

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA UNIDADE INTELIGENTE DE CONVERSÃO E CONEXÃO (BICC) PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE E COM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

Lauro de Vilhena Brandão Machado Neto – lvilhena@pucminas.br

Flávio Mauricio de Souza – flaviomauricio@pucminas.br

Suellen Caroline Silva Costa – suellencscosta@gmail.com

Antonia Sonia Alves Cardoso Diniz – asacd@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Grupo de Estudos em Energia (GREEN)

Marcio Eli M. de Souza – msouza@cemig.com.br

Denio Alves Cassini – dac@cemig.com.br

Francisco Hering Alves de Freitas Souza – fhering@cemig.com.br

Danilo Derick Silva Alves – danilo.silva@cemig.com.br

Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)

Wilton de Castro Padrão – wpadrao@engetron.com.br

Flávio Marcos Coelho Michel – flavio.marcos.michel@gmail.com

Engetron Ltda

Delly Oliveira filho – delly@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Resumo. Este artigo apresenta estudos e implementação de um novo sistema fotovoltaico com armazenamento conectado à rede. O objetivo deste projeto é validar a operação e determinar os benefícios e as limitações em integrar o armazenamento com sistemas fotovoltaicos conectados à rede, visando avaliar a viabilidade do uso de armazenamento de eletricidade complementar para atender às demandas de pico dos locais no período noturno - "night-time peak shaving" em uma curva de carga típica do alimentador da CEMIG D. A unidade de controle versátil e nova - a unidade inteligente de conversão e conexão bidirecional - BICC foi desenvolvida para controlar o fluxo de energia a partir das fontes de eletricidade - gerador fotovoltaico, banco de baterias, e rede elétrica. Na concepção deste sistema eletrônico foi adotada uma topologia em que o inversor e a máxima potência de rastreamento- MPPT maximize a potência disponível ao incorporar dois conversores separados e independentes. Na primeira fase do projeto, um protótipo do sistema - FV com o armazenamento ea unidade BICC foi instalado no GREEN Solar-IPUC na PUC Minas e esteve sob teste para avaliar seu desempenho. Estes ensaios foram usados para otimizar os parâmetros do sistema, a fim de melhorar a BICC e os seus parâmetros de interface e garantir um funcionamento seguro do sistema de FV-Armaazenamento com a rede. Este artigo relata o design e as vantagens da BICC, os procedimentos utilizados na otimização dos parâmetros do protótipo, a eficácia da BICC em melhorar o controle e conexão, a conformidade com as normas, bem como a viabilidade de escala para o segundo teste de fase conectada à rede elétrica (para a concessionária CEMIG D) com armazenamento no estádio de futebol, Arena do Jacaré, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais.

Palavras-chave: Conectado à rede, Sistema de armazenamento, Conversão bidirecional

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria fotovoltaica vem apresentando um significativo crescimento da capacidade instalada mundial, de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica, como micro e mini geração distribuída e plantas solares, tendo alcançado até o final de 2014 mais de 150 GW.

Apesar do desenvolvimento significativo da tecnologia fotovoltaica nos últimos anos, a intermitência da geração fotovoltaica é uma grande desvantagem para a tecnologia. Para mitigar os efeitos da intermitência, bem como a falta de geração de energia elétrica nos horários de ponta do sistema elétrico, uma nova opção tecnológica é a geração distribuída com sistema fotovoltaico, conectado à rede elétrica com armazenamento. Os sistemas de armazenamento são classificados como recursos energéticos distribuídos e podem ser utilizados para diminuir significativamente os efeitos adversos da intermitência em sistemas fotovoltaicos. Isso é especialmente benéfico para a redução da demanda de energia elétrica em horário de pico vivida por muitas concessionárias de energia elétrica (Toledo, Oliveira e Diniz, 2012).

No entanto, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede com armazenamento ainda não estão no estado da arte para serem incorporados ao sistema de energia elétrica. Tecnologias de armazenamento de energia cobrem um amplo espectro de várias aplicações no sistema elétrico de potência, incluindo o gerenciamento de energia (gestão de oferta e

demanda), equilibrando curva de carga, e corte de pico (Toledo, Oliveira e Diniz, 2012). Um dos primeiros sistemas de FV/armazenamento relatados foi instalado na rede de distribuição da American Electric Power (AEP), em Albuquerque, Novo México, com 10 MVA, 480 V, descarga de baterias em 4-10 horas, dependendo dos alimentadores de carga (Nourai, 2007).

O número de instalações deste tipo de sistemas fotovoltaicos triplicou no período 2013-2015, tendo atingido 775 MW (IEA, 2014; Photon Magazine, 06/2015). Este crescimento está ocorrendo nos principais segmentos de mercado - residencial, comercial e serviços. Embora a tendência de crescimento do mercado ocorra em todos os três segmentos de mercado, existem diferenças importantes, dependendo do local de instalação. A Alemanha e Japão vão dominar o mercado residencial, respondendo por quase 70% das instalações em 2014 (PV Tech, 2015). O mercado em ambos os países tem sido impulsionado por subsídios, que ajudam a impulsionar a adoção de sistemas de armazenamento de energia com sistemas fotovoltaicos conectados a rede (Toshiba, 2012).

A Geração Distribuída representa um novo paradigma para os sistemas elétricos de potência. A sua inserção cada vez maior requer uma nova visão sobre os sistemas elétricos centralizados. Essa nova concepção tem como benefício principal o aumento da confiabilidade do sistema, contribuindo com o desenvolvimento energético sustentável. No entanto, para que essa transição ocorra de forma segura é necessário o desenvolvimento de mais pesquisas na área, possibilitando a inserção da Geração Distribuída de forma adequada (Alanne and Saari 2006; Bakos 2009; Dalton, Lockington et al. 2009).

Apesar do crescimento significativo da inserção de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica, em anos recentes, esta tecnologia ainda possui um número significativo de obstáculos, para consolidação no mercado incluindo: pesquisa e desenvolvimento tecnológico das baterias e sistemas de conexão e controle da interligação com a rede elétrica; elevados custos; baixa maturidade tecnológica, devido aos poucos estudos de monitoramento da conexão e controle da interligação deste tipo de sistemas.

O projeto CEMIG D/ANEEL P&D D308 é um pioneiro na área de sistemas fotovoltaicos com armazenamento conectado a rede elétrica, no Brasil, visto que vislumbrou a necessidade do crescimento desta tecnologia para postergação de investimentos na rede de distribuição, reduzindo o pico da ponta de demanda noturna.

O desenvolvimento com tecnologia nacional de uma unidade de conexão e controle deste complexo sistema fotovoltaico com armazenamento, em parceria com a indústria mineira, exigiu de todos os parceiros ultrapassar desafios não esperados, ocasionando atraso do projeto, comprometendo a fase de monitoração do protótipo e identificação dos problemas de interligação, necessitando de postergação para conclusão dos trabalhos.

Este artigo apresenta estudos e a implementação de um novo sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento (apoiado pelo projeto de P&D CEMIG/ANEEL D308, em parceria com a CEMIG Distribuição (CEMIG-D)). O objetivo deste projeto é validar a operação e determinar os benefícios e as limitações em integrar o armazenamento com sistemas fotovoltaicos conectados à rede, visando avaliar a viabilidade do uso de armazenamento de eletricidade complementar para atender às demandas de pico noturnas dos locais ("*night-time peak shaving*") em uma curva de carga típica do alimentador da CEMIG D (com estas demandas noturnas típicas de pico de energia elétrica para esta área do Brasil). Uma unidade de controle versátil e nova (unidade inteligente de conversão e conexão bidirecional-BICC) foi desenvolvida para controlar o fluxo de energia a partir das fontes de eletricidade (gerador fotovoltaico, banco de baterias, e rede de energia elétrica).

Na concepção deste sistema eletrônico foi adotada uma topologia em que o inversor e o rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) maximizem a potência disponível (Boost SPM), incorporando dois conversores separados e independentes. Através deste protótipo em pequena escala, todos os testes/ensaios necessários para melhorar a unidade de controle e conexão são conduzidos para este sistema piloto. Este artigo relata o design e as vantagens da BICC, os procedimentos utilizados na otimização dos parâmetros do protótipo, a eficácia da BICC em melhorar o controle e conexão, a conformidade com as normas, bem como a viabilidade de escala para o segundo teste de fase conectada à rede elétrica (para a concessionária CEMIG) com armazenamento no estádio de futebol, Arena do Jacaré, localizado em Sete Lagoas, Minas Gerais.

Na primeira fase do projeto, um protótipo do sistema (FV com o armazenamento e a unidade BICC) foi instalado no GREEN-IPUC na PUC Minas (Campus Coração Eucarístico) e esteve sob teste para avaliar seu desempenho. Estes ensaios foram usados para otimizar os parâmetros do sistema, a fim de melhorar a BICC e os seus parâmetros de interface, além de garantir um funcionamento seguro com a rede. O objetivo da unidade de controle e conexão é administrar o carregamento e a inserção do sistema de armazenamento, o período que a energia é armazenada e, subsequentemente, injetar na rede, a fim de reduzir o impacto da demanda, assim converter a corrente contínua em corrente alternada (função básica do inversor). As simulações que levaram à concepção e desenvolvimento da unidade inteligente de conversão e conexão bidirecional (BICC) foram realizadas utilizando os softwares Matlab e Spice (Diniz et al, 2014).

Com a demonstração bem sucedida deste protótipo da BICC, a unidade-piloto do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica com armazenamento será instalado no estádio de futebol, Arena do Jacaré, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais, utilizando as lições aprendidas com o protótipo testado no laboratório GREEN Solar-IPUC/PUC Minas. Este sistema inclui um gerador fotovoltaico de 50 kWp, e sistema de armazenamento de energia de 100 kWh com duas unidades modulares separadas (cada uma de 50 kWh), e uma BICC aperfeiçoada, incluindo o inversor (microcontrolador com algoritmos com ponto de potência máxima, modulação e gerenciamento de conexões). O sistema será instalado sobre o telhado das arquibancadas do estádio de futebol, localizado na cidade de Sete Lagoas, no Estado de Minas Gerais. Esta região está localizada geograficamente nas coordenadas 19,47 ° e 44,22 ° sudoeste. As

arquibancadas têm uma área total de cerca de 1.146 m², com orientação deslocada de 14 ° para a esquerda do Norte Solar. Esta instalação está livre de obstáculos (árvores, edifícios, torres, etc.) que possam projetar qualquer sombra sobre o gerador fotovoltaico, sendo que todas as simulações para evitar sombreamento e melhorando o desempenho foram realizadas (Diniz et. al, 2014).

2. METODOLOGIA

Na primeira fase do projeto de P&D, o protótipo do sistema FV-armazenamento foi instalado no GREEN Solar-IPUC/PUCMinas. O sistema é composto por um gerador fotovoltaico de 5 kWp, unidade de armazenamento de bateria de 10 kWh, além do componente BICC. Através deste protótipo de pequena escala, todos os testes/ensaios necessários para validar e melhorar o funcionamento da unidade de controle e conexão foram realizados. Novamente, com a finalidade da unidade de controle e conexão administrar o carregamento e a inserção do sistema de armazenamento, período em que a energia é armazenada e, subsequentemente, injetar na rede convertendo a corrente c.c. em corrente c.a., a fim de reduzir o impacto da demanda no tempo em que ocorrem os picos. A Fig. 1 apresenta o diagrama que mostra a funcionalidade do protótipo e a Fig. 2 apresenta o esquema elétrico.

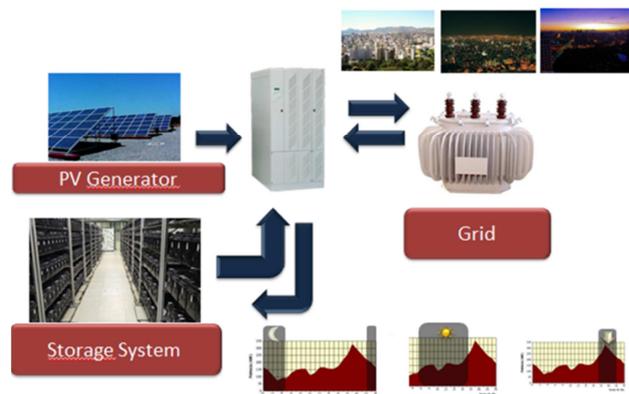


Figura 1 - Diagrama que mostra a funcionalidade do protótipo.

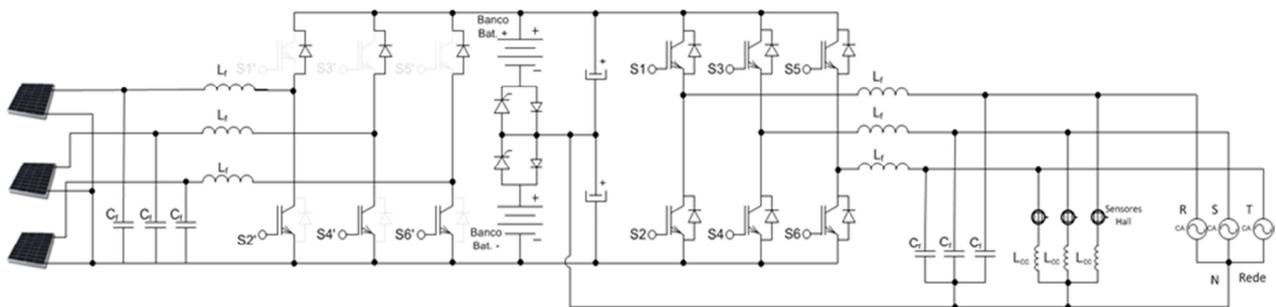


Figura 2 - Esquema elétrico do protótipo.

As medições das características elétricas da unidade BICC foram realizadas com o sistema protótipo instalado no GREEN Solar-IPUC, seguindo os requisitos das normas brasileiras:

- ABNT / NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição (primeira edição, publicada 01/03/2013);
- ABNT NBR 16150: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade (primeira edição, publicada 01/03/2013);
- ABNT NBR IEC-62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (edição 1.0b, publicado 06/03/2012).

As normas apresentam os parâmetros de compatibilidade da concessionária, segurança pessoal e equipamentos de proteção: tensão, corrente e frequência, faixa de operação de tensão normal, flicker, injeção c.c., faixa de operação de frequência normal, harmônicos e distorção de forma de onda, fator de potência, a perda de tensão da rede elétrica, sub e sobre tensão e frequência, proteção anti-ilhamento, resposta a recuperação da rede, aterramento, proteção contra curto-circuito, isolamento e comutação.

É aplicada a sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica das concessionárias de distribuição de energia. Operam em paralelo com o sistema elétrico de baixa tensão da distribuidora por meio de inversores on-grid para a conversão de c.c. para c.a.. Estão limitados a potência de 10 kVA conectados de modo monofásico, bifásico ou trifásico. A Fig. 3 apresenta o circuito de ensaio utilizado.

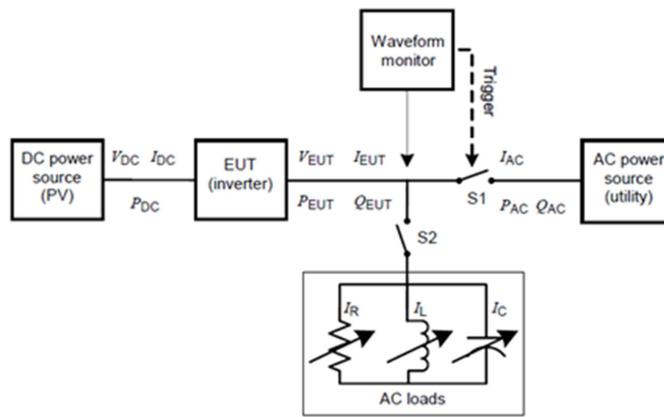


Figura 3 - Circuito de teste utilizado de acordo com as normas.

3. RESULTADOS

Os princípios de funcionamento do sistema FV/armazenamento conectado à rede foram especificados para garantir que durante a noite no horário de pico de demanda, entre 18:30 h -20:30 h, haja fluxo de eletricidade para a rede elétrica proveniente da descarga do sistema de armazenamento para aplainar ou nivelar a curva de carga. Após a descarga do sistema de armazenamento, o armazenamento é recarregado a partir da rede elétrica, durante o período de carga leve do sistema de energia elétrica. Enquanto o sistema de armazenamento está sendo carregado, o gerador fotovoltaico é usado como disponível (durante o dia) para carregar as baterias. A energia gerada pelo gerador fotovoltaico (FV) pode ser injetada na rede apenas depois da conclusão do carregamento do sistema de armazenamento.

A BICC tem a capacidade de dirigir a energia elétrica proveniente do gerador FV e/ou da rede elétrica para um banco de baterias. Este equipamento utiliza uma topologia em que o inversor e o rastreamento do ponto de máxima potência (Boost SPM) são dois elementos separados (independentes) que partilham a responsabilidade de armazenar a energia proveniente dos módulos ou quando isso não estiver disponível, da rede elétrica em um banco de baterias. Este equipamento também transforma a corrente contínua em corrente alternada, que, por sua vez, é fornecida à rede de distribuição de energia da concessionária (CEMIG D). O módulo de conversão de energia consiste em três circuitos eletrônicos de potência: o conversor bidirecional de potência, um conversor boost, e um circuito para controlar carga e descarga das baterias. O conversor bidirecional de potência fornece a interface entre o equipamento e a rede. A BICC incorpora dois modos principais de operação, como um inversor e como retificador. Ao funcionar como um inversor, este injeta energia na rede a partir de um sistema de FV/armazenamento, atuando como uma fonte de corrente. Ao operar como retificador permite a recarga do banco de baterias usando a rede.

Após a finalização do protótipo, iniciaram os testes para avaliar a fase de desenvolvimento do protótipo real, com base nas normas que devem ser cumpridas, tal como descrito na metodologia. Os dados de saída do conversor foram analisados, e as características elétricas foram determinadas (tensão, corrente e frequência, temperatura, estado de carga das baterias, ativa e reativa, fator de potência, anti-ilhamento, componente c.c. de corrente gerada, energia gerada pelo gerador fotovoltaico em um espaço de tempo, energia injetada na rede elétrica em horários de pico, e que injetou energia na rede fora do horário de pico, potência total e balanço de energia).

O inversor está totalmente desenvolvido e os testes foram iniciados com a avaliação da distorção harmônica total, distorção harmônica de um conjunto de harmônicos, nível de corrente c.c. injetado na rede e comportamento do anti-ilhamento. Foi possível realizar testes com o inversor, porque as baterias podem manter um barramento c.c. carregado, permitindo que a unidade trabalhe sozinha.

O protótipo tem uma potência nominal dimensionada de 10 kW, trifásico, com 3.333 kW por fase. Quando o fator de potência diminui devido à potência reativa capacitiva, que pode atingir 2,34 kVAr, tem-se uma produção total de 3,81 kVA por fase. O inversor é do tipo de “Grid-Tie”, de modo que ele funciona como uma fonte de corrente, e a tensão no PCC (ponto de conexão comum) é a própria rede. Portanto, os harmônicos são aqueles comumente encontrados na tensão de rede (ou seja, 3ª e 5ª harmônicas). Com uma potência de 1.013 W injetada na rede, existe um THD de 2,7%. O controle para injetar a corrente mais próxima possível de uma onda senoidal e, consequentemente, menos distorção harmônica, ainda está sendo melhorado. A corrente de distorção harmônica total varia com a potência. Seu maior valor ocorre em baixas correntes (ou seja, quando se está gerando pouca energia). Em TDH foi medida para cada fase de três valores de potência: 1kW, 2kW e 3 kW. A potência de saída 3 kW é o que temos observado, com potência reativa 2,34 kVAr e potência aparente de 3,81 kVA. Para satisfazer a norma IEC NBR 62116, THD da corrente injetada deve ser inferior a 5%, independentemente da potência injetada. Estes testes iniciais no protótipo estabelece a viabilidade para a primeira fase de desempenho do equipamento.

O protótipo em teste é apresentado na Fig. 4 e os resultados do teste são apresentados nas Fig. 5 a 18. As Fig. 5 e 6 apresentam os resultados do teste de anti-ilhamento. A Fig.5(a) apresenta o momento de desligamento da rede da saída do inversor, onde ocorre uma sobretensão, e a Fig. 5(b) indica a atuação da proteção do inversor e o seu desligamento. A Fig. 6 mostra o instante de desligamento da rede e o instante de desligamento do inversor.

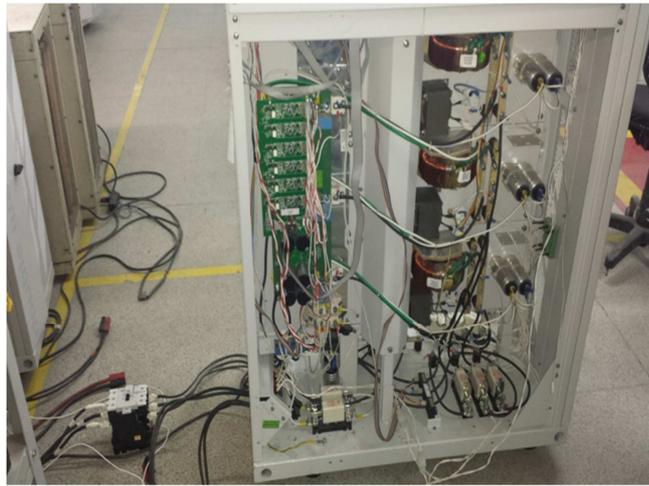


Figura 4 - Protótipo em teste.

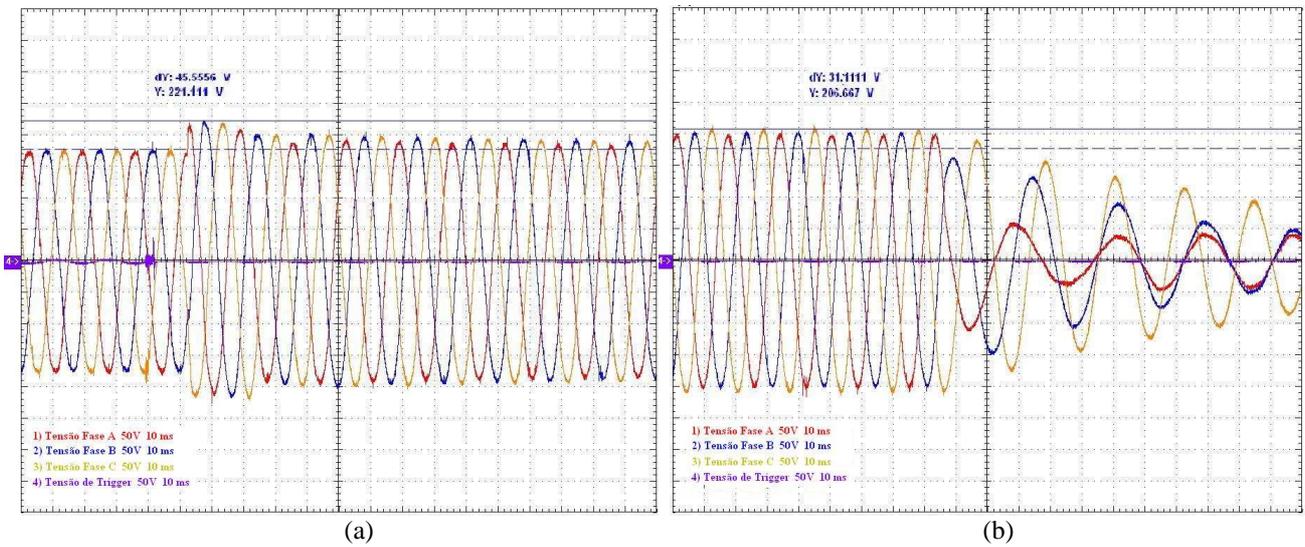


Figura 5 – Resultados do teste de anti-ilhamento – (a) part. 1 e (b) part. 2.

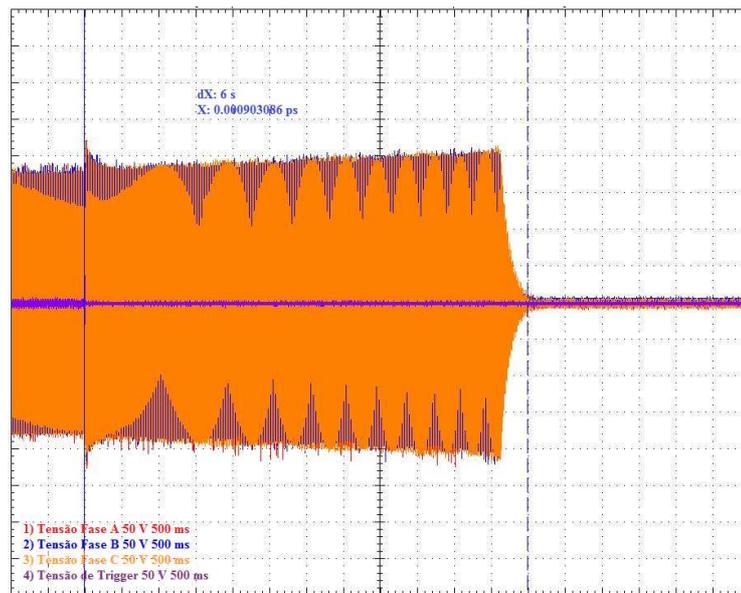


Figura 6 – Resultados do teste de anti-ilhamento – part. 3.

A Fig.7 (a) apresenta os degraus de potência utilizados no ensaio para a análise dos parâmetros do protótipo. As Fig.7(b), 8 e 9 apresentam a tensão em função do tempo, a frequência em função do tempo, o THD_V em função do tempo, o THD_i em função do tempo e o componente c.c. em função do tempo, respectivamente. As Fig. 10, 11 e 12

apresentam a tensão em função da potência, frequência em função da potência, THD_V em função da potência, THD_i em função da potência e componente c.c. em função da potência, respectivamente.

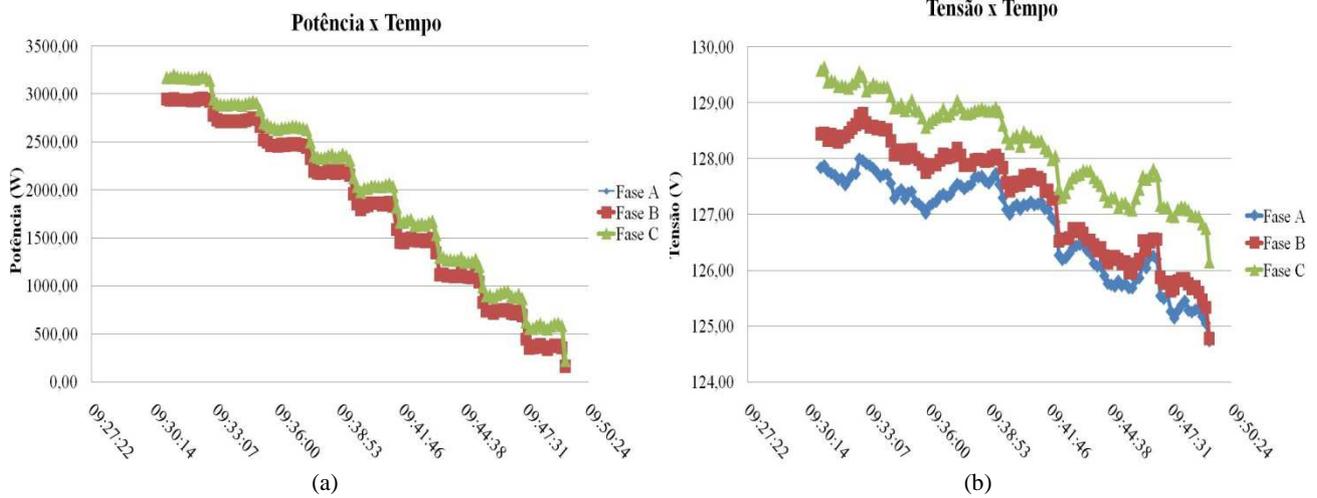


Figura 7 – (a) Potência em função do tempo e (b) tensão em função do tempo.

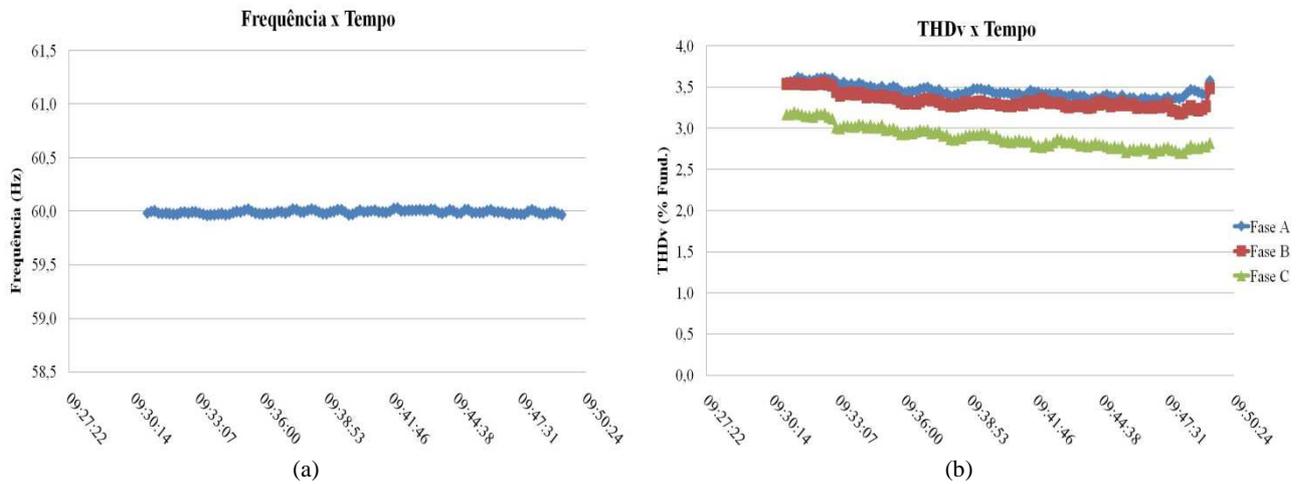


Figura 8 – (a) Frequência em função do tempo e (b) THD_V em função do tempo.

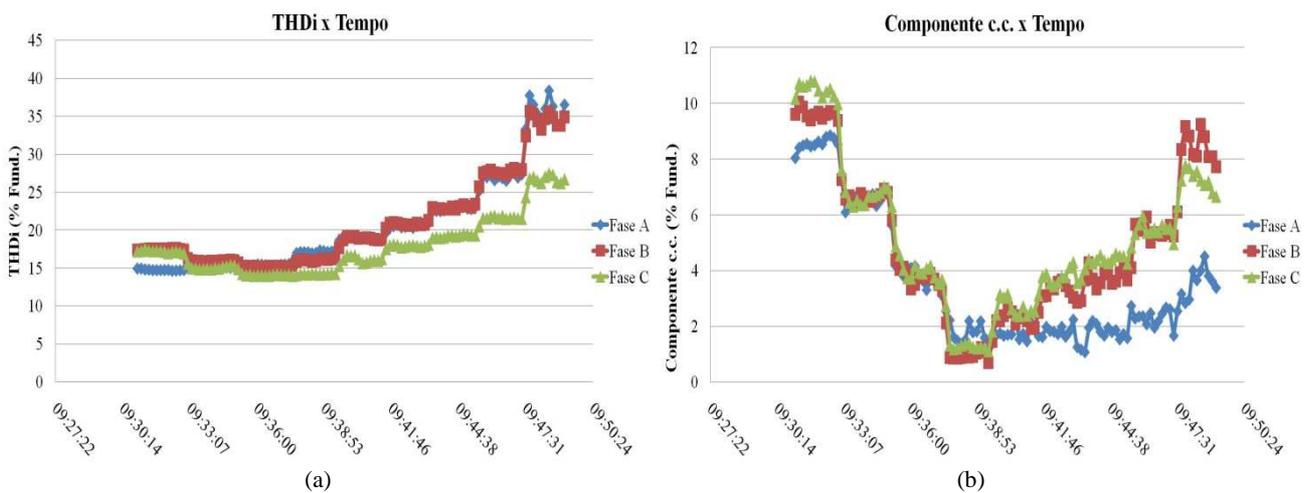


Figura 9 – (a) THD_i em função do tempo e (b) Componente c.c. em função do tempo.

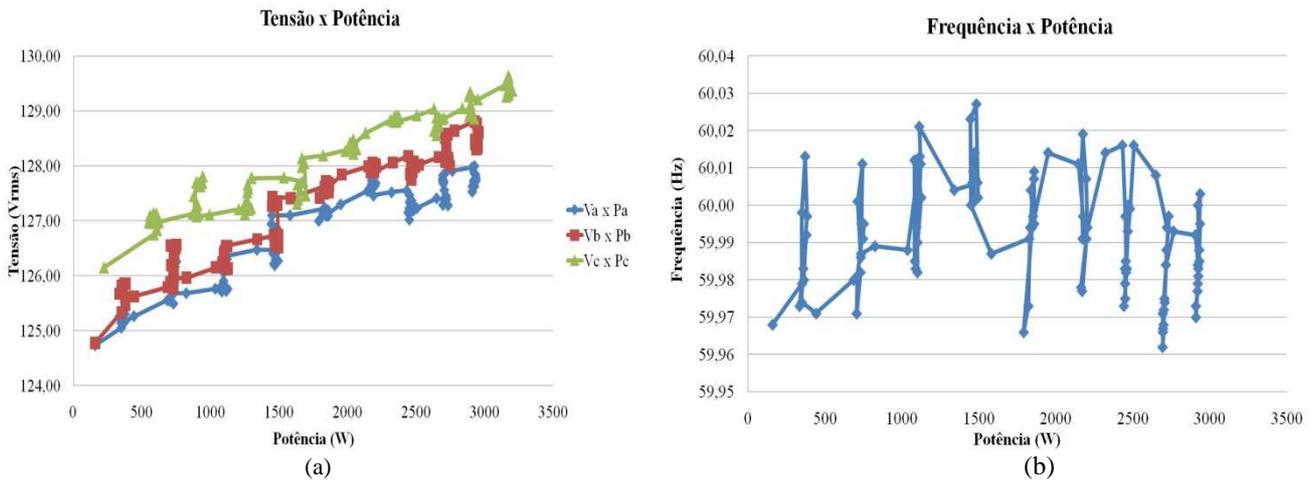


Figura 10 – (a) Tensão em função da potência e (b) Frequência em função da potência.

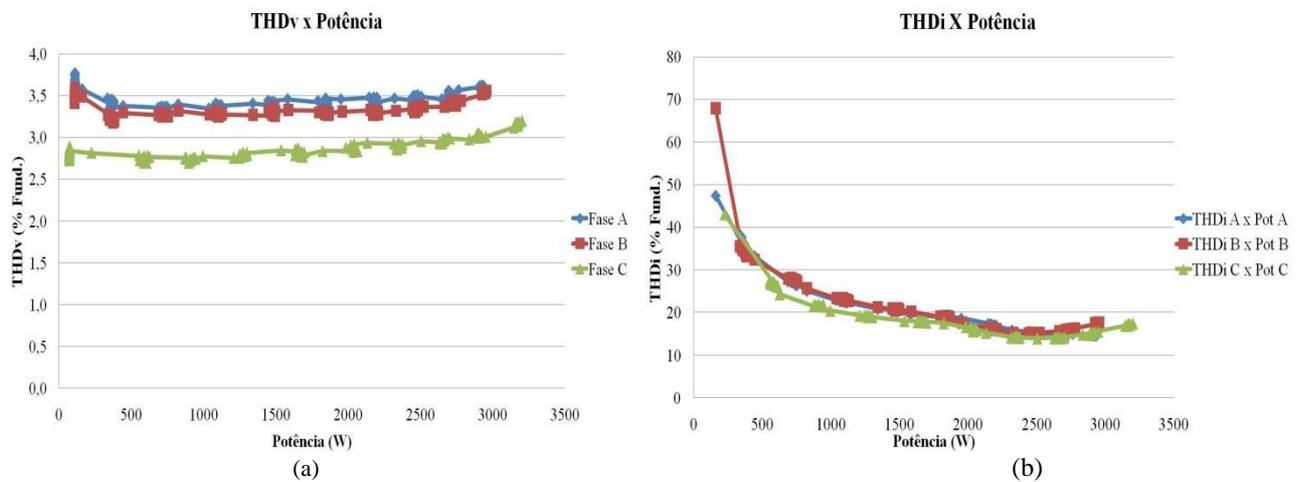


Figura 11 – (a) THD_V em função da potência e (b) THD_i em função da potência.

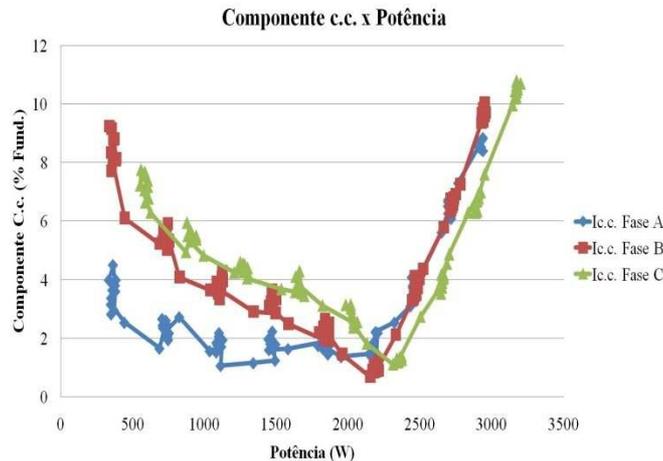


Figura 12 – Componente c.c. em função da potência.

4. CONCLUSÃO

O protótipo em teste tem uma potência nominal em escala de 10 kW, trifásico. O inversor é do tipo “Grid-Tie”, de modo que ele funciona como uma fonte de corrente, e a tensão no PCC é a própria rede. Portanto, os harmônicos medidos são aqueles comumente encontrados na tensão de rede. Com os degraus de potência injetada na rede, há um THD_V de 5% e uma THD_i de 10 a 70%. O controle para injetar a corrente mais próximo possível de uma onda senoidal e, conseqüentemente, menos distorção harmônica, ainda está sendo melhorado. A atual distorção harmônica total varia com a potência. Para satisfazer a norma IEC NBR 62116, o THD da corrente injetada deve ser inferior a 5%, independentemente da potência injetada. Estes testes iniciais no protótipo estabelecem a viabilidade para a primeira fase

de desempenho do equipamento. Foi apresentado o protótipo em teste e os resultados do teste. Os degraus de potência utilizados nos testes para análise dos seguintes parâmetros foram: Tensão versus tempo, Frequência versus tempo, THD_V versus tempo, THD_i versus tempo e componente c.c. versus tempo, Tensão versus potência, frequência versus potência, THD_V versus potência, THD_i versus potência e componente c.c. versus potência.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR IEC-62116:2012: Test procedure for anti-islanding inverter systems PV connected to the grid, 1.0b edition, published 06/03/2012.
- ABNT/NBR 16149: Photovoltaics (PV) systems characteristics of the utility interface, 1st edition, published 01/03/2013.
- ABNT NBR 16150: Photovoltaic (PV) systems—Characteristics of the utility interface—Conformity test procedure, 1st edition, published 01/03/2013.
- Alanne K, Saari A. Distributed energy generation and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.10, p. 539-558, 2006.
- Bakos, G.C. Distributed power generation a case study of small scale PV in Greece. *Applied Energy*, v. 86, p. 1757–1766, 2009.
- Dalton, G.J., Lockington, D.A. and Baldock, T.E.. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel. *Renewable Energy*, v. 34, p.955–964, 2009.
- Diniz, A.S.A.C., Machado Neto, L. V., Oliveira Filho, D. et. al. Development of a Grid-Connected Photovoltaic Storage System Using Novel Bidirectional Intelligent Conversion and Connection. 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference; Colorado, USA, 2014.
- International Energy Agency (IEA), 2014.
- Nourai, A. Installation of the First Distributed Energy Storage System (DESS) at American Electric Power (AEP). SANDIA Report: SAND2007-3580.
- PVTech.Grid-connected PV energy storage installations to triple in 2015. Disponível em: <http://www.pv-tech.org/guest-blog/grid_connected_pv_energy_storage_installations_to_triple_in_2015>. Acessado em: 20 out. 2015.
- Toledo, O. M.; Oliveira Filho, D.; Diniz, A. S. A. C., "Methodology for evaluation of grid-tie connection of distributed energy resources case study with photovoltaic and energy storage", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 1-1, 2012.
- Toshiba (2012), personal communication. Technical visit to Toshiba and oral communication (Nov/2012), Miyakojima, Japan. <http://www.sidsenergyforall.org>.

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF THE PROTOTYPE OF AN INTELLIGENT CONVERSION AND CONNECTION UNIT (BICC) FOR GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC AND WITH STORAGE SYSTEM

Abstract. *This paper presents studies and implementation of a novel grid-connected PV system with storage. The goal of this project is to validate the operation and to determine the benefits and limitations of integrating storage with grid-connected PV systems. The objective is to evaluate the viability of using complementary electricity storage for meeting the local evening peak demands - "night-time peak shaving" in a typical load curve of CEMIG D's feeder. A novel and versatile control unit - the Bidirectional Intelligent Conversion and Connection Unit - BICC has been developed to control the flow of energy from the electricity sources - PV generator, battery bank, and electric-power grid. In designing this electronic system, we adopted a topology in which the inverter and the maximum power tracking - MPPT maximize the available power by incorporating two separate and independent converters. In the first phase of the project, a prototype of the system - PV with storage and the BICC unit has been installed at GREEN Solar-IPUC in PUC Minas and been under test to evaluate its performance. These trials have been used to optimize system parameters in order to improve the BICC and its interfacing parameters and ensure safe operation of PV-Storage system with the grid. This paper reports on the design and advantages of the BICC, the procedures used in the parameter optimization of the prototype, the effectiveness of the BICC in improving the control and connection, conformity to standards, and the viability of scale up for the second phase testing connected to the electric grid (for the utility CEMIG) with storage at the football stadium, Arena do Jacare, located in Sete Lagoas, Minas Gerais.*

Key words: *Grid-Connected, Storage systems, Bidirectional conversion.*