

# Conversor DAHB Aplicado a um Sistema Híbrido Hidro-PV com Armazenamento de Energia em Baterias

Maicon Luís Flach  
Department of Electrical  
Engineering  
Federal University of  
Santa Maria  
Santa Maria, Brazil  
flach.enge@gmail.com

Lucas Giuliani Scherer  
Department of Electrical  
Engineering  
Federal University of  
Santa Maria  
Santa Maria, Brazil  
lgscherer@gmail.com

Robinson Figueiredo de  
Camargo  
Department of Electrical  
Engineering  
Federal University of  
Santa Maria  
Santa Maria, Brazil  
robinson.camargo@gmail.com

Fabrcio Hoff Dupont  
Area of Exact and  
Environmental Sciences  
Community University of  
the Region of Chapecó  
Chapecó, Brazil  
fhdupont@ieee.org

**Resumo**— Este trabalho demonstra a aplicação de um conversor *DAHB* em um sistema híbrido de geração composto por fontes hidrelétricas e fotovoltaicas, com armazenamento de energia por bateria. Mais especificamente, o uso do conversor *DAHB* tem por objetivo realizar o MPPT, além da interface entre o barramento CC do DSTATCOM com o sistema fotovoltaico e o banco de baterias. Além disso, propõe-se a utilização do conversor *Buck-Boost* para realizar a carga e descarga do banco de baterias. O objetivo deste trabalho é obter um sistema confiável, considerando que o conversor proposto é galvanicamente isolado, bidirecional e permite controlar o fluxo de energia entre as fontes de alimentação. Resultados de simulação são apresentados com o objetivo de demonstrar o funcionamento do sistema proposto.

**Palavras chave**— *DAHB, Hidro, PV, DSTATCOM, ESS.*

## I. INTRODUÇÃO

A demanda de energia elétrica está intimamente relacionada ao crescimento populacional e econômico mundial [1]. Consequentemente, as técnicas de geração de energia passam por evoluções constantes, objetivando suprir a demanda de energia, crescente inclusive em locais remotos. Outro aspecto importante e que merece atenção é o efeito caracterizado como aquecimento global. Nesse sentido, as fontes energéticas sustentáveis vêm ganhando espaço com o aumento da conscientização da população [2].

Com o aproveitamento de fontes renováveis de energia almeja-se, além da redução dos impactos ambientais, resolver os problemas energéticos decorrente do não atendimento da demanda requerida [3]. Diversos fatores podem dificultar o fornecimento de energia, principalmente em locais isolados e remotos. Neste caso, a geração de energia elétrica a partir de fontes locais torna-se atrativa, tendo em vista o custo de implementação e as perdas associadas as linhas de transmissão [4-5]. Ainda, em [6] destaca-se que pode ser vantajoso utilizar mais de uma fonte de energia, pois possibilita aumentar a confiabilidade da geração. Nesse contexto, [7] sugerem o fornecimento de energia elétrica através da integração de duas fontes, uma hídrica e outra fotovoltaica. Estes sistemas se tornam estratégias interessantes sob o ponto de vista da confiabilidade energética [8].

Encontra-se atualmente, no estado da arte diversas topologias de sistemas híbridos utilizando fontes hídricas e fotovoltaicas, na maioria delas o sistema possui um ESS

(Sistema de Armazenamento de Energia, do inglês *Energy Storage System*), geralmente composto por banco de baterias. Contudo, existem casos nos quais as baterias são conectadas diretamente ao barramento CC, como o proposto por [9] que, apesar de possuir maior simplicidade, por não possuir um elemento para carga e descarga das baterias, pode ocasionar oscilações de tensão nas mesmas e, conseqüentemente, diminuir a vida útil e eficiência das baterias.

De forma similar, em [10], as baterias são conectadas ao barramento CC de um *Voltage Source Converter* (VSC). Nesta topologia, a tensão aplicada sobre o banco de baterias advém do conversor *Boost* conectado ao painel fotovoltaico. Por utilizar um VSC, esta estratégia torna possível atender somente cargas monofásicas.

Já o sistema desenvolvido por [11] faz uso de um ESS conectado a um barramento CC comum através de um conversor *Buck-Boost*. Este sistema permite atender somente cargas trifásicas, além de não possuir compensação de reativos. O sistema proposto por [12], assim como em [13], consiste em um sistema híbrido, composto por fontes fotovoltaica e hídrica, além de um banco de baterias. Os autores utilizam um conversor CC-CC bidirecional com o intuito de conectar a bateria ao barramento CC, além de controlar a corrente de carga no modo *Buck* e descarga da bateria no modo *Boost*. A potência máxima do arranjo fotovoltaico é obtida pelo conversor *Boost*. Este último, também regula a tensão CC do barramento do inversor trifásico. Contudo, segundo [14], a eficiência do conversor *Boost* diminui rapidamente em um *duty cycle* alto. Além disso, um fator limitante acerca do conversor *Boost*, é o seu ganho estático (relação entre tensão de saída pela tensão de entrada), que normalmente é limitado em 5 vezes.

Este trabalho propõe a utilização do conversor DAHB (Meia Ponte Duplamente Ativa, do inglês *Dual Active Half Bridge*) em um sistema híbrido de geração de energia composto por fontes fotovoltaica e hídrica. O conversor DAHB visa realizar o MPPT (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência, do inglês *Maximum Power Point Tracker*) do sistema fotovoltaico, bem como a interface entre o sistema fotovoltaico e o barramento CC do Compensador Síncrono Estático de Distribuição (DSTATCOM), além de reduzir as perdas associadas, quando comparado com a utilização do conversor *Boost*. Também se propõem o uso de um conversor bidirecional *Buck-Boost* para realizar a conexão das baterias do ESS junto à geração fotovoltaica.

Cabe destacar que as baterias podem ser carregadas tanto pela geração fotovoltaica quanto pela hídrica, dependendo do modo de operação do sistema. A parte CA do sistema é composta por um Gerador de Indução (GI) mecanicamente acoplado à uma Máquina Primária (MP) de velocidade e torque constantes, além disso, para a auto excitação do gerador, é utilizado um banco de capacitores conectados na configuração estrela, da qual deriva o condutor neutro, caracterizando o sistema como um sistema de geração a quatro fios. No diagrama de blocos ilustrado pela Fig. 1, são apresentados os fluxos de potência do sistema proposto. Nele, observa-se que o conversor DAHB faz *interface* entre o barramento CC enquanto o DSTATCOM transfere energia entre os barramentos CA e CC do sistema, sendo responsável pela injeção de correntes que regulam a tensão do barramento CA.

## II. SISTEMA PROPOSTO

Propõe-se, para o sistema híbrido de geração de energia, conforme apresentado na Fig. 2, a utilização de dois conversores CC-CC bidirecionais, *Buck-Boost* e DAHB. O primeiro, através das chaves  $S_2$  e  $S_3$ , juntamente com um filtro  $LC$  ( $L_2$  e  $C_2$ ), terá como função principal regular o fluxo de energia proveniente das fontes de energias renováveis para as baterias. Já, o segundo será empregado para realizar a *interface* entre a geração fotovoltaica e baterias com o barramento CC do DSTATCOM, controlando o fluxo de potência ativa e regulando a tensão do barramento CC, além de elevar a tensão fornecida pelo sistema fotovoltaico e baterias para o nível de tensão CC desejado de 660 V. Este nível de tensão tem por objetivo permitir que o DSTATCOM forneça tensões monofásicas e trifásicas em sua saída.

Conforme observa-se na Fig. 2, o sistema proposto é trifásico a 4 fios, sendo capaz de alimentar tanto cargas trifásicas quanto cargas monofásicas, podendo ser elas lineares ou não lineares, já que o sistema possibilita suprir as demandas de energia reativa através do DSTATCOM. Além disso, o sistema proposto possui um ELC (Controle Eletrônico de Carga, do inglês *Electronic Load Control*) conectado ao barramento CC do DSTATCOM, que é utilizado para dissipar energia ativa em situações críticas, nas quais exista um excedente de energia que não possa ser utilizada ou armazenada no ESS. O ELC atua em conjunto com o ESS no gerenciamento do excedente de energia gerado.

### A. Conversor DAHB

Assim como no sistema aqui proposto, a utilização do conversor DAHB para a realização do MPPT foi proposta em [15]. A utilização deste conversor é devido às suas características, que o tornam uma boa escolha para esta aplicação. Dentre elas destacam-se a comutação suave,

poucos componentes ativos (4 chaves). Esta topologia de conversor é beneficiado devido à simplicidade do circuito, facilidade de controle, baixo custo, alta eficiência, alta confiabilidade. Além disso, o DAHB é uma topologia comumente utilizada em aplicações que se necessite de fluxo bidirecional de potência e comutação suave. O conversor DAHB alimentado por tensão consiste de dois capacitores em série que estão em paralelo com duas chaves em série, além do transformador de HF (Alta Frequência, do inglês *High Frequency*), que fornecerá o isolamento entre o lado primário e o secundário, portanto, em condições instáveis, haverá proteção entre os lados, evitando danos permanentes no sistema. Devido à sua construção, a saturação do transformador em um DAHB, é naturalmente evitado pela divisão de capacitores [15 - 21].

Convencionalmente, o fluxo de potência no conversor DAHB pode ser controlada através da modulação *Phase-Shift* (PSM), que consiste na alteração do ângulo da fase entre a ponte de entrada e a ponte de saída. O conversor DAHB pode operar no modo *Boost* ou no modo *Buck*, de acordo com a defasagem dos sinais de comando entre as pontes [19], [22-23]. O funcionamento do conversor DAHB é apresentado em [20] enquanto o DSTATCOM é apresentado em [24-26].

### B. Sistema de Armazenamento de Energia

Por utilizar uma fonte de energia estocástica e intermitente, a geração fotovoltaica em certos períodos do dia pode se tornar inexistente e, quando se refere a confiabilidade energética, esta intermitência na geração de energia torna-se indesejável sob o ponto de vista da estabilidade no fornecimento da energia. Para contornar este problema, e manter o fornecimento de energia, utiliza-se um ESS baseado em baterias estacionárias. Quando o sistema opera em condições normais de carga, ou seja, sem intermitências na geração ou sobrecargas, a energia excedente pode ser armazenada no ESS através do conversor *Buck-Boost*, assumindo o fornecimento de energia em qualquer falha do sistema de alimentação principal. Entre o banco de baterias e o conversor bidirecional utilizou-se um filtro passa baixas  $LC$  que, de acordo com [27], tem o intuito de reduzir a oscilação de corrente no banco de baterias.

Quando a carga conectada ao sistema possui grande importância (carga crítica) e seu fornecimento não pode ser interrompido, ou, ainda, uma intermitência em uma das fontes de geração inviabiliza o fornecimento de energia, pode-se utilizar, através do conversor *Buck-Boost*, a energia armazenada nas baterias do ESS. Assim, mantém-se os níveis de tensão do barramento CC estáveis, por intermédio do conversor DAHB, para que o DSTATCOM possa fornecer o excedente de energia requerida pela carga. A utilização da energia armazenada tende a fornecer autonomia e confiabilidade ao sistema.

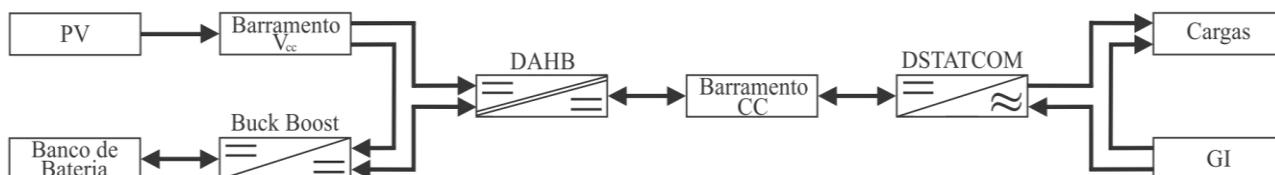


Fig. 1. Diagrama de blocos do sistema proposto

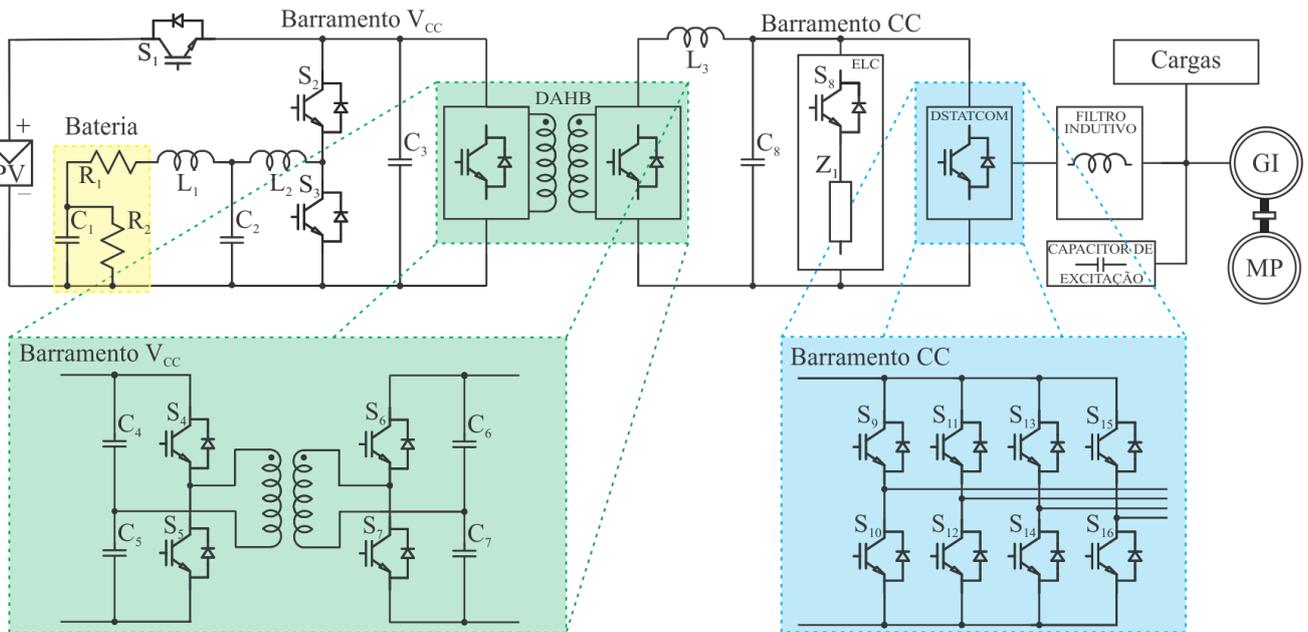


Fig. 2. Sistema proposto.

### C. Modo de Operação do Sistema Híbrido

O sistema pode operar, dependendo da condição das cargas, com a geração hídrica e fotovoltaica independentes uma da outra ou de forma complementar, esta configuração caracteriza o Modo A de operação. Outro aspecto sobre o Modo A é que a geração fotovoltaica ainda pode ser usada para carregar as baterias do ESS através do conversor *Buck-Boost*, o fluxo de potência ativa com o sistema operando no Modo A pode ser visto na Fig. 4a. Quando a energia da bateria é usada em conjunto com a geração fotovoltaica para suprir um aumento na demanda, acionando uma carga crítica, o sistema passa a operar no modo B, mostrado na Fig. 4b. Na qual nota-se que o fluxo de potência ativa nas baterias apresenta direção oposta em relação ao Modo A mostrado na Fig. 4a. Durante a ausência de irradiância solar, as baterias são acioandas e, neste ponto, o sistema passará a operar no Modo C, mostrado na Fig. 4c. A operação do sistema no Modo C visa manter os níveis de tensão do barramento CC estáveis, para que o DSTATCOM possa fornecer a energia excedente requerida pelas cargas ou atendimento de uma carga crítica. Enquanto a geração hídrica mantém a fonte de alimentação às cargas e enquanto o sistema fotovoltaico não gera energia, as baterias do ESS são carregadas pela energia excedente da geração hídrica através do DSTATCOM e dos conversores bidirecionais DAHB e *Buck-Boost*. Além disso, quando ambas as fontes estão gerando, a energia gerada excedente que não é consumida pela carga pode ser armazenada no banco de baterias do ESS, esta ação descreve o Modo D de operação do sistema, mostrada na Fig. 4d, onde se observa que os fluxos de potência ativa excedente são orientados às baterias. No entanto, o excedente de energia gerada que não é consumida ou armazenada deve ser dissipada para manter a regulação do sistema. Destaca-se que, com relação ao excedente de energia gerado, o sistema possui dois modos de operação, o Modo E e o Modo F. O primeiro tem como prioridade o armazenamento do excedente nas baterias, enquanto o excedente que não for ser armazenado será dissipado no ELC, como visto na Fig. 4e. Observa-se que a energia proveniente do sistema fotovoltaico

é em parte utilizada para manter e/ou carregar as baterias do ESS, enquanto o excedente de energia é dissipado no ELC, bem como o excedente de energia da geração hídrica. Em todos os modos de operação do sistema, o conversor DAHB, além de realizar a *interface* com os barramentos  $V_{cc}$  e CC, opera no rastreamento do ponto de máxima potência (MPP) do sistema fotovoltaico e, quando encontrado, deverá manter-se neste ponto. O Modo F de operação destina-se a evitar que uma grande quantidade de energia seja dissipada no ELC enquanto as baterias estão totalmente carregadas. Neste caso, o conversor DAHB fará com que o sistema fotovoltaico saia do MPP e o leve para um Ponto de Desconexão (DP), mostrado na Fig. 3, no qual a potência é tal que permite a desconexão segura da geração fotovoltaica através da chave  $S_1$ . Quando a chave  $S_1$  está aberta e a geração fotovoltaica não contribui para a alimentação, e as baterias estão totalmente carregadas, o conversor *Buck-Boost* também é desligado, para não danificar as baterias por sobrecarga ou desperdiçar a energia armazenada nelas. O conversor DAHB já será desligado assim que o interruptor  $S_1$  estiver aberto e o conversor *Buck-Boost* estiver inoperante. Assim, a potência dissipada no ELC se torna menor e se destina apenas ao excedente da geração hídrica, o Modo F de operação pode ser observado na Fig. 4f.

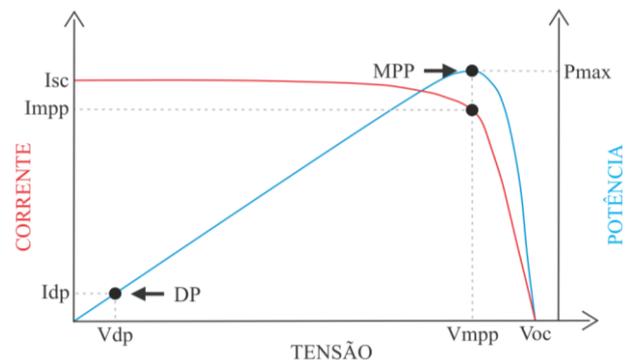


Fig. 3. Curva  $I \times V \times P$ , ilustração da operação na potência máxima e ponto de desconexão.

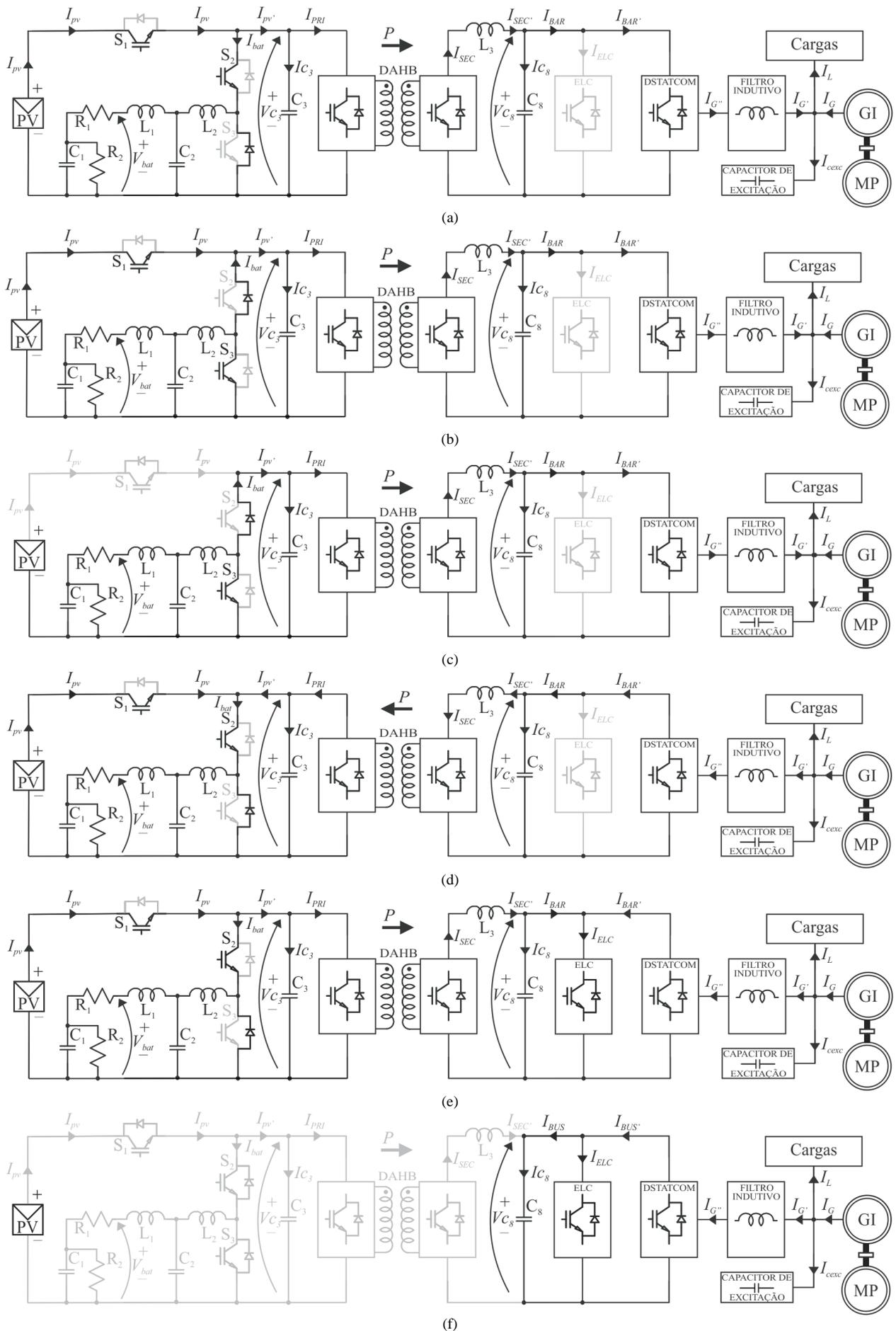


Fig. 4 – Modos de operação do sistema proposto: (a) modo A, (b) modo B, (c) modo C, (d) modo D, (e) modo E e (f) modo F.

### III. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para validar parcialmente o sistema proposto, foram realizadas simulações no *software* LTspice. Os parâmetros de simulação são apresentados na Tabela 1. Além disso, destaca-se que a técnica de modulação PSM (*Phase-Shift Modulation*) foi utilizada para o conversor DAHB. O conversor *Buck-Boost* foi modulado com PWM (*Pulse Width Modulation*), ambos com frequência de comutação ( $f_s$ ) de 50 kHz. Cabe destacar que os valores das resistências e capacitância da bateria ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $C_1$ ) foram reduzidos para otimizar o período de simulação.

O sistema opera em malha aberta, com exceção do carregamento e descarregamento das baterias que possuem um controlador PID.

TABELA 1. VARIÁVEIS E SUAS RESPECTIVAS MAGNITUDES.

Variable	Value
$R_1$	0,05 $\Omega$
$R_2$	5 k $\Omega$
$C_1$	1 F
$C_2$	480 $\mu$ F
$C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$	1000 $\mu$ F
$C_8$	4700 $\mu$ F
$L_1$	38 $\mu$ H
$L_2$	1,8 mH
$L_3$	38 $\mu$ F
$V_{bus} = V_{C8}$	660 V
$V_{bat}$	48 V
$S_{oc}$	24 V
$V_{charge}$	55 V
$V_{cc} = V_{pv} = V_{C3}$	126,8 V
$f_s$	50 kHz

Independentemente de qual sistema de geração de energia fornece energia, a resposta do conversor *Buck-Boost* será a mesma para a geração fotovoltaica, hídrica ou ambas fornecendo energia para carregar as baterias. A resposta dinâmica da tensão no banco de baterias no modo carga e descarga pode ser vista na Fig. 5, onde o estado inicial ( $S_{oc}$ ), das baterias é de 24 V. Ao carregar as baterias (modo *Buck*) a tensão será elevada de forma suave, não havendo oscilações abruptas de tensão. A tensão no banco de baterias estabiliza em 55 V,  $V_{charge}$ . No modo de descarga (modo *Boost*), a tensão no banco de baterias irá decrescer e, para evitar descargas profundas nas baterias, a tensão será grampeada no valor de  $S_{oc}$ , observado no canto direito da Fig. 5.

A Fig. 6 mostra as formas de onda de tensão para os modos de operação: A, B e C. No Modo A, quando o sistema fotovoltaico fornece energia ao barramento CC do DSTATCOM e carrega as baterias, há uma atenuação de tensão no barramento  $V_{cc}$ , localizado no lado primário do conversor DAHB (capacitor  $C_3$ ), causado pelo carregamento das baterias. Esta característica será observada sempre que as baterias do ESS forem carregadas. Quando ocorre um sombreamento nos painéis fotovoltaicos, a tensão de geração diminuirá instantaneamente. Logo, a energia previamente

armazenada nas baterias será utilizada para manter o fornecimento de energia através do conversor *Buck-Boost*, operando no modo *Boost*, caracterizando o Modo C. Observa-se que existem quatro transitórios de tensão, o primeiro acontece no momento em que ocorre o sombreamento e as baterias passam a manter o nível de tensão do barramento  $V_{cc}$  e o sistema começa a operar no Modo C. Já o segundo ocorre quando a tensão de geração do sistema fotovoltaico retorna ao valor nominal e as baterias deixam de alimentar o barramento  $V_{cc}$  e voltam a ser carregadas, neste momento o sistema passará a funcionar novamente no Modo A.

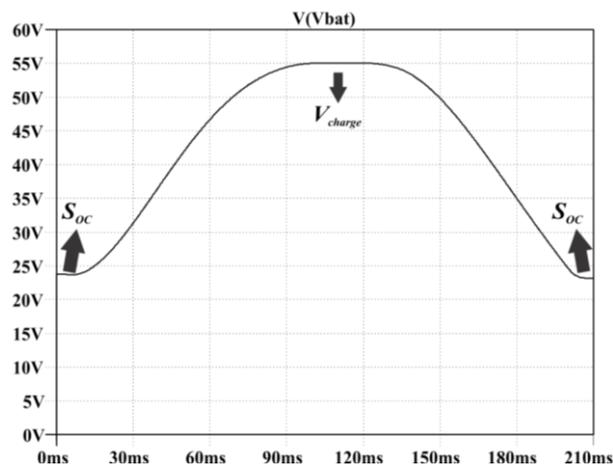


Fig. 5. Tensão do banco de baterias no modo de carga e descarga.

Quando uma carga crítica é acionada, exigindo mais energia do sistema e, partindo da premissa de que o sistema já está operando em condições nominais no Modo A, o sistema mudará para o Modo B. Pois, as gerações fotovoltaica e hídrica já se encontram em condições nominais de operação e não terão a energia para suprir essa demanda excedente. No momento em que a carga é acionada, ocorre o terceiro transitório de tensão e as baterias passam a atuar em conjunto com o sistema para manter o fornecimento de energia. Assim que a carga é desconectada, ocorre o quarto transitório de tensão e, prontamente o sistema altera o modo de operação, voltando ao Modo A, carregando as baterias.

Devido à alta capacitância do barramento CC do DSTATCOM, a tensão sobre o mesmo apresentará poucas variações perante à oscilação no barramento  $V_{cc}$  causada pela ausência de irradiação solar ou pelo aumento da energia demandada pelo acionamento de cargas no lado CA. No entanto, devido à carga do banco de baterias, a tensão do barramento CC do DSTATCOM ( $V_{bus}$ ) sofrerá uma ligeira atenuação enquanto a tensão atingir seu valor nominal, comportamento este ilustrado pela Fig. 6.

A potência do sistema fotovoltaico, do gerador de indução e do banco de baterias são 5 kW, 3,7 kW e 2 kW, respectivamente. Com relação à saída do sistema, considerou-se uma carga de *RL* permanentemente acoplada no lado CA, cuja potência ativa por fase é de 2,2 kW com um ângulo de  $45^\circ$ , correspondente à um fator de potência de 0,7, resultando em 3 kVA por fase. Por ser uma carga trifásica, a potência total dessa carga é de 9 kVA, estando conectada em delta à saída do DSTATCOM, que opera em malha aberta. Além disso, cargas de 3 kW e 4,5 kW foram acionadas no barramento  $V_{cc}$  e CC do DSTATCOM ( $V_{bus}$ ), respectivamente.

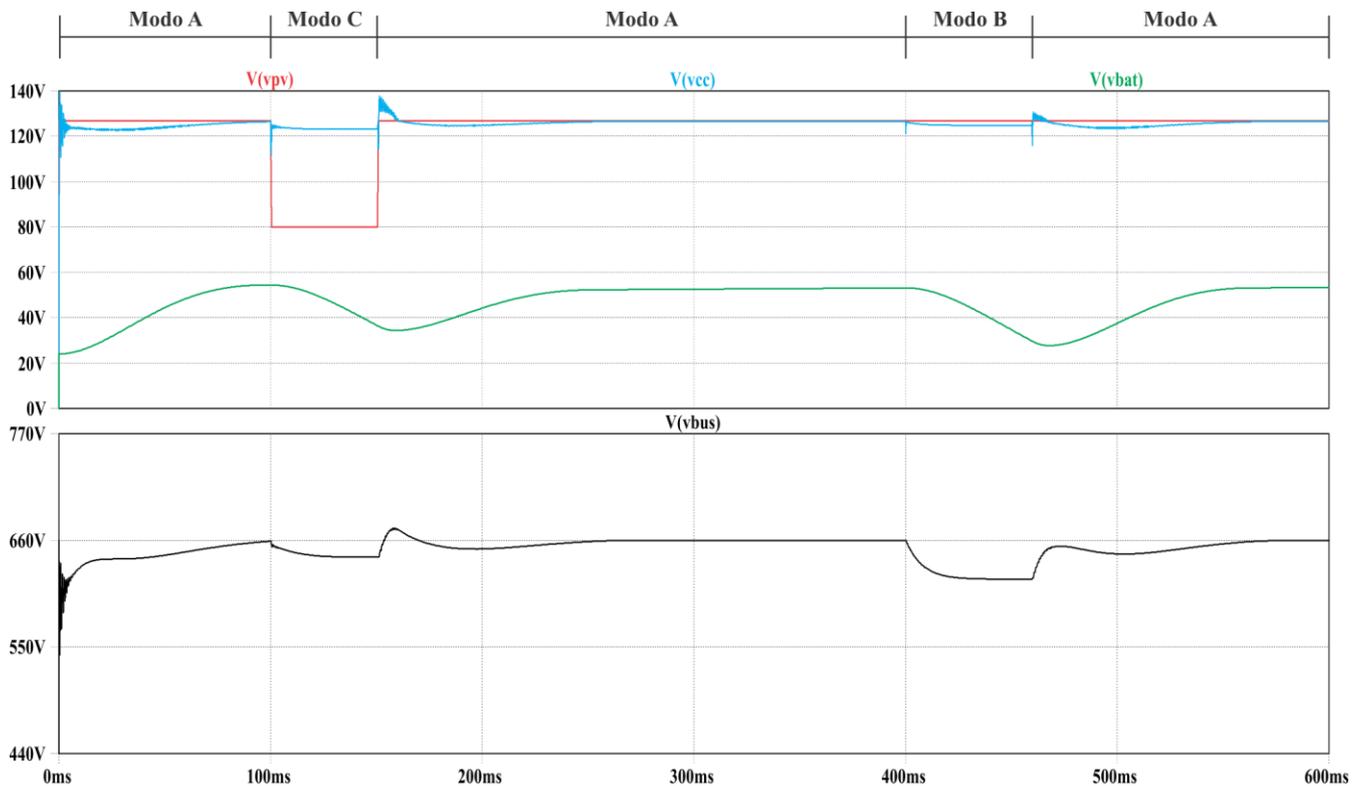


Fig. 6. Tensão de geração do sistema fotovoltaico ( $V_{pv}$ ), banco de baterias ( $V_{bat}$ ) e barramento CC da  $V_{cc}$  e DSTATCOM ( $V_{bus}$ ).

Cabe destacar que os transitórios apresentados são decorrente da transição entre os modos de operação com o uso de um controlador PID básico não otimizado justamente para evidenciar os modos transitórios. Enfatizando que o foco deste trabalho está na topologia do conversor e não no seu controle. Além disso, ressalta-se que os parâmetros das baterias foram reduzidos com o intuito de otimizar as simulações e que os resultados obtidos estão de acordo com o comportamento esperado, (carga e descarga suave, sem oscilações abruptas de tensão), sendo apresentados apenas em uma menor escala de tempo. Os resultados obtidos são totalmente satisfatórios, demonstrando a dinâmica do sistema frente a variações paramétricas na geração de energia fotovoltaica e no atendimento de cargas excedentes.

A fim de analisar a qualidade da energia fornecida às cargas, verificou-se a influência e importância das componentes harmônicas na saída do sistema, uma vez que as componentes harmônicas, quando presentes nos sinais de saída, degradam a qualidade dos mesmos. Além disso, como a carga acoplada na saída do DSTATCOM é trifásica e esta ligada em delta (fase-fase), a tensão teórica aplicada sobre ela é de 380  $V_{RMS}$ . Contudo, devido a operação do sistema, a tensão aplicada sobre a carga, geralmente, não apresentará este valor exato, sendo de suma importância que a magnitude situe-se o mais próximo possível da ideal. Os resultados obtidos através da simulação do sistema proposto são plenamente satisfatórios, uma vez que apresentam valores próximos aos padronizados, demonstrando que o sistema é capaz de fornecer energia com qualidade e pouca THD (Distorção Harmônica Total, do inglês *Total Harmonic Distortion*), conforme:

- THD de corrente CA na carga de 0,251%.
- THD de tensão CA na carga de 0,589%.

- Tensão eficaz na carga de 378,61  $V_{RMS}$ .
- Tensão eficaz no barramento CC de 650,43  $V_{RMS}$ .
- Tensão eficaz no barramento  $V_{cc}$  de 125,37  $V_{RMS}$ .

Na Fig. 7 pode-se observar as componentes de corrente CA na saída do DSTATCOM que apresentam forma de onda senoidal, frequência de 60 Hz e estão defasadas em  $120^\circ$ , atendendo os requisitos das cargas conectadas na saída do sistema. Vale ressaltar que as variações nas magnitudes de corrente são oriundas da operação de malha aberta do DSTATCOM e que o transitório de partida pode ser desprezível, uma vez que não afeta a análise do sistema.

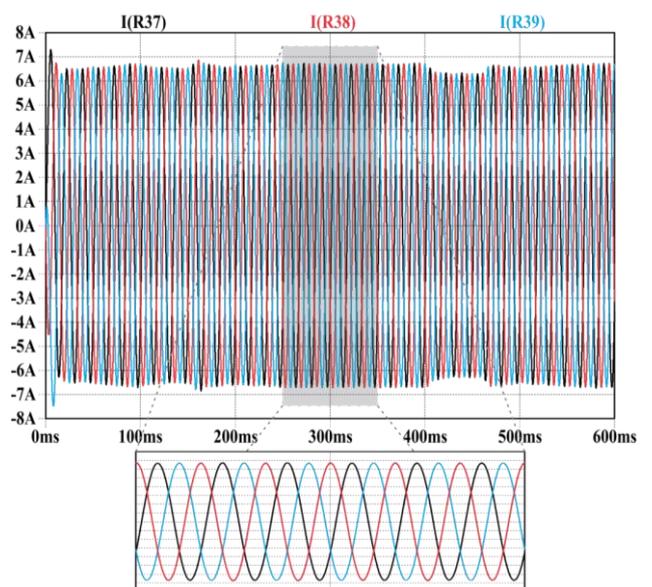


Fig. 7. Corrente de saída CA de 9 kVA de carga.

#### IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto o uso do conversor DAHB no sistema híbrido de geração de energia, composto por fontes fotovoltaica e hídrica. Além disso, um sistema de armazenamento de energia foi utilizado, sendo empregado um conversor *Buck-Boost* para realizar a carga e descarga das baterias. Resultados de simulação foram apresentados, os quais demonstram o desempenho esperado sob o ponto de vista de funcionalidade do sistema. Nesse aspecto, pode-se afirmar que a estratégia empregada se demonstrou adequada, sendo capaz de controlar o fluxo de potência entre as cargas e os sistemas de geração, apresentando bidirecionalidade e isolamento galvânico entre os sistemas de geração. O conversor *Buck-Boost* também demonstrou resposta satisfatória, tanto na carga quanto na descarga das baterias.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Tecnologia e Desenvolvimento em Geração Distribuída (INCT-GD), processo CNPq n° 465640/2014-1, processo CAPES n° 23038.000776/2017-54 e processo FAPERGS n° 17/2551-0000517 -1.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Scherer L. G.: 'Hybrid topology and input voltage control methods of self-excited induction generators'. Thesis (Doctoral Degree in Electrical Engineering) - Federal University of Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2016.
- [2] Dupont F. H.: 'Study, analysis and implementation of a methodology for optimizing performance in systems composed by parallel converters'. Thesis (Doctoral Degree in Electrical Engineering) - Federal University of Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2014.
- [3] Zhong, Q. C., Hornik T.: 'Control of power inverters in renewable energy and smart grid integration'. First Edition. John Wiley & Sons, 2013.
- [4] Pati S., Mohanty K. B., Kar S., ET AL.: 'Integration and Power Control of a Micro-Hydro-PV Wind based Hybrid Microgrid'. 2017 International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT].
- [5] Adam K. B., Miyauchi H.: 'Design of PV-DC Mini Grid Using PI-based Fuzzy MPPT Control Considering Load Demand'. the 2017 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Malaysia, November 5-8, 2017.
- [6] Beluco A., Souza P. K., Krenzinger A.: 'PV hydro hybrid systems'. IEEE Latin America Transactions, VOL. 6, NO. 7, December 2008.
- [7] Sun Kai F. W., Guan Y., Wang Y.: 'A Novel Frequency Restoring Strategy of Hydro-PV Hybrid Microgrid'. International Power Electronics and Application Conference and Exposition. 2014.
- [8] Filho, L. R. A. G., Seraphim O. J., Caneppele F. de L.: 'Variable analysis in wind photovoltaic hybrid systems in rural energization'. IEEE Latin America Transactions, v. 14, p. 4757 – 4761, 2016.
- [9] Jena B., Choudhury A.: 'Voltage and Frequency Stabilisation In a Micro-Hydro-PV Based Hybrid Microgrid Using FLC Based STATCOM Equipped with BESS'. 2017 International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT].
- [10] Kalla U. K., Singh B., Murthy S. S., ET AL.: 'Slide mode control of microgrid using small hydro driven single-phase SEIG integrated with solar PV array. IET Renew. Power Gener., 2017, Vol. 11 Iss. 11, pp. 1464-1472.
- [11] Rezkallah M., Sharma S., Chandra A., ET AL.: 'Hybrid Standalone Power Generation System Using Hydro-PV-Battery for Residential Green Buildings'. IECON2015-Yokohama November 9-12, 2015.
- [12] Sema, Singh B.: 'Intelligent Control of SPV-Battery-Hydro Based Microgrid'. Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2016 IEEE International Conference on.
- [13] Kewat S., Singh B., Hussain I.: 'Power management in PV-battery-hydro based standalone microgrid'. IET Renew. Power Gener., 2018, Vol. 12 Iss. 4, pp. 391-398.
- [14] Erickson R. W.: 'Fundamentals of Power Electronics'. Kluwer Academic Publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow 2004.
- [15] Begum B. A., Vasanth J. A.: 'MPPT Based Photovoltaic Boost Half Bridge Converter for Grid Connected System'. International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 2014.
- [16] Daneshpajoo H., Bakhshai A., Jain P.: 'Optimizing dual half bridge converter for full range soft switching and high efficiency'. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2011.
- [17] Chakraborty S., Tripathy S., Chattopadhyay S.: 'Minimum RMS Current Operation of the Dual-Active Half-Bridge Converter using Three Degree of Freedom Control'. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2016.
- [18] Chakraborty S., Palmal M., Chattopadhyay S.: 'Approaches for Continuous-Time Dynamic Modeling of the Asymmetric Dual-Active Half-Bridge Converter'. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2018.
- [19] Zhao S., Umuhzoza J., Zhang Y., ET AL.: 'Analysis and Optimization of a High-Efficiency Residential Energy Harvesting System with Dual Half-Bridge Converter'. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2017.
- [20] Wang M., Du Y., Lukic S., ET AL.: 'Small-Signal Analysis and Modeling of the Dual Active Half Bridge Converter'. Twenty-Seventh Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012.
- [21] Raghavendra H. S.: 'The Multi-Input Renewable Source Inverter with Current Fed Isolated Half Bridge Converter and the H-Bridge Inverter'. International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM), 2015.
- [22] Chakraborty S., Chattopadhyay S.: 'Fully-ZVS, Minimum RMS Current Operation of the Dual-Active Half-Bridge Converter using Closed-loop Three Degree of Freedom Control'. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018.
- [23] Tissières M., Askarian I., Pahlevani M., ET AL.: 'A Digital Robust Control Scheme for Dual Half- Bridge DC-DC Converters'. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2018.
- [24] Singh B., Adya A., Mittal A.P., ET AL.: 'Modeling and control of DSTATCOM for three-phase, four-wire distribution systems'. Fourth IAS Annual Meeting Conf. Record of the 2005 Industry Applications Conf., Kowloon, Hong Kong, 2005, vol. 4 .

- [25] Rohani A., Iorabian M.: 'Modeling and Control of DSTATCOM using adaptive hysteresis band current controller in Three-Phase Four Wire Distribution systems'. The 5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC 2014), Feb 5-6, 2014, Tehran, Iran.
- [26] Kumar M., Swarnkar A., Gupta N., ET AL.: 'Design and operation of DSTATCOM for power quality improvement in distribution systems'. The 6th International Conference on Renewable Power Generation (RPG) 19–20 October 2017.
- [27] Schuch L., Rech C., Hey H. L., ET AL.: 'Analysis and design of a new high-efficiency bidirectional integrated ZVT PWM converter for DC-bus and battery-bank interface.' IEEE Transactions on Industry Applications, v. 42, n. 5, p. 1321–1332, Sept 2006.