

Fonte de Alimentação CC Usando Energia Fotovoltaica e Baterias

Francisco Edenilson Cordeiro da Silva (UFC) - ede.ufc.467@gmail.com

Ana Patricia Fontenele Barros (UFC) - pat.bfontenele@alu.ufc.br

Demison Monteiro Alcantara (UFC) - demison.alcantara@gmail.com

Rene Pastor Torrico Bascopé (UFC) - rene@dee.ufc.br

Resumo:

Este artigo apresenta uma fonte de alimentação CC usando energias vindas do arranjo fotovoltaico e da bateria. A estrutura que controla o fluxo de potência entre as duas fontes de energia e a carga é um conversor CC-CC de alto ganho de tensão baseado na célula de comutação de três estados, que para simplificar é denominado de "Conversor CC-CC AGT-CCTE". Durante a operação do sistema, dependendo da radiação solar, ocorrem três cenários em regime permanente: Cenário 1 - em condições de plena radiação solar, o arranjo fotovoltaico fornece energia para a carga e para a bateria; Cenário 2 - em situação de radiação solar nula, a bateria estacionária fornece toda a energia à carga; finalmente, Cenário 3, em caso de radiação solar fraca, tanto o arranjo fotovoltaico como a bateria estacionária fornecem simultaneamente energia à carga. Para satisfazer os três cenários o conversor CC-CC AGT-CCTE opera em modo Buck e no modo Boost de maneira bidirecional em corrente entre as fontes de alimentação do sistema. Para verificar o princípio de operação da fonte, um protótipo com arranjo fotovoltaico de 4 módulos de 95W (380 W) será usado. Dessa potência serão distribuídas, 200 W para a carga e 180 W para carregar a bateria estacionária de chumbo-ácido. As tensões de barramento envolvidos serão: bateria - 12 V/70 Ah; arranjo fotovoltaico - 36,36 V no ponto de MPP; e tensão de saída na carga - 250 V.

Palavras-chave: *Energia Solar-Fotovoltaica, Fonte de Alimentação Fotovoltaica, Conversor CC/CC AGT-CCTE*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Tecnologias e ensaios de inversores e outros equipamentos de eletrônica de potência*

Fonte de Alimentação CC Usando Energia Fotovoltaica e Baterias

Francisco Edenilson Cordeiro da Silva – ede.ufc.467@gmail.com

Ana Patricia Fontenele Barros – pat.bfontenele@alu.ufc.br

Demison Monteiro Alcantara – demison.alcantara@gmail.com

René P. Torrico Bascopé – rene@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. Este artigo apresenta uma fonte de alimentação CC usando energias vindas do arranjo fotovoltaico e da bateria. A estrutura que controla o fluxo de potência entre as duas fontes de energia e a carga é um conversor CC-CC de alto ganho de tensão baseado na célula de comutação de três estados, que para simplificar é denominado de “Conversor CC-CC AGT-CCTE”. Durante a operação do sistema, dependendo da radiação solar, ocorrem três cenários em regime permanente: Cenário 1 – em condições de plena radiação solar, o arranjo fotovoltaico fornece energia para a carga e para a bateria; Cenário 2 - em situação de radiação solar nula, a bateria estacionária fornece toda a energia à carga; finalmente, Cenário 3 - em caso de radiação solar fraca, tanto o arranjo fotovoltaico como a bateria estacionária fornecem simultaneamente energia à carga. Para satisfazer os três cenários o conversor CC-CC AGT-CCTE opera em modo Buck e no modo Boost de maneira bidirecional em corrente entre as fontes de alimentação do sistema. Para verificar o princípio de operação da fonte, um protótipo com arranjo fotovoltaico de 4 módulos de 95W (380 W) foi usado. Dessa potência foram distribuídas, 200 W para a carga e 180 W para carregar a bateria estacionária de chumbo-ácido. As tensões de barramento envolvidos foram: bateria - 12 V/70 Ah; arranjo fotovoltaico – 36,36 V no ponto de MPP; e tensão de saída na carga – 250 V.

Palavras-chave: Energia Solar-Fotovoltaica, Fonte de Alimentação Fotovoltaica, Conversor CC/CC AGT-CCTE.

1. INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis constituem a maior parcela da matriz energética global. Porém, desde a assinatura do protocolo de Kyoto em 1997, a preocupação com as questões ambientais vem crescendo cada vez mais (Lima, Rebelatto e Savi, 2006). Esse fato fez com que as energias renováveis ganhassem muita importância no âmbito mundial. O relatório de 2019, apresentado pela Agência Internacional para as Energias Renováveis – IRENE, informa um crescimento exponencial da capacidade instalada de energia renovável (IRENE, 2019), sendo a energia fotovoltaica a que mais adiciona capacidade de geração de energia elétrica em todo o mundo (ABSOLAR, 2018). A geração de energia fotovoltaica consiste na transformação de energia solar em energia elétrica realizada através de módulos fotovoltaicos. A energia convertida, quando não utilizada no momento de sua geração, pode ser armazenada em baterias. Existe uma busca constante pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema fotovoltaico e suas aplicações, que envolvem os módulos e baterias capazes de armazenar essa energia.

Tocante as pesquisas sobre sistemas autônomos de energia elétrica usando energia fotovoltaica, existem topologias que permitem fornecer à carga uma tensão alternada como proposto por (Debnath, D., 2016), ou como uma tensão contínua como apresentado em (Zhu, H., 2015), (Sun, X., 2015), (Karthikeyan, V., 2017), (De Carvalho Neto, J. T., 2018), (Yang, Y., 2019). Os sistemas com tensão de saída alternada, normalmente, usam dois estágios de processamento de energia, sendo um primeiro estágio formado pelo conversor CC-CC e um segundo estágio dado pelo conversor CC-CA, também denominado de inversor. O rendimento global de um sistema de dois estágios é igual ao produto do rendimento de ambos os estágios, sendo assim, o valor resultante é abaixo (< 90 %). Pelo fato do rendimento global ser baixo em fontes de dois estágios, foi pensado em desenvolver um sistema autônomo de um único estágio. Para isso, foi escolhido o conversor CC-CC AGT-CCTE estudado na sua forma unidirecional por (Araújo, S. V., 2010) e na sua versão bidirecional por (Bastos, G. H. de A., 2019). Hoje em dia há cargas eletro-eletrônicos que não necessitam de tensão alternada para operar adequadamente, pelo fato de terem circuitos condicionadores internos incorporados nas próprias cargas. Entre as possíveis cargas, podem ser, os carregadores de baterias de *notebooks*, os carregadores de celulares; lâmpadas e refletores a *LED*, televisores de tela plana, furadeiras com motor universal, etc.

2. CONTROLADOR DE FLUXO DE POTÊNCIA

2.1. Diagrama de Blocos da Operação da Fonte de Alimentação

A Fig. 1 mostra o diagrama de blocos do sistema proposto, onde, dependendo da incidência da radiação solar ocorrem três cenários de operação em regime permanente. O primeiro cenário é mostrado na Fig. 1 (a), o qual

corresponde à radiação solar plena, o arranjo fotovoltaico fornece energia para a carga e para as baterias estacionárias, simultaneamente. Isso implica que o arranjo fotovoltaico deve ser dimensionado para fornecer uma potência maior em relação a potência nominal da carga. O segundo cenário é mostrado na Fig. 1(b) que ocorre quando não há radiação solar. Neste evento as baterias estacionárias fornecem toda a energia para a carga. Finalmente, o terceiro cenário é mostrado na Fig. 1(c), o qual ocorre quando a radiação solar é fraca e o arranjo fotovoltaico fornece pouca potência e há a necessidade de complementar a energia a partir da bateria estacionária. Na Fig. 1(d) são mostradas as possíveis cargas que podem ser conectadas a uma tensão contínua de 250 V.

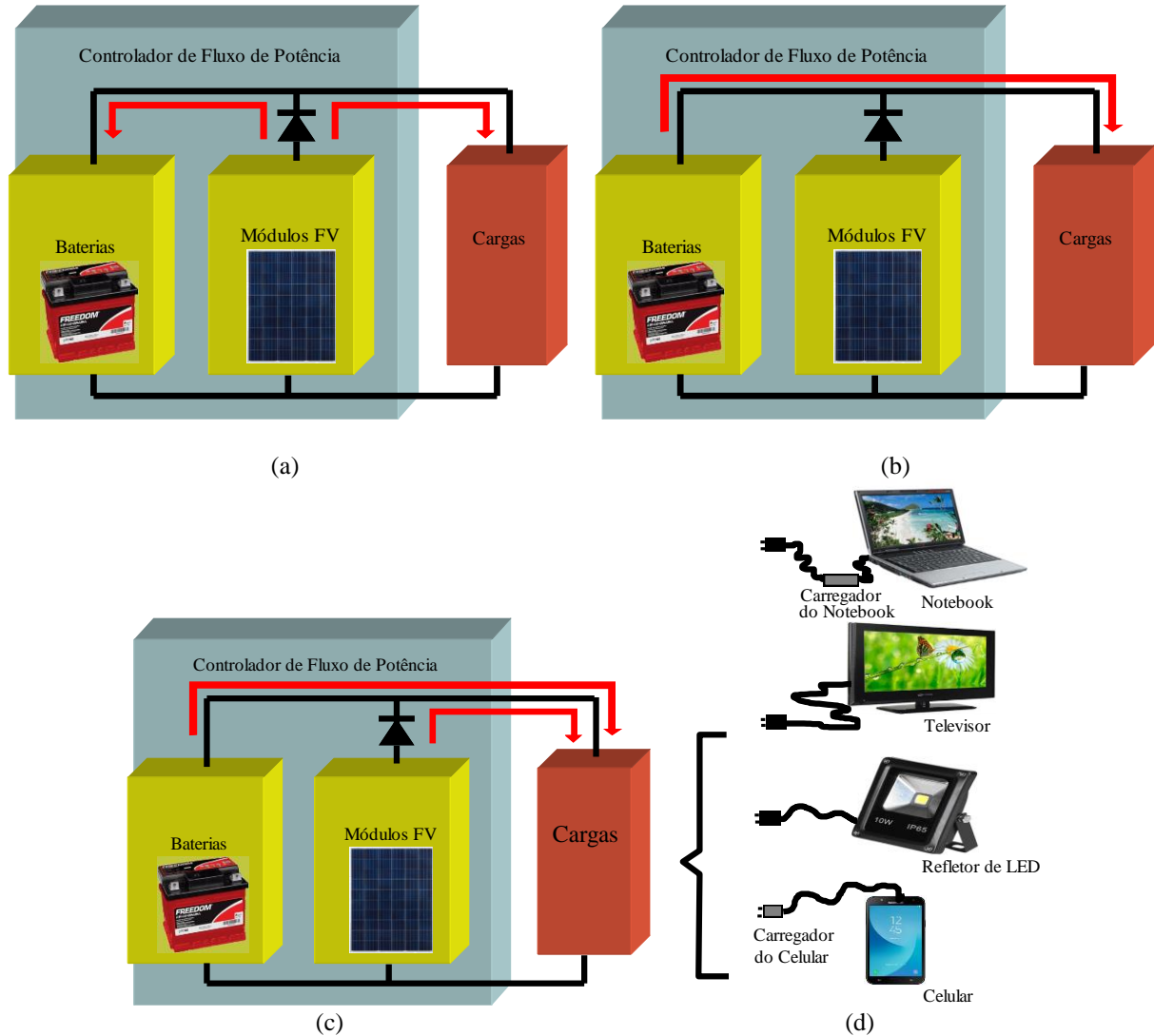


Figura 1. Diagrama de blocos da operação da fonte de alimentação, (a) com radiação solar plena, (b) sem radiação solar, (c) com radiação solar fraca, e (d) tipos de cargas.

2.2. Topologia do Controlador de Potência

A Fig. 2 mostra a topologia e a disposição do circuito experimental do controlador de fluxo de potência, que consiste do conversor CC-CC AGT-CCTE com operação bidirecional entre as fontes de alimentação. O mesmo apresenta na sua arquitetura: a fonte tensão V_{bat} que representa a bateria; a fonte de corrente I_{FV} que consiste do modelo básico do arranjo fotovoltaico; o indutor de armazenamento L_b ; o transformador T_r composto por três enrolamentos cujo número de espiras são N_{p1} , N_{p2} e N_s ; as chaves controladas S_1 e S_2 que atuam no modo *Boost*, as chaves controladas S_3 e S_4 que operam no modo *Buck*; os diodos ultra-rápidos D_1-D_6 ; os capacitores de filtro C_o , C_1 , C_2 e C_3 ; e a carga representada por R . Na topologia, o capacitor C_1 é ligado em paralelo com o arranjo fotovoltaico para proporcionar a característica de fonte de tensão aos mesmos, já que o módulo fotovoltaico apresenta uma forte característica de fonte de corrente.

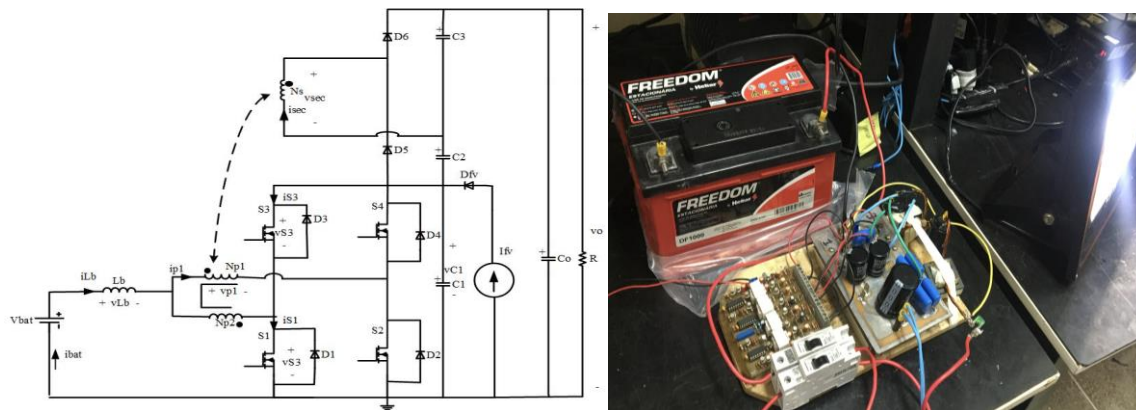


Figura 2 – Topologia e protótipo do controlador de fluxo de potência.

2.3. Operação no Modo Buck

O conversor opera em Modo *Buck* (MBu) quando a radiação solar é plena, assim a energia do arranjo fotovoltaico é enviada à carga e as baterias estacionárias. Para que isso ocorra a tensão do arranjo fotovoltaico deve ser maior em relação à tensão do barramento da bateria. Neste modo de operação, as chaves controladas S_3 e S_4 apresentam uma razão cíclica menor que 0,5 e ambos os sinais são deslocados em 180° elétricos entre si. Para entender o princípio de funcionamento neste modo de operação, são feitas algumas considerações: O conversor opera em modo de condução contínua (MCC), a frequência de chaveamento é constante, os semicondutores são ideais, o transformador apresente indutância magnetizante infinita, todos os capacitores envolvidos se comportam como fontes de tensão.

Neste modo de operação, as chaves S_1 e S_2 apresentam pulsos complementares, mesmo assim, a corrente circula pelos diodos em antiparalelo ou pelo canal no sentido fonte-dreno. De acordo a modulação PWM (*pulse width modulation*) o conversor no MBu apresenta quatro intervalos de operação que estão indicadas na Fig. 3, e baseado nestes intervalos são desenhados os caminhos de circulação de corrente nos componentes do conversor como mostra a Fig. 4.

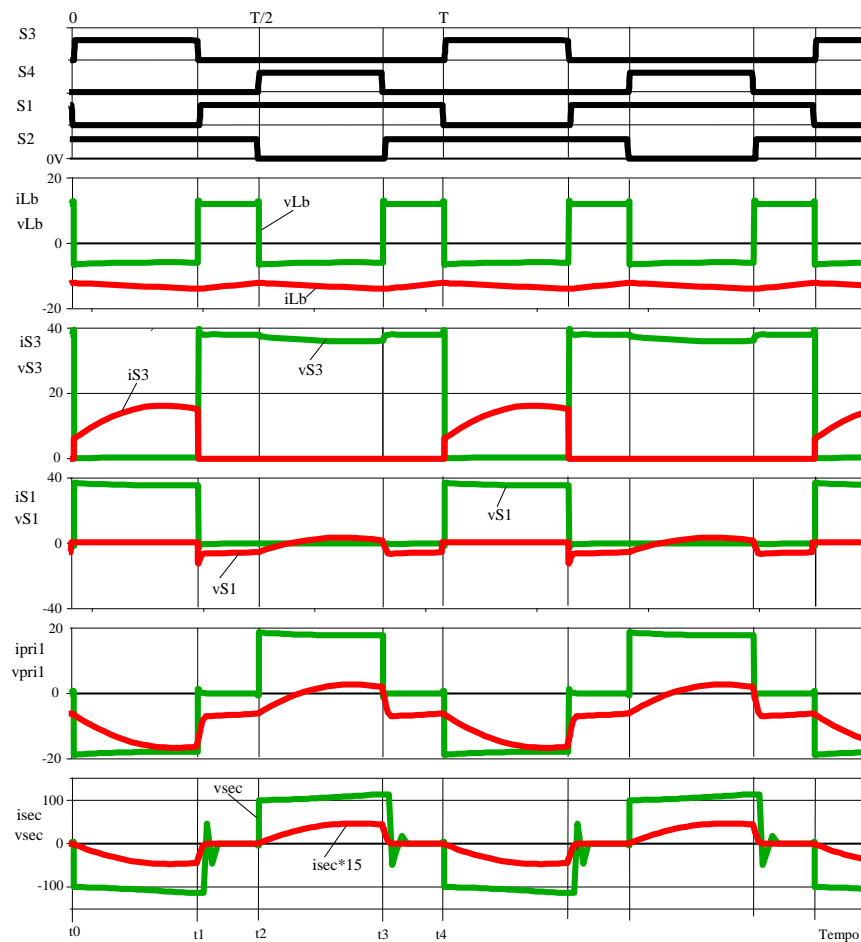


Figura 3 – Formas de onda no MBu.

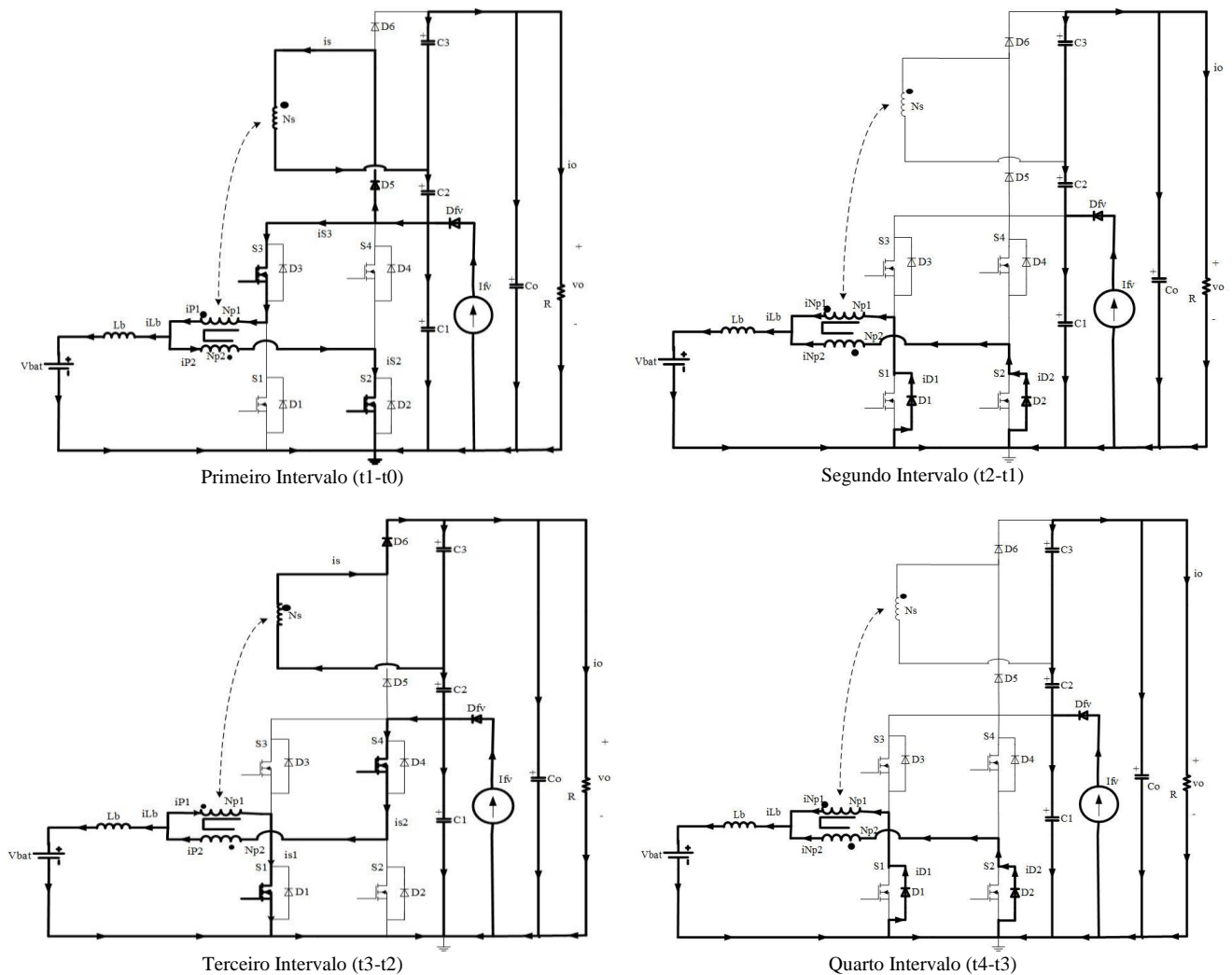


Figura 4. Caminhos de circulação de corrente durante os intervalos no MBu.

2.4. Operação no Modo *Boost*

A operação em Modo *Boost* (MBo) ocorre quando a radiação solar que chega aos módulos fotovoltaicos é nula. Desta maneira, o arranjo fotovoltaico não fornece energia, e para suprir esta deficiência, a bateria estacionária é a responsável de enviar energia para a carga. Neste modo de operação, as chaves controladas S_1 e S_2 apresentam uma razão cíclica maior que 0,5 e ambos os sinais são deslocados em 180° elétricos entre si. Para compreender o princípio de funcionamento neste modo de operação, são feitas as mesmas considerações que para o MBu.

Neste modo de operação, as chaves S_3 e S_4 apresentam pulsos complementares, mesmo assim, a corrente circula pelos diodos em antiparalelo ou pelo canal no sentido fonte-dreno. De acordo a modulação PWM o conversor no MBo apresenta quatro intervalos de operação que estão indicadas na Fig. 5, e baseado nestes intervalos são desenhados os caminhos de circulação de corrente nos componentes do conversor como mostra a Fig. 6.

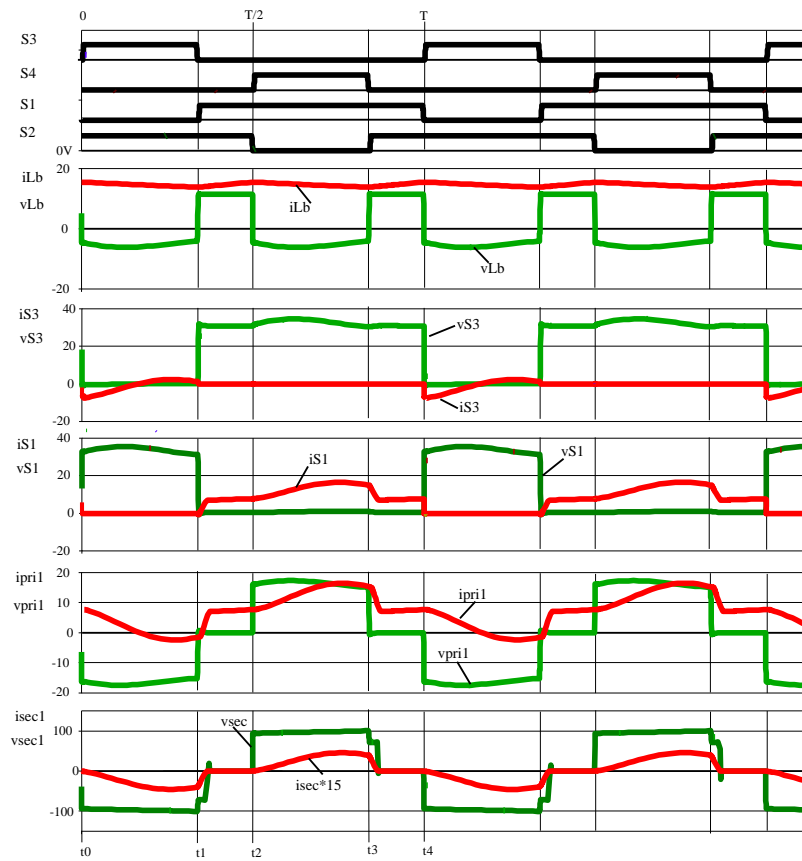


Figura 5 – Formas de onda no MBo

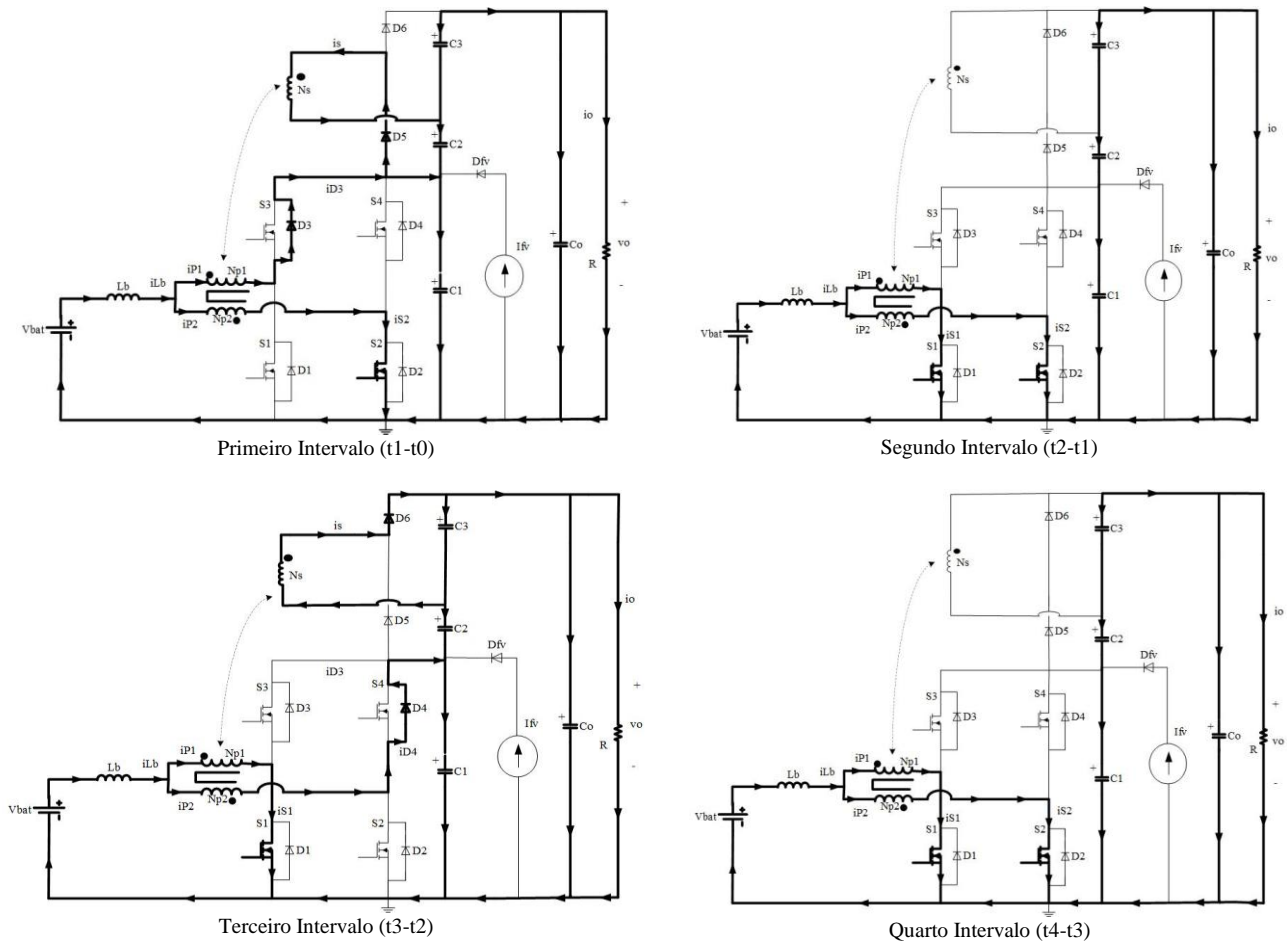


Figura 6. Caminhos de circulação de corrente durante os intervalos no MBo.

3. ANÁLISE QUANTITATIVA

3.1. Ganho Estático no Modo *Buck*

Neste modo de operação, o arranjo fotovoltaico envia energia para a bateria e para a carga, o qual mostra que o arranjo apresenta duas cargas, sendo uma delas a bateria estacionária que tem nos terminais a tensão V_{bat} e a outra o resistor R que tem nos terminais a tensão média V_o . Considerando a tensão no arranjo fotovoltaico V_{FV} , os correspondentes ganhos estáticos entre as saídas e as entradas são:

$$G_{vbu(1)} = \frac{V_{bat}}{V_{FV}} = D_{bu} \quad (1)$$

$$G_{vbu(2)} = \frac{V_o}{V_{FV}} = (1+n) \quad (2)$$

A razão cíclica D_{bu} no MBu é sempre menor que 0,5.

A relação de transformação do transformador é definida como,

$$n = \frac{N_s}{N_p}. \quad (3)$$

Neste caso, a tensão do arranjo fotovoltaico é igual à tensão sobre o capacitor C_I que fica em paralelo para proporcionar característica de fonte de tensão.

$$V_{FV} = V_{C_I} \quad (4)$$

A Eq. (1) é representada graficamente na Fig. 7, onde se percebe uma característica similar do conversor CC-CC *Buck* clássico. É importante recalcar que a razão cíclica é limitada em 0,5.

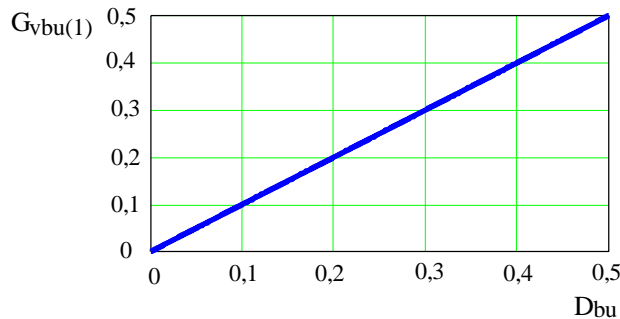


Figura 7 – Ganho estático do conversor no MBu.

3.2. Ganho Estático no Modo *Boost*

Neste modo de operação, o arranjo fotovoltaico não fornece energia, implica que não há radiação solar. Desta maneira, a energia é fornecida pela bateria estacionária à carga R . Assim, ocorre o ganho estático entre a tensão sobre o capacitor C_I em paralelo com o arranjo fotovoltaico V_{C_I} e a tensão nos terminais da bateria estacionária V_{bat} , onde a razão cíclica D_{bo} é maior que 0,5. Por outro lado, o outro ganho estático neste modo de operação é dado pela relação entre a tensão V_o sobre a carga R e a tensão sobre os terminais da bateria estacionária V_{bat} . Ambos os ganhos estão relacionados pelas equações (5) e (6):

$$G_{vbo(1)} = \frac{V_{C_I}}{V_{bat}} = \frac{1}{(1-D_{bo})} \quad (5)$$

$$G_{vbo(2)} = \frac{V_o}{V_{bat}} = \frac{(1+n)}{(1-D_{bo})} \quad (6)$$

As razões cíclicas entre o modo *Buck* e o modo *Boost* são complementares, e estão relacionadas pelas equações (7) e (8).

$$D_{bu} = (1 - D_{bo}) \quad (7)$$

$$D_{bo} = (1 - D_{bu}) \quad (8)$$

As Eqs. (5) e (6) são representadas graficamente na Fig. 8. A Eq. 5 é similar à do conversor CC-CC *Boost* clássico que corresponde a $n=0$. É importante ressaltar que a razão cíclica deve ser maior que 0,5 para garantir o armazenamento de energia no indutor L_b e enviar a carga R pelo secundário do transformador.

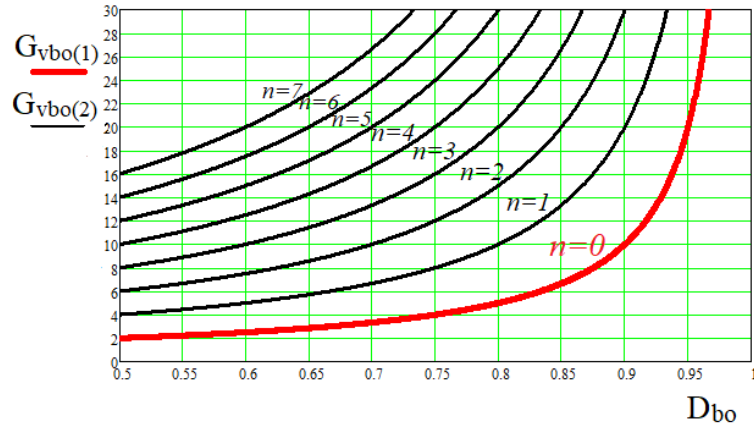


Figura 8 – Ganho estático do conversor no MBo.

4. EXEMPLO DE PROJETO

As especificações e considerações para projetar o controlador de fluxo de potência, também denominado de conversor CC-CC AGT-CCTE são apresentadas na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 1 – Especificações do conversor CC-CC AGT-CCTE.

$P_o=200\text{ W}$	Potência média na carga
$V_o=250\text{ V}$	Tensão média na carga
$V_{batmin}=10,5\text{ V}$	Tensão mínima na bateria
$V_{batmax}=14\text{ V}$	Tensão máxima na bateria (tensão de flutuação)
$V_{FV}=36,36\text{ V}$	Tensão do arranjo FV no MPP
$P_{FV}=380\text{ W}$	Potência do arranjo FV no MPP a 25 °C

Tabela 2 – Algumas considerações de projeto.

$f_s=30\text{ kHz}$	Frequência de chaveamento
$\eta=0,95$	Rendimento teórico
$V_{C1}=35\text{ V}$	Tensão sobre capacitor C_1
$\Delta I_{Lbmax}=10\%I_{batmax}$	Ondulação de corrente no indutor L_b
$t_{hold_Co}=10\text{ ms}$	Tempo de manutenção para dimensionar C_o
$t_{hold_C1}=1\text{ ms}$	Tempo de manutenção para dimensionar C_1

Neste controlador os maiores esforços de corrente nos componentes ocorrem quando a bateria envia toda a energia para a carga quando a radiação solar é nula. Portanto, o dimensionamento dos dispositivos envolvidos é feito para esta condição.

A partir da Eq. (5) a razão cíclica máxima no MBo é,

$$D_{bomax} = \left(1 - \frac{V_{batmin}}{V_{C1}}\right) = \left(1 - \frac{10,5}{35}\right) = 0,7 \quad (9)$$

A relação de transformação, n , é encontrada a partir da Eq. (6),

$$n = \frac{V_o}{V_{batmin}} \cdot (1 - D_{bomax}) - 1 = \frac{250}{10,5} \cdot (1 - 0,7) - 1 = 6,2 \quad (10)$$

A ondulação de corrente no indutor é dada pela Eq. (11),

$$\Delta I_{batmax} = 0,1 \cdot \left(\frac{P_o}{\eta \cdot V_{batmin}} \right) = 0,1 \cdot \left(\frac{200}{0,95 \cdot 10,5} \right) = 2A \quad (11)$$

A indutância do indutor filtro é encontrada usando a Eq. (12) [Araújo, S. V.],

$$L_b = \frac{1}{16} \cdot \frac{V_o}{f_s \cdot (1+n) \cdot \Delta I_{batmax}} = \frac{1}{16} \cdot \frac{250}{30 \cdot 10^3 \cdot (1+6,2) \cdot 2} = 36,2 \mu H \quad (12)$$

Para dimensionar a capacitância dos capacitores C_o e C_1 são usadas as Eqs. (13) e (14) (Todd, P. C., 1999),

$$C_o = \frac{2 \cdot P_o \cdot t_{hold_Co}}{(V_o^2 - V_{omin}^2)} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{(250^2 - 230^2)} = 416,7 \mu F \quad (13)$$

Para fins práticos é adotado um capacitor comercial de $470 \mu F/400 V$.

$$C_1 = \frac{2 \cdot P_{FV} \cdot t_{hold_C1}}{(V_{FV}^2 - V_{FVmin}^2)} = \frac{2 \cdot 380 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{(36,36^2 - 35,36^2)} = 10,6 mF \quad (14)$$

Para fins práticos é adotado um capacitor comercial de $10 mF/100 V$.

Para dimensionar a capacitância dos capacitores C_2 e C_3 são usadas as Eqs. (15) e (16) (Araújo, S. V., 2010)

$$\Delta V_{C2-C3} = 5\% \cdot (V_o - V_{C1}) = 0,05 \cdot (250 - 35) = 10,8V \quad (15)$$

$$C_{C2-C3} = \frac{1}{4} \cdot \frac{I_{batmax}}{n} \cdot \frac{(1 - D_{bomax})}{f_s \cdot \Delta V_{C2-C3}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{20}{6,2} \cdot \frac{(1 - 0,7)}{30 \cdot 10^3 \cdot 10,8} = 746,7 nF \quad (16)$$

Para fins práticos são adotados capacitores de poliéster de $1 \mu F/400 V$.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Mediante experimento são apresentados os três cenários possíveis durante a operação em regime permanente.

A Fig. 9 mostra resultados de operação do controlador de fluxo de potência para o modo *Buck* (MBu), o qual ocorreu quando havia uma radiação solar plena e o arranjo fotovoltaico forneceu sua potência nominal. Esta operação corresponde ao primeiro cenário. Fazendo uma descrição de cima para baixo das formas de onda, temos: a tensão de saída total V_o que chega aos terminais da carga; a tensão nos terminais do capacitor C_1 e que chega a ser a tensão nos terminais do arranjo fotovoltaico V_{FV} ; a tensão nos terminais da bateria V_{bat} ; a corrente fornecida pelo arranjo fotovoltaico I_{FV} ; e a corrente absorvida pela bateria I_{bat} . Resumindo, no MBu o arranjo fotovoltaico forneceu energia para a carga e para a bateria.

A Fig. 10 mostra formas de onda das mesmas grandezas descritas anteriormente, porém, o controlador operando no modo *Boost* (MBo) que corresponde ao segundo cenário. Este modo de operação ocorreu quando a radiação solar era nula e o arranjo fotovoltaico não cedeu energia. Desta maneira, quem supriu toda a energia foi a bateria estacionária. Nesta situação o diodo em série com o arranjo polarizou reversamente, o que deixou o arranjo fotovoltaico em circuito aberto e o capacitor C_1 grampeado com tensão V_{C1} obedecendo a Eq. (5).

A Fig. 11 mostra os mesmos resultados anteriores, porém desta vez o controlador operou simultaneamente no modo *Buck* e no modo *Boost*. Esta situação corresponde ao terceiro cenário, onde a bateria estacionária e o arranjo fotovoltaico forneceram energia ao mesmo tempo. Este evento ocorreu quando a radiação solar era fraca e não conseguia suprir toda a potência da carga.

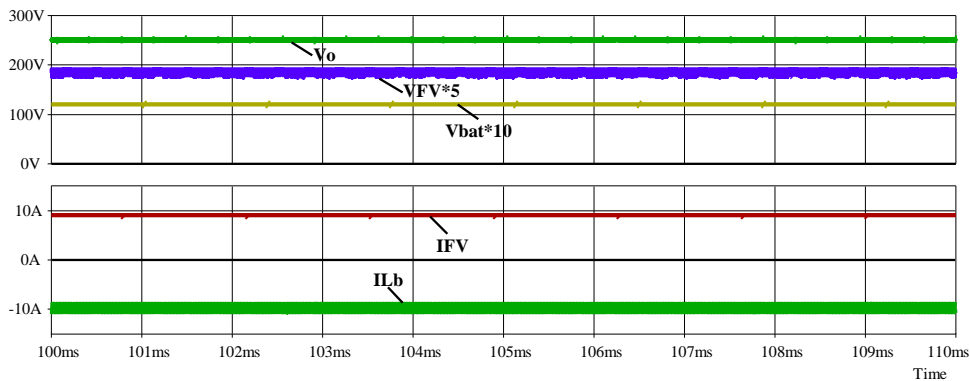


Figura 14 – Descrição de cima para baixo: tensão na carga, tensão no arranjo *FV*, tensão na bateria, corrente fornecida pelo arranjo *FV*, e corrente de recarga das baterias.

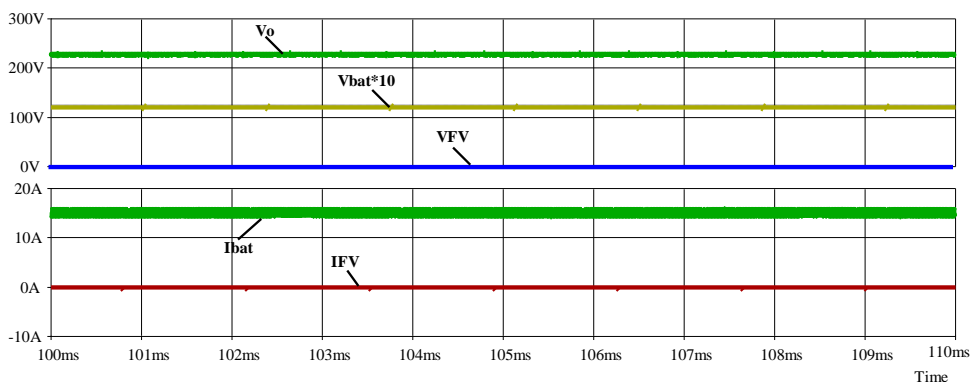


Figura 15 – Descrição de cima para baixo: tensão na carga, tensão no arranjo FV , tensão na bateria, corrente fornecida pelo arranjo FV , e corrente de descarga das baterias.

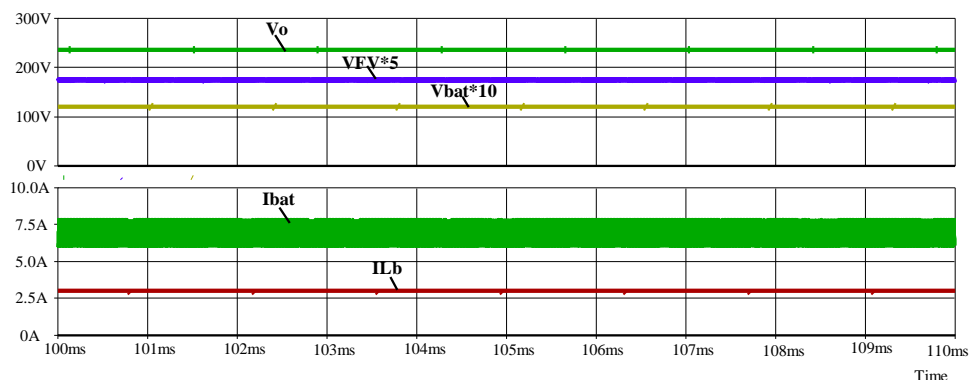


Figura 16 – Descrição de cima para baixo: tensão na carga, tensão no arranjo FV , tensão na bateria, corrente fornecida pelo arranjo FV , e corrente de descarga das baterias.

6. CONCLUSÃO

Os sistemas autônomos de energia, também denominados de sistemas *off-grid*, que podem fornecer tensão contínua ou tensão alternada na sua saída para a carga, são de muito interesse para o aproveitamento da energia fotovoltaica, principalmente, em regiões onde não há rede elétrica disponível. Outra motivação que desperta o estudo é a possibilidade da elevada taxa de concessão das concessionárias à geração *on-grid* obedecendo a políticas do governo federal. Analisando o sistema autônomo de maneira geral, o dispositivo mais crítico da sua composição é a bateria estacionária de chumbo-ácido, que tem limitações da sua vida útil pelos fatores da descarga profunda e pela operação em temperaturas acima de 25 °C. Grande parte do território brasileiro, durante o dia supera a temperatura citada. Espera-se que outras tecnologias de baterias de baixo custo possam quebrar as limitações citadas e tornar viável a larga escala o desenvolvimento de sistemas autônomos, e desta maneira reduzir o retorno financeiro dos investimentos.

Tomando em consideração as hipóteses levantadas foi proposto um controlador de fluxo de potência com característica bidirecional entre as fontes de alimentação, bateria e arranjo fotovoltaico; e unidirecional entre a carga e as fontes de alimentação indicadas. O controlador com uma fonte de alimentação (baterias) já foi estudado e mostrou ter um rendimento acima de 95 %. Desta vez foi integrada mais uma fonte de alimentação que é dada por um arranjo fotovoltaico. O desafio foi mostrar resultados com ambas as fontes operando simultaneamente.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão do recurso financeiro correspondente ao Projeto Universal 01/2016, Processo 426972/2016-3; e ao Laboratório de Condicionadores de Energias (LCE) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica; O Panorama da Energia Solar no Resto do Mundo, 2018.
- Araújo, S. V.; Torrico-Bascopé, R. P.; and Torrico-Bascopé, G. V., 2010. Highly Efficient High Step-Up Converter for Fuel-Cell Power Processing Based on Three-State Commutation Cell, IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 57, n. 6, pp. 1987-199.

- Bastos, G. H. de A.; Costa, L. F.; Tofoli, F. L.; Torrico-Bascopé, G. V.; and Torrico-Bascopé, R. P. , (ano??). Nonisolated DC-DC Converters with Wide Conversion Range for High-Power Applications, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, pp. 1-11.
- Debnath, D.; Chatterjee, K., 2016. Solar photovoltaic-based stand-alone scheme incorporating a new boost inverter; IET Power Electron., vol. 9, pp. 621–630.
- De Carvalho Neto, J. T.; Salazar, A. O.; Lock, A. S.; and Fonseca, D. A. M., 2018. One Cycle Control for Battery Connected Standalone Photovoltaic Systems for DC Loads, IEEE Latin America Trans., vol. 16, n. 7, pp. 1977-1983.
- IRENE - Agencia Internacional para Energias Renováveis; Renewable Capacity Statistics, 2019.
- Karthikeyan, V.; Gupta, R., 2017. Varying Phase Angle Control in Isolated Bidirectional DC–DC Converter for Integrating Battery Storage and Solar PV System in Standalone Mode, IET Power Electronics, vol. 10, pp. 471-479.
- Lima, M. S. O.; Rebelatto, D. A. N.; Savi, E. M. S., 2006. O Papel das Fontes Renováveis de Energia na Mitigação da Mudança Climática, Bauru – São Paulo, XIII SIMPEP - I Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru.4
- Sun, X.; Shen, Y.; Li, W.; and Wu, H., 2015. A PWM and PFM Hybrid Modulated Three-Port Converter for a Standalone PV/Battery Power System, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electr., vol. 3, n. 4, pp. 984-1000.
- Todd, P. C., 1999. UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design, Unitrode Application Note U-134., pp. 3-269 to 3-288.
- Yang, Y.; Qin, Y.; Tan, S. C; and Hui, S. Y. R., 2019. Efficient Improvement of Photovoltaic-Battery Systems in Standalone DC Microgrids Using a Local Hierarchical Control for the Battery System, IEEE Trans. on Power Electr., vol. 34, n. 11, pp. 10796-10807.
- Zhu, H.; Zhang, D.; Athab, S. H.; Wu, B.; and Gu, Y., 2015. PV Isolated Three-Port Converter and Energy-Balancing Control Method for PV-Battery Power Supply Applications, IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 62, n.6, pp. 3595-3606.

DC Power Supply Using Photovoltaic Energy and Batteries

Abstract. *This paper presents a DC power supply using energies from a PV array and a battery. The structure that controls the power flow between the two power sources and the load is a high voltage gain DC-DC converter based on the three-state switching cell, which for simplicity is named “TSSC-HVG DC-DC Converter”. During the operation of the system, depending on the solar radiation, three scenarios occur in steady state: Scenario 1 - under full solar radiation condition, the photovoltaic array provides power to both, the load and the battery; Scenario 2 - In zero solar radiation condition, the stationary battery provides all power to the load; Finally, Scenario 3, in case of weak solar radiation, both the photovoltaic array and the stationary battery simultaneously provide power to the load. To satisfy all three scenarios, the TSSC-HVG DC-DC Converter operates in Buck mode and Boost mode in a bidirectional power flow between the two power sources. To verify the operating principle of the power supply, a 95 Wp 4-module photovoltaic array in parallel (380 Wp) was used. Of this total power, 200 W was distributed to the load, and 180 W was sent to a lead acid stationary battery. The bus voltages involved were: battery - 12 V/70 Ah; photovoltaic array - 36.36 V at MPP; and output voltage at load - 250 V.*

Key words: *Photovoltaic Solar Energy, Photovoltaic Power Supply, TSSC-HVG DC-DC Converter.*