



CONVERSOR BOOST COM CÉLULA DE COMUTAÇÃO SUAVE ADEQUADO PARA SISTEMAS ININTERRUPTOS DE SUPRIMENTO DE ENERGIA “ON-LINE”

Renato S. Maciel¹ e Luiz C. G. Freitas²

Resumo

Este projeto apresenta o desenvolvimento de um Conversor Boost utilizando uma célula de comutação não dissipativa para aplicação como conversor pré-regulador com correção do fator de potência utilizados em sistemas ininterruptos de suprimento de energia *on-line*. A estratégia de controle é implementada a partir do circuito integrado UC-3854 e basea-se no método de controle por corrente média para impor corrente senoidal na rede CA de alimentação e obter fator de potência unitário. Neste projeto é descrito detalhadamente o princípio de funcionamento do conversor Boost proposto assim como resultados obtidos por simulações computacionais utilizando o software *PSIM*[®] e resultados experimentais a obtidos através da implementação em bancada de um protótipo de 1 kW.

Palavras chaves: Correção do Fator de Potência, Sistemas Ininterruptos de Suprimento de Energia, No-break, Célula de Comutação Suave, Boost CFP.

BOOST CONVERTER WITH A PASSIVE RESSONANT CELL FOR “ON-LINE” UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY APPLICATION

Abstract

This project presents the development of a front-end Boost converter using a passive resonant soft-commutation cell for on-line uninterruptible power supply applications. The control strategy is implemented using IC UC-3854 and is based on the average current control method for sinusoidal input line current imposition assuring, therefore, high input power factor. This project presents detailed operation principles description as well as simulations results obtained using *PSIM*[®] software and experimental results of a 1kW laboratory prototype.

Keywords: Power Factor Correction, UPS, No-break, Passive resonant cell, Boost PFC.

- 1 Estudante do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica com ênfase em sistemas de energia elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, bolsista PIBIC do CNPq. renato_smaciel@hotmail.com
- 2 Professor da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia. icgfreitas@yahoo.com.br

Introdução

Devido à notável evolução tecnológica observada nos últimos anos, vários processos produtivos passaram a depender totalmente do uso de aparelhos eletrônicos [1], tornando inadmissível a ocorrência de interrupções no suprimento de energia nos mais diversos setores, dentre os quais pode-se citar: sistemas de telecomunicações, aparelhos em emergências de hospitais, sistemas de controle de voo, etc. Nesse sentido, várias empresas investem em pesquisas para impedir que não haja interrupções no abastecimento de energia de seus sistemas. Os equipamentos produzidos para este fim foram denominados Sistemas Ininterruptos de Suprimento de Energia ou, em inglês, *Uninterruptible Power Supply (UPS)*. Estes sistemas podem ser divididos em três categorias, são elas: “Off-line”, “On-line” e “Line-interactive”. Diante do exposto, o conversor Boost proposto neste artigo dedica-se à aplicação em sistemas ininterruptos de suprimento de energia “on-line” cuja configuração básica é apresentada no diagrama de blocos simplificado da Figura 1. Observa-se que no sistema “on-line” o inversor (estágio 3) está sempre fornecendo energia à carga. Havendo o suprimento de energia por parte da rede CA de alimentação, o carregador de baterias (estágio 2) fornece energia à carga, através do inversor, e às baterias que, uma vez carregadas, permanecem em flutuação até a ocorrência de uma interrupção no suprimento de energia da rede CA. Durante a falta, as baterias fornecem energia ao estágio inversor e, conseqüentemente, à carga.

Ao contrário das UPS “off-line”, nas UPS “on-line” toda energia entregue à carga é processada integralmente pelo inversor, independentemente de haver ou não interrupção no fornecimento de energia proveniente da concessionária, o que diminui sua eficiência operacional, porém, melhora a qualidade da tensão fornecida à carga. Além disso, não é necessário que haja sincronismo com a tensão fornecida pela concessionária de energia, sendo que, caso haja falha no abastecimento de energia proveniente da rede, as baterias passam a fornecer energia para o inversor e a carga instantaneamente, uma vez que as mesmas estão sempre conectadas ao estágio de entrada do inversor.

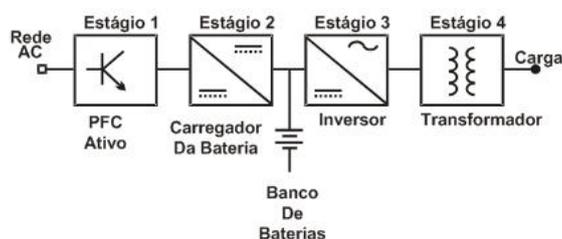


Fig. 1. Configuração UPS “on-line”

Objetivos

No contexto apresentado anteriormente, pode-se dizer que é um grande desafio desenvolver um projeto com reduzido peso, volume, tamanho, viável economicamente e capaz de suprir energia à carga operando



com alto fator de potência (FP) e baixa distorção harmônica de corrente de entrada (DHT_1), respeitando os limites impostos pela norma internacional IEC61000-3-2 [2] e a redução do número de estágios que compõe o sistema UPS. Portanto, o artigo proposto tem como principal objetivo desenvolver um conversor pré-regulador capaz de operar com elevado FP e reduzida DHT_1 e, ao mesmo tempo, operar como carregador de baterias, eliminando o estágio 2 ilustrado anteriormente na Figura 1.

Em [3] é proposto um sistema UPS “on-line” onde é possível a obtenção de elevado FP e baixa DHT_1 de entrada, porém, na estrutura topológica apresentada, é utilizado um conversor CC-CC para carregar o banco de baterias e o conversor pré-regulador opera com comutação dissipativa, contribuindo para redução da eficiência global da estrutura.

Com vistas a aperfeiçoar o sistema apresentado em [3], o conversor Boost proposto neste trabalho faz uso de uma célula de comutação não dissipativa denominada *SR-ZCS-ZVS-PWM - Self-Resonant Zero Current and Zero Voltage Switching Pulse Width Modulated Cell* [4], sendo que para o controle desta chave, é utilizado o circuito integrado(CI) UC-3854 da UNITRODE [5].

Metodologia

Para atingir os objetivos o projeto proposto foi dividido nas seguintes etapas

- **1ª Etapa** – Pesquisa e estudo sobre o que há de mais recente sobre o tema em questão, buscando consolidar ainda mais as vantagens da estrutura proposta e sobre utilização de células de comutação não dissipativa em conversores CC-CC;
- **2ª Etapa** – Projeto dos circuitos de controle utilizando o CI UC-3854 com os métodos apresentados em [6-10];
- **3ª Etapa** – Simulações computacionais com o auxílio de *softwares* e ferramentas existentes no Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP) da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT);
- **4ª Etapa** – Montagem do protótipo, testes e realização das adaptações necessárias.

Resultados e Discussões

O conversor Boost proposto é usado como pré-regulador e possui uma célula de comutação não dissipativa, que garante a comutação das chaves principal S1 (comandada para fechar e abrir sob tensão nula) e a auxiliar S2 (comandada para fechar com corrente nula e abrir com tensão e corrente nula), um diodo de potência que conecta o banco de baterias ao sistema somente quando a tensão de entrada é menor que a tensão das baterias ou quando a rede CA está ausente, e possui um bloco de controle constituído pelo CI UC-3854 responsável pelo controle da tensão de saída e pela imposição de corrente senoidal na rede.

Na Figura 2 observa-se que a célula de comutação suave é composta pelas chaves S1 e S2, os diodos D2 e D1, os componentes ressonantes L_r e C_r e o banco de baterias V_B . Assim pode-se destacar as seguintes vantagens em relação aos métodos convencionais de sistemas UPS “on-line”:

- Não é necessário uso de um carregador de baterias externo ao circuito, uma vez que a energia do capacitor ressonante (C_r) é transmitida para as baterias a cada ciclo de comutação;
- O uso da célula de comutação não dissipativa melhora a eficiência operacional e diminui as interferências eletromagnéticas;

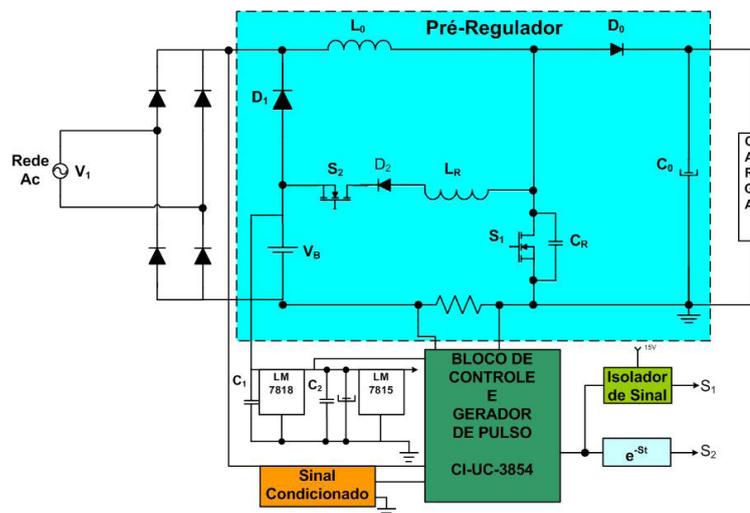


Fig. 2. Arranjo topológico do conversor Boost proposto.

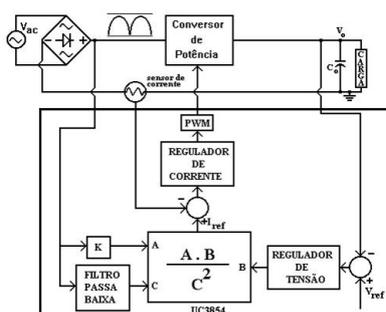
A técnica de controle utilizada se baseia na imposição de uma corrente senoidal na entrada, garantindo fator de potência unitário, a partir da técnica da corrente média [11-13]. Este tipo de controle garante alto fator de potência, operação com frequência constante e operação em modo contínuo de condução, reduzindo os esforços de corrente no interruptor principal. No caso do conversor Boost proposto este método é obtido pelo uso do circuito integrado UC-3854.

Na figura 3 é apresentada a configuração básica de funcionamento do CI UC-3854, que pode ser dividido em três importantes entradas:

Entrada A (laço de realimentação de corrente): A partir do sinal obtido da tensão retirada do circuito, é possível definir a forma e frequência do sinal de referência do circuito multiplicador e divisor.

Entrada B (laço de regulador de tensão): Esta entrada é responsável por regular a tensão de saída, comparando a tensão de saída com o sinal de referência.

Entrada C (laço de realimentação da tensão de entrada): O sinal retificado pela ponte de diodo passa por um filtro passa baixa gerando para o circuito multiplicador e divisor um sinal CC proporcional ao valor eficaz da tensão de entrada, isto possibilita o ajuste da amplitude da corrente de referência a partir da tensão de entrada. Se houver aumento da potência de saída ou se a tensão da rede diminuir, como a tensão de saída é praticamente constante, a amplitude da corrente de referência aumentará fornecendo mais corrente para a tensão de saída se manter regulada.



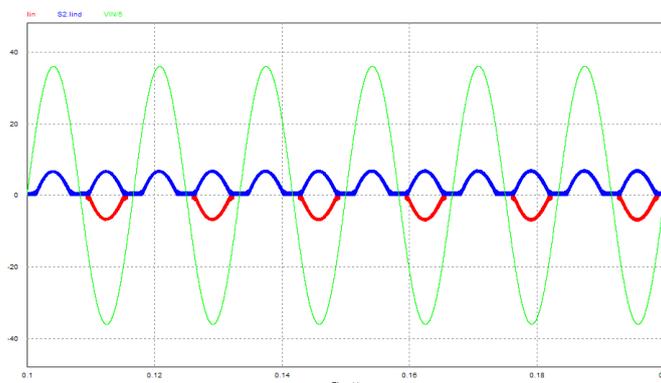


Fig. 6. No primeiro gráfico : corrente de entrada(vermelho), corrente indutor conversor Bosst (azul), tensão de entrada dividida por 5(verde).

Na figura 7 é demonstrada a distorção harmônica da corrente de entrada em porcentagem com relação a corrente de entrada nominal de 7,45A, verificando que o conversor Boost proposto está em conformidade com a norma internacional IEC61000-3-2.

Fig. 7. Componentes harmônica da corrente de linha de entrada.

Na figura 8 verificam-se as tensões de entrada e saída verificando a principal função do conversor Boost, que é a regulação da tensão de saída, possuindo uma saída próxima de um nível de tensão contínuo puro e sempre maior que o valor máximo da tensão de entrada.

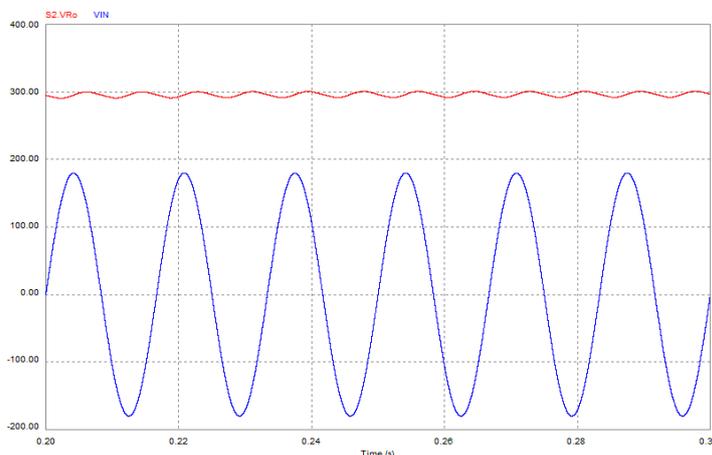


Fig. 8 . Tensão de entrada (azul) ,tensão na carga (vermelho).

Na figura 9 é verificada a tensão dividida por 30 e corrente da chave principal S1 sendo que a partir do resultado podemos verificar que somente há corrente na chave quando a tensão esta com valor nulo, verificando a comutação não dissipativa.

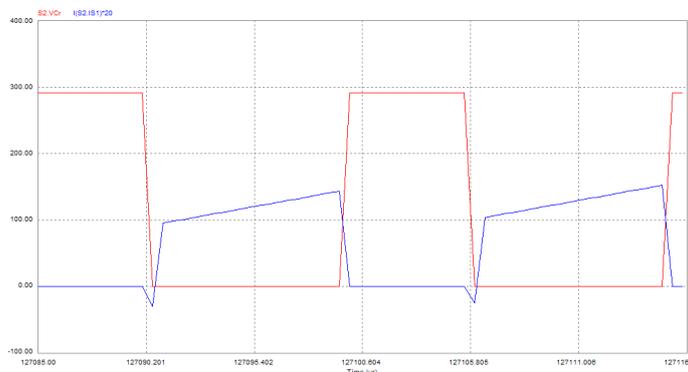


Fig. 9. Tensão na chave principal S1 (vermelho) e corrente da chave principal S1 vezes 20(azul).

Na figura 10 é verificada a tensão dividida por 30 e corrente da chave auxiliar S2, sendo que a partir dos resultados é possível verificar que a bateria está recebendo carga assim sendo carregada e que esta ocorrendo a comutação não dissipativa.

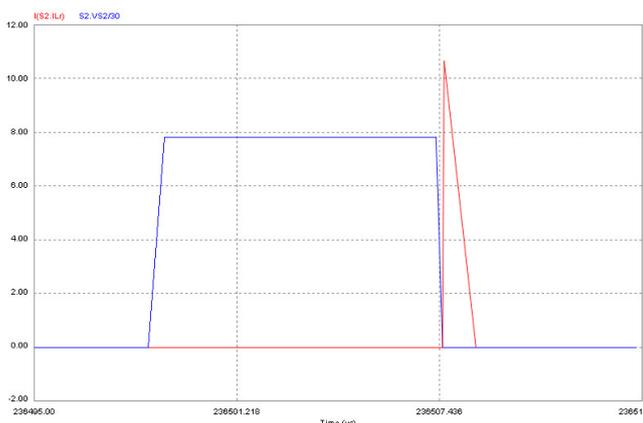


Fig. 10. Tensão na chave auxiliar S2 dividido por 30(azul) e corrente da chave auxiliar S2(vermelho).

Na Figura 11 são observados os resultados do ensaio de degrau positivo de 50% de carga, sendo que no instante $t=400(\text{ms})$ é retirada a carga superior, assim é possível verificar a relação tensão e corrente de saída, mostrando que a tensão praticamente não varia com a carga sendo que esta variação é vista no valor da corrente.

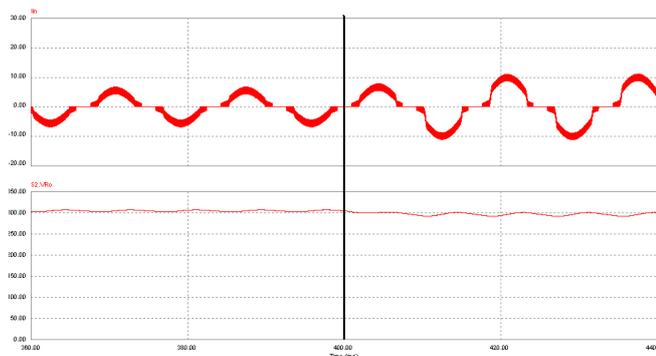


Fig 11. No primeiro gráfico: corrente de entrada(vermelho).No segundo gráfico:tensão na carga(vermelho).

Após a realização de detalhadas simulações computacionais utilizando o software PSIM®, o circuito de controle para o protótipo do Sistema UPS proposto foi construído e analisado em laboratório.

Na Figura 12 é apresentado a corrente de entrada e junto com a tensão de entrada. Neste gráfico é possível verificar que as correntes e a tensão estão quase em fase verificando assim que o fator de potência é praticamente unitário.

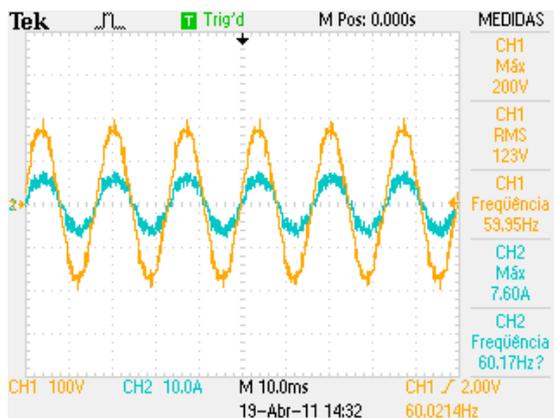


Fig. 12. Corrente de entrada(Verde),tensão de entrada(Laranja).

Na Figura 13 é possível verificar a tensão de saída na carga em comparação com a tensão de entrada, verificando o funcionamento correto do conversor Boost.

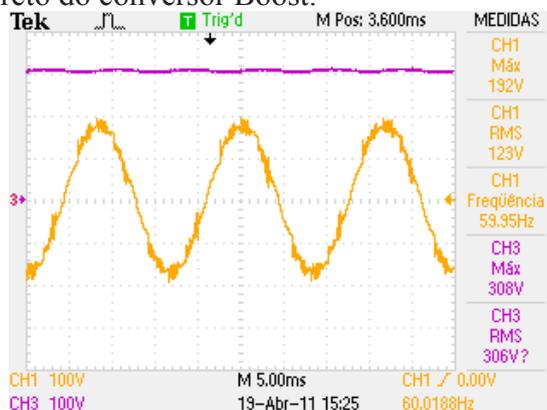


Fig. 13. Tensão de entrada (laranja) ,tensão na carga (roxo).

Na Figura 14 é observada a tensão e a corrente na chave principal S1.



Fig. 14. Tensão na chave principal S1 (Laranja) e corrente da chave principal S1(verde).
Na Figura 15 é observada a tensão e a corrente na chave auxiliar S2.



Fig. 15. Tensão na chave auxiliar S2 (Laranja) e corrente da chave auxiliar S2(Verde).

Conclusão

Este projeto apresenta o desenvolvimento e análise de uma nova estrutura topológica de conversor Boost utilizando uma célula de comutação não dissipativa, adequado para aplicação como estágio pré-regulador de sistemas ininterruptos de energia “on-line” para obtenção de elevado fator de potência e reduzida distorção harmônica de corrente.

O controle proposto utiliza a técnica de controle por corrente média para impor uma corrente senoidal na entrada, a partir de uma corrente de referência gerada pelo CI UC-3854, isto faz com que seja garantido o fator de potência unitário e também a regulação da tensão de saída.

O conversor proposto tem as mesmas características operacionais que conversores PWM convencionais, porém possui vantagens tais como, reduzidas tamanho e peso, maior rendimento global, eficiência operacional com pequeno conteúdo harmônico na corrente e inexistência de um carregador de bateria externo.



Referências

- [1].Oliveira, Aloísio de, Oliveira; José C., Vilaça; Anderson L.A.; Filho, Anésio L.F. “Uma Contribuição para a Quantificação e Qualificação da Distorção Harmônica” – COBEP 97, pp. 665-670.
- [2]. IEC 61000-3-2: Electromagnetic Compability (EMC) – Part 3: Limits – Section 2: Limits for Harmonic Current Emission (Equipment input current ≤ 16 A per phase). International Electrotechnical Commission, First edition, 1995-03.
- [3].Wen-Jung Ho; Mu-Shen Lin; Wu-Shiung Feng; “A New Single-Phase On-Line UPS Structure Pre- Staged With PFC-and-Boost Converter”, in Proc. Of International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 1997, pp.133 – 138.
- [4].Costa, A.V.; Treviso, C.H.G.; de Freitas, L.C.;”A new ZCS-ZVS-PWM boost Converter with unity power factor operation”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1994. APEC '94. Conference Proceedings 1994, Ninth Annual , 13-17 Feb. 1994, Pages:404 - 410 vol.1.
- [5].UNITRODE - Application Notes, Design Notes.
- [6].Texas Instruments, “UC3854 Advanced High-Power Factor Pre-regulator”, SLUS 329A-June 1998-Revised AUGUST 2003, pp 1-11.
- [7].C. S. Silva, “Power Factor Correction with the UC3854”, Unitrode Application Note.
- [8].MELO, L. F. P. de, “Análise e Projeto de Fontes Chaveadas”. São Paulo-SP: 1ª, Edição, Editora Érica Ltda, 1996.
- [9].Silva, S. A. O.; “Retificadores Monofásicos Com Fator de Potência Unitário e Corrente de Entrada Senoidal Utilizando Conversores Quase-Ressonantes Chaveados Sob Corrente Nula”. Dissertação de Mestrado - Florianópolis- SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 1989.
- [10]. HARRIS SEMICONDUCTOR; POWER MOSFETS; MELBURNE: Harris Corporations, 1992.
- [11]. Barbi, I.; Bolacell, J.C.; Martins, D.C. and Libano, F.B. – “Buck Quasi-Resonant Converter Operating at Constant Frequency: Analysis, Design and Experimentation” – IEEE Power Electronics Specialists Conference – 1989 Record, pp 873-881.
- [12]. Lee, F.C. – “High-Frequency Quasi-Resonant Converter Technologies” –Proceedings of the IEEE, Vol. 76, n ° 4, April 1988.
- [13]. Treviso, C. H, G.; “Conversor Sepic Auto-Ressonante ZVS-ZCS-PWM Isolado com Fator de Potência Unitário”; Dissertação de Mestrado, UFU, 1994.