 kW_p que é dividido em 3 arranjos de 1,6 kW_p e está instalado no prédio do laboratório. Os resultados preliminares para as aquisições de curvas de arranjos mostraram a simplicidade que a carga capacitiva confere na determinação de curvas características de arranjos cuja potência supera os limites da fonte utilizada como carga eletrônica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro. O LABSOL é um laboratório associado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia, INCT-EREEA.

REFERÊNCIAS

- ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, 2012. Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Resolução Normativa nº482.
- Breyer, C. e Gerlach, A., 2013. Global Overview on Grid-Parity. Progress in Photovoltaics: Research and applications. Volume 21; pp. 121-136.
- Bühler, A. J., 2011. Estudo de Técnicas de Determinação Experimental e Pós-Processamento de Curvas Características de Módulos Fotovoltaicos. Tese de Doutorado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Dias, J. B., 2006. Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede: Estudo Experimental para a Otimização do Fator de Dimensionamento. Tese de Doutorado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Gasparin, F. P., 2009. Desenvolvimento de Um Traçador de Curvas Características de Módulos Fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- IEA-PVPS, International Energy Agency- Photovoltaic Power Systems Programme, 2013. PVPS Report A Snapshot of Global PV 1992-2012. Preliminary Information from the IEA PVPS Programme.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2011. Portaria nº 004 de 4 de janeiro.
- Krenzinger, A; Zilles, R., 2012. Fotovoltaica en Brasil: Potencial, Mercado y Políticas Públicas. XV Congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de Energia Solar. Vigo, Galicia, Espanha.
- Krenzinger, A; Prieb, C. W. M., 2007. Determinação de Curva Característica de Arranjo Fotovoltaico. I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, CE.

- Krenzinger, A; Prieb, C. W. M., 2005. Clasificación y Selección de Módulos Fotovoltaicos para una Central Conectada a la Red. Avances en Energía Solar y Medio Ambiente, Argentina, Vol. 9, n. 4, pp 19-23.
- Lander, Cyril W., 1996. Eletrônica Industrial: teoria e aplicações, Makron Books.
- Martínez-Moreno, F.; Moretón, R.; Lorenzo, E.; Muñoz, J., 2012. Alternativas de Ensayo de Potencia Sobre Grandes Generadores Fotovoltaicos. XV Congresso Ibérico y X Congresso Iberoamericano de Energia Solar. Vigo, Galicia, Espanha.
- Muñoz, J.; Lorenzo, E., 2006. Capacitive Load Based on IGBTs for on site Characterization of PV Arrays. Solar Energy, vol 80, 11, pp. 1489-1497.
- Prieb, C.W.M., 2002. Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Rampinelli, G. A., 2007. Análise da Distribuição de Tensões Elétricas em Uma Associação de Módulos de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Silva, J. P.; Asenjo, B.; Vela, N.; Chenlo, F., 2012. Caracterización de Módulos Fotovoltaicos de Diversas Tecnologias en el Marco del Proyecto INNDISOL. XV Congresso Ibérico y X Congresso Iberoamericano de Energia Solar. Vigo, Galicia, Espanha.

USE OF CAPACITIVE LOAD TO DETERMINE I-V CURVES OF PHOTOVOLTAIC ARRAYS

Abstract. *The determination of the current versus voltage characteristic I-V curve is very important to qualify the electrical properties of a photovoltaic device. From the I-V curve it is possible to obtain important information about the electrical characteristics of the PV module. The measurement of the characteristic curve of a module or PV array provides relevant information for design, installation, management, operation and maintenance of a PV system. The curve of a PV array can be determined from the individual curves of the modules of the array, but there are power losses by association. In this paper we propose the use of a circuit that uses capacitors and IGBTs transistors to determine the I-V curve of the PV array with the I-V tracer of the Solar Energy Laboratory LABSOL of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). The device was used for testing a grid-connected photovoltaic system of 4.8 kWp. This plant was divided in three arrays. Each array is constituted by two strings of 100 W_p/24 V modules with mono-crystalline silicon cells. Preliminary measurements of arrays curves showed the simplicity of using a capacitive load to characterize PV arrays.*

Key words: *Solar Energy, Capacitive Load, Photovoltaic Array, Curve I-V.*