

INVERSOL – SISTEMA ININTERRUPTO DE ENERGIA COM APROVEI- TAMENTO DE ENERGIA SOLAR

Eng. Lucas Maciel Menezes – lucas2@dee.ufc.br

Dr. Cícero Marcos Tavares Cruz – cicero@dee.ufc.br

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

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

3.4 Outros componentes de sistemas fotovoltaicos

Resumo. *O programa Luz para Todos, iniciativa do Governo Federal, objetiva o fornecimento de energia elétrica a comunidades isoladas, utilizando-a como vetor de desenvolvimento social e econômico locais. Uma das alternativas para cumprir tal objetivo é a adoção de geradores solares. Com essa motivação o projeto Inversol tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema ininterrupto de energia com transformador isolador operando em alta frequência, obtendo-se minimização volumétrica, e com saída de tensão senoidal. O sistema é concebido de tal forma que possa processar energia dos painéis fotovoltaicos, baterias e rede convencional CA. Esse processamento é feito através de conversores estáticos. Quando alimentado pela rede CA o sistema consiste em um retificador cascadeado com um conversor CC/CC com transformador isolador operando em alta frequência. Este conversor também é capaz de processar energia provida de baterias. Seguindo a série de conversores, um inversor de tensão do tipo ponte completa, com modulação PWM senoidal e filtro LC, fornece tensão com baixo conteúdo harmônico à carga. Quando a energia é provida pelos painéis fotovoltaicos, o sistema processa essa energia através de um conversor CC/CC elevador, conectando os painéis ao banco de baterias, e depois passando pelo conversor com o transformador isolador e em seguida pelo inversor.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Inversor, Conversor CC/CC ponte completa alimentado em corrente, UPS.*

1. INTRODUÇÃO

As estatísticas oficiais revelam que no Norte do país, 62,5% da população rural (cerca de 2,5 milhões de pessoas) não têm acesso aos serviços de energia elétrica. No Nordeste, 39,3% dos moradores da área rural (cerca de 5,8 milhões de pessoas) não têm luz. No Centro-Oeste, somam 27,6% (cerca de 367 mil pessoas); no Sudeste, 11,9% (cerca de 807 mil); e no Sul, 8,2% (cerca de 484 mil pessoas).

No Ceará, um total de 692.331 pessoas não tem acesso à energia elétrica. Deste total, 554.715 (80,1%) estão na área rural.

Considerando o panorama nacional, observa-se que a região mais carente no que se diz respeito ao fornecimento de energia elétrica às populações rurais é o Nordeste. Contudo, o grande problema quanto à distribuição de energia elétrica, não está na falta de energia para consumo, e sim na sua distribuição, haja vista que os domicílios sem o fornecimento de energia estão localizados em locais de difícil acesso, distantes do sistema de distribuição convencional.

Considerando o problema no fornecimento de energia elétrica a famílias do meio rural, o governo federal instituiu programas que visam suprimir essa carência no fornecimento de energia elétrica a essas comunidades. Um exemplo desses programas é o Decreto no 4.873, de novembro de 2003, que instituiu o programa LUZ PARA TODOS, orçado em R\$ 7 bilhões, destinado a proporcionar, até o ano de 2008, o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não tem acesso a esse tipo de serviço.

Tomando como referência o regimento do programa LUZ PARA TODOS, o atendimento das demandas no meio rural, deve se dar mediante uma das três possibilidades: extensão de redes, sistemas de geração descentralizada com redes isoladas ou sistemas individuais.

O projeto Inversol visa o desenvolvimento de um sistema ininterrupto de energia (UPS). Um conversor que possa ser utilizado tanto para UPS como para um sistema fotovoltaico, visando à produção em massa para a minimização dos custos.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema tem como base de sua especificação a Resolução Normativa da ANEEL nº 83, de 20 de setembro de 2004. Baseado na resolução é retirada a especificação do sistema, a forma de onda de saída senoidal, potência de saída de 500W e uma autonomia de dois dias, a tensão e frequência de saída obedecem aos mesmos níveis do município onde o sistema fotovoltaico vai ser instalado, com isso se escolheu a frequência de 60 Hz e uma tensão de 220 Volts, que são os padrões do município onde o projeto é desenvolvido.

O projeto se divide em duas partes, uma para o sistema operando como uma UPS e outra quando funciona em um sistema fotovoltaico.

2.1 Operando como UPS

O sistema quando operando como UPS, tem topologia *on-line* e consiste em um conversor isolador em ponte completa alimentado em corrente, alimentado por uma retificador ligado a rede AC, e um inversor em serie para o modo rede de operação. Já no modo bateria o sistema funciona com um conversor Boost de alto ganho que eleva o nível de tensão das baterias para suprir o inversor.

A figura 1 mostra a operação do sistema para o modo rede. Onde se pode observar o fluxo da energia, que vai da fonte AC de alimentação, passa pelo retificador e depois através do conversor isolador em alta frequência que faz a emulação de uma carga resistiva para a rede (correção do fator de potência) e por fim o inversor entrega a energia para a carga.

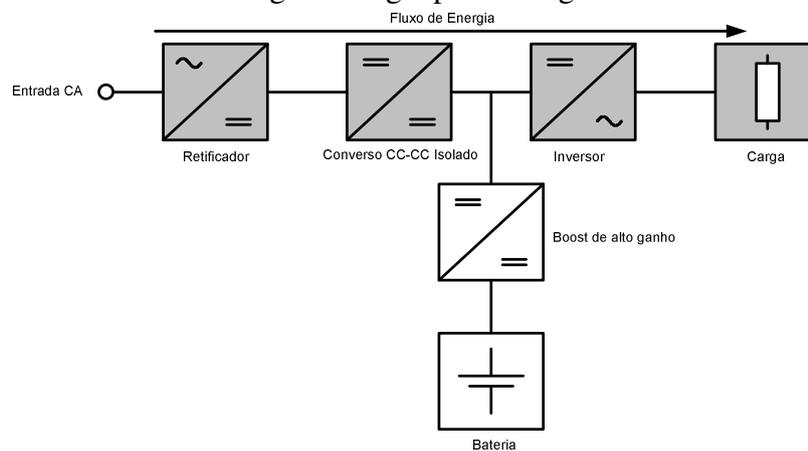


Figura 1 – Sistema operando no modo rede.

A figura 2 apresenta o sistema com a configuração para o modo bateria, onde um conversor boost de alto ganho faz a adequação do nível de tensão das baterias para suprir o inversor que alimenta a carga. O fluxo de energia vai das baterias para carga, através do caminho indicado.

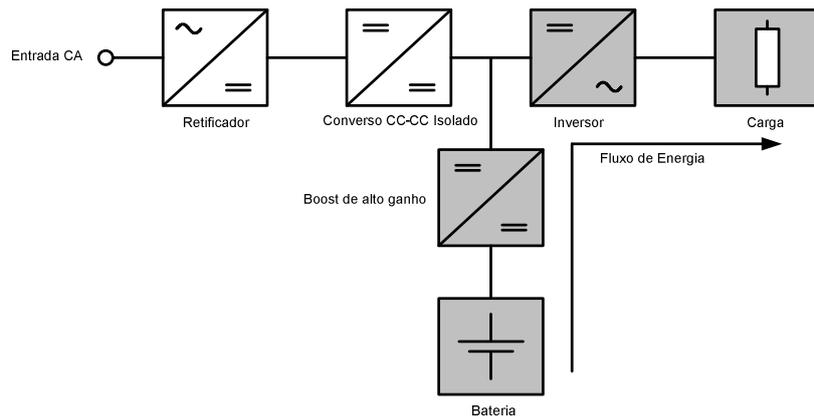


Figura 2 – Sistema operando no modo bateria.

2.2 Operando em um sistema fotovoltaico

Para um sistema fotovoltaico se faz uso de parte da estrutura da configuração USP. Aproveita-se do modo bateria da USP. É empregado um conversor Boost com controle de seguidor de máxima potência para conectar os painéis fotovoltaicos às baterias, fazendo papel de carregador de baterias. A figura 3 mostra o sistema para a configuração fotovoltaica. A energia captada pelos painéis é entregue para as baterias através do conversor Boost, das baterias o conversor Boost de alto ganho eleva a tensão das baterias, fornecendo a tensão adequada para o inversor, que entrega a energia pra carga. O conversor isolador e o retificador da UPS não são usados pelo sistema, assim podem ser descartados para esta configuração.

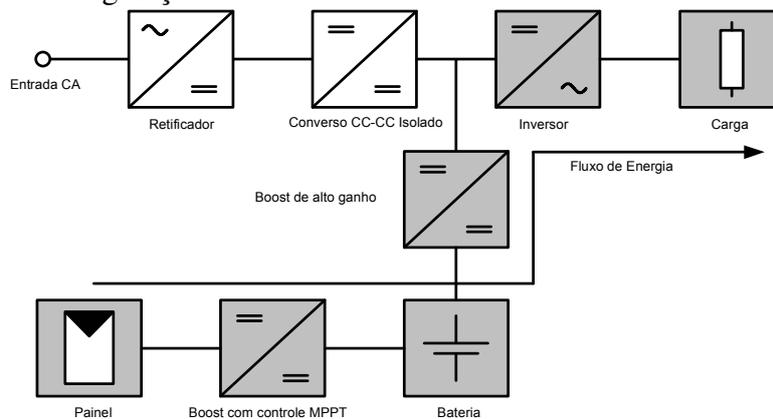


Figura 3 – Configuração para sistema fotovoltaico.

3. CONVERSORES DO SISTEMA

Os principais conversores usados para construir o sistema vão ser detalhados a seguir.

3.1 Conversor CC/CC Isolado

O conversor CC/CC isolado cumpre o papel de emular uma carga resistiva para rede fazendo a correção do fator de potência de entrada, prover o isolamento galvânico e entregar a tensão em nível adequado para o inversor. Na figura 4 podemos ver a topologia do conversor, aparece na literatura clássica em Erickson *et al*, que consiste em um indutor de entrada L, um conversor em ponte completa operando em alta frequência, um transformador isolador, uma ponte retificadora e um capacitor C de saída, e suas etapas de operação. O princípio de funcionamento é parecido com o do Boost clássico. Existem dois modos de operação o modo de carga do indutor e o modo de transferência de energia para carga.

A primeira e terceira etapa de funcionamento são idênticas, nelas acontece o carregamento do indutor através do fechamento das quatro chaves. O modo de transferência de energia para carga, acontece na segunda e quarta etapa. Na segunda etapa a corrente que passa pelo transformador passa pelas chaves S_1 e S_2 , já na quarta etapa isso acontece pelas chaves S_3 e S_4 .

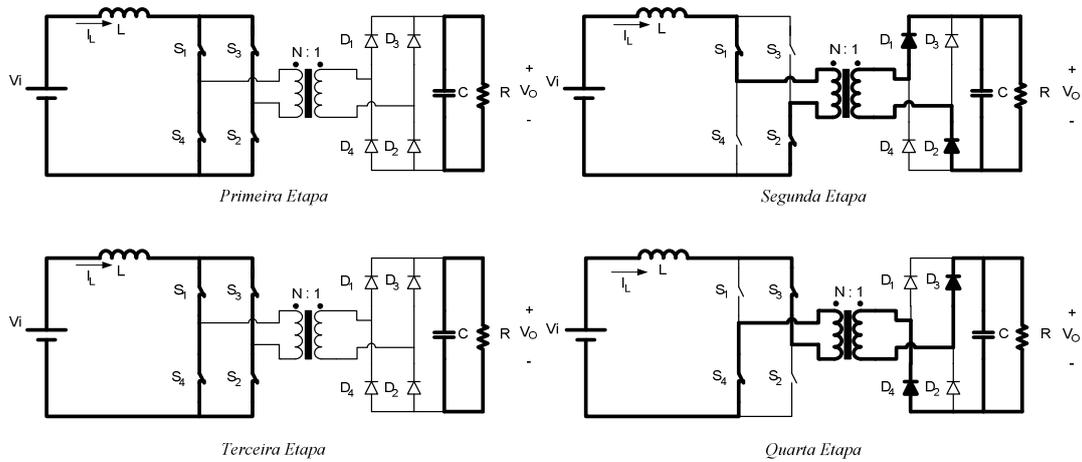


Figura 4 – Topologia e Etapas de operação do Conversor CC/CC isolado

Para que o conversor faça a correção do fator de potência foi usado o controle da corrente média do indutor L , como descrito em Tang *et al* (1992) e em Philip. Para cálculo dos parâmetros C e L foram usadas as equações (1) e (2).

$$C \geq \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot F_r \cdot V_{out} \cdot \Delta V_{out}} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{8} \cdot \frac{N \cdot \beta \cdot V_p}{f_s \cdot \Delta I_{in_{max}}} \quad (2)$$

No qual: P - Potência entregue para inversor em Watts; F_r – Frequência de tensão de alimentação em Hz; V_{out} – tensão do barramento de saída em Volts; ΔV_{out} - Variação da tensão de saída em Volts; N – relação de transformação; β - Relação do pico da tensão de entrada com a tensão de saída; V_p – Tensão de pico da entrada em Volts; f_s – Frequência de chaveamento dos interruptores em Hz; $\Delta I_{in_{max}}$ - Máxima variação de corrente no indutor em Ampères.

3.2 Conversor CC/CA

O inversor é o ultimo o conversor, responsável no sistema de entregar a energia para carga. Na figura 5 observa-se a topologia do inversor, que é em ponte completa com um filtro passa baixa LC. A modulação utilizada é a unipolar.

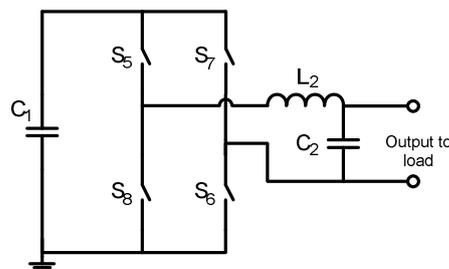


Figura 5 – Topologia do inversor.

O seu funcionamento é de acordo com Mohan *et al* (1995).

3.3 Boost de alto Ganho

O conversor Boost de alto ganho é utilizado tanto para elevar a tensão das baterias para o inversor como na para carregar as baterias no sistema fotovoltaico. Sua topologia é observada na figura 6.

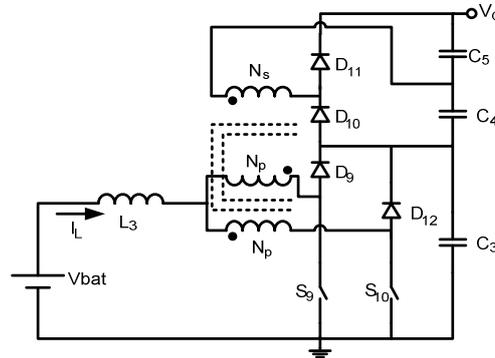


Figura 6 – Topologia do conversor Boost de alto ganho.

O funcionamento detalhando desse conversor pode ser visto em Bascopé *et al* (2006) baseado em Grove *et al* (2000). Para o controle desse conversor quando usado para acoplar os painéis fotovoltaicos as baterias, foi usado o controle descrito em Araújo *et al* (2006).

4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A simulação computacional foi utilizada para validação de cada conversor. Assim são apresentados os resultados das formas de onda da entrada do conversor isolador e do boost de alto ganho e a saída do inversor.

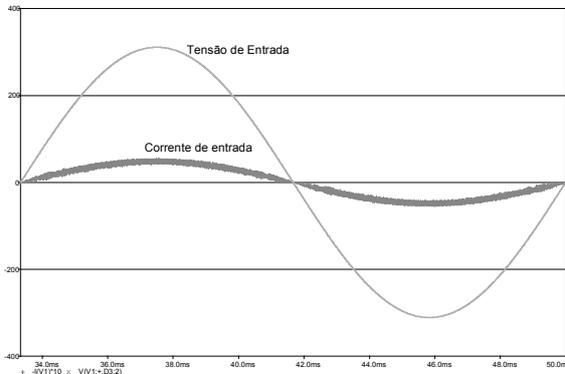


Figura 7 – Forma de onda da tensão e corrente (x10) na entrada do conversor isolador.

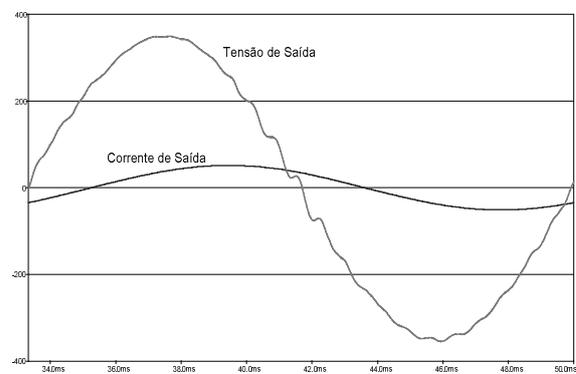


Figura 8 – Forma de onda da tensão e corrente (x10) na saída do inversor.

São apresentadas na figura 7 as formas de onda de tensão e corrente de entradas para o conversor CC/CC isolador, onde se valida a topologia para a correção do fator de potência de entrada, já que a corrente esta em fase com a tensão, para carga nominal. Na figura 8 são mostradas as formas de onda da tensão e corrente na saída do inversor para carga nominal, de 500 Watts e fator de potência de 0,7, para o modo rede de funcionamento.

São mostradas na figura 9 a tensão e corrente na entrada do conversor boost de alto ganho, pode se perceber a ondulação na corrente com o dobro da frequência de chaveamento. Na figura 10 observa se as formas de onda da tensão e corrente que é entregue a carga, na saída do inversor. Para carga nominal.

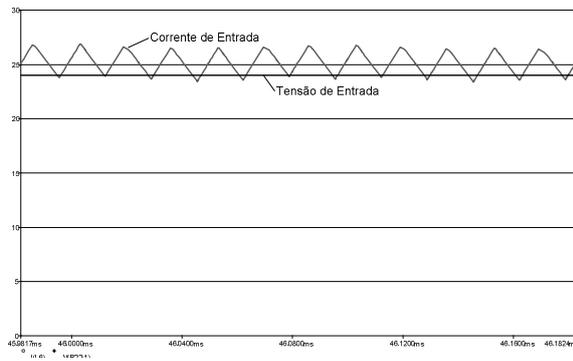


Figura 9 – Forma de onda da tensão e corrente (x10) na entrada do conversor boost de alto ganho.

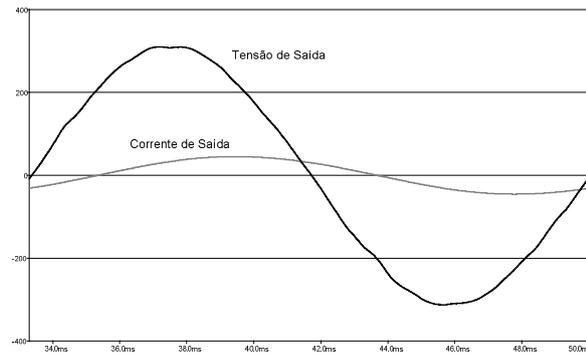


Figura 10 – Forma de onda da tensão e corrente (x10) na saída do inversor.

5. CONCLUSÃO

A avaliação prévia com simulação dos conversores se mostrou satisfatória. Os requisitos como correção do fator de potência de entrada, rendimento, tensão de saída, operações no modo rede e bateria, foram todos contemplados com os conversores escolhidos.

O conversor isolador é capaz de executar tanto o isolamento galvânico como a correção do fator de potência de entrada de forma satisfatória. O inversor utiliza topologia de ponte completa, que apresentou bons resultados com a modulação PWM. O boost de alto ganho é muito eficaz para elevar a tensão do baixo nível das baterias para o grande valor do barramento CC.

REFERÊNCIAS

- Araújo, S. V. Bascopé, R. P. T. and Antunes, F. L. M. 2006. Microcontrolled battery charger for photovoltaic systems using modified boost converter with autotransformer and 3-state commutation cell, PESC'06.
- Bascopé, R. P. T. Bascopé, G. V. T. Oliveira Jr., D. S. Branco, C. G. C. and Araújo, S. V. 2006. A high step-up dc-dc converter based on three-state switching cell, International Symposium on Industrial Electronics.
- Erikson, Robert W. Maksimovic, Dragan. Fundamentals of power electronics 2nd ed.
- Grover V. Torrico Bascopé, and Ivo Barbi 2000. Generation of a Family of Non-Isolated Dc-Dc PWM Converters Using New Three-State Switching Cells, in IEEE Power Electronic Specialists Conference, PESC'00, Vol.2, 18-23 June 2000, pp. 858-863.
- Mohan, T. M. Undeland, W. P. 1995. Power electronics: converters, applications, and design, 2nd ed.
- Philip, c. Todd UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design, Unitrode Application Note.
- Tang, W. Lee, F. C. 1992. Small-Signal Modeling of Average Current-Mode Control. in Proceedings of the IEEE APEC Conf.: Rec.. 1992, pp. 747-755.