

NO-BREAK PARA APLICAÇÕES RESIDENCIAIS, COMERCIAIS E INDUSTRIAIS DE 5kW COM INTERFACE PARA PAINEL SOLAR

Carlos H. G. Treviso, Aziz E. Demian Jr., André L. B. Ferreira

Universidade Estadual de Londrina - UEL

CEP 86055-900, C.P. 6001, Londrina - PR

Brasil

e-mail: treviso@uel.br, aziz@uel.br, albf.eletrica@gmail.com

Resumo – Este artigo traz um projeto completo de um *No-Break* de 5kW de saída, para aplicações residenciais, comerciais e industriais, sendo uma importante contribuição para o meio acadêmico e comercial. Permite ainda a utilização de painéis solares, podendo tornar a carga em questão menos dependente da rede elétrica, além da utilização da energia limpa. Para tanto foi implementado um protótipo em campo, com banco de baterias de 48V (24 baterias de 12V/7,2A), com estimativa de autonomia de 25 minutos para carga máxima.

Palavras-Chave – Conversor, Full-Bridge, Inversor, No-Break, painel solar, PWM.

RESIDENTIAL, COMMERCIAL AND INDUSTRIAL APPLICATIONS FOR A 5kW UPS UNIT WITH INTERFACE FOR SOLAR PANNEL COUPLING

Abstract – This article presents the complete project for a 5kW UPS unit devised, for residential, commercial and industrial applications that is an important contributing for the academic and commercial environment. It allows the use of solar panels, that can make the load less dependent on electric system and the use of clean energy. For this was implemented a prototype in field, with batteries bank of 48V (batteries of 12V/7,2A), with 25 minute estimate autonomy for maximum load.

Keywords – Converter, Full-Bridge, Inverter, UPS, solar panel, PWM.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente o consumo de energia elétrica mundial vem aumentando de forma progressiva. A maior parte desta energia é proveniente da queima de combustíveis fósseis. Como não são fontes renováveis, o uso de energia torna-se cada vez mais racional, assim como promove a busca por novos meios de geração energética [1,2].

Além disso, em nosso país, o atendimento de energia elétrica em determinadas regiões é escasso. Segundo o Censo de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [3], quase dois milhões de domicílios rurais não eram

atendidos por energia elétrica, o que implica que, de forma aproximada, dez milhões de brasileiros que viviam no meio rural não tinham acesso a esse serviço público, o que sem dúvida agrava os problemas de desigualdade no Brasil.

Acrescido a essa escassez e quando há o fornecimento de energia, tem-se ainda o problema da descontinuidade do fornecimento de energia elétrica pelas concessionárias de energia, acarretando prejuízos algumas vezes irreparáveis.

Em vista dessas considerações, a elaboração de um equipamento que consiga resolver os problemas expostos acima é de grande utilidade.

Neste sentido, este artigo traz um No-Break, implementado em bancada e construído um protótipo, no qual se pode acoplar a um sistema fotovoltaico, tornando-o um gerador de energia. Como o interesse é atender tanto academicamente, quanto comercialmente do ponto de vista residencial e industrial, concluiu-se que a potência de 5000W de saída (carga) para o No-Break seria razoável. Para tal potência, foram utilizados 24 baterias seladas de 12V/7,2A, dispostas em série e paralelo formando um barramento de 48V [4,7]. Esse banco de baterias com 100% de carga tem uma projeção de autonomia de 25 minutos para a potência máxima.

O equipamento, classificado segundo a norma brasileira NBR 15014/2003 (que define a nomenclatura das topologias de UPS no Brasil) como Standby, funciona por histerese, ou seja, através de dois níveis de carga do banco de baterias, onde será utilizada a energia proveniente da rede ou do banco de baterias, conforme a condição do funcionamento. Por exemplo, se um painel solar estiver acoplado, a energia provida será a do banco de baterias, enquanto sua carga armazenada estiver dentro da faixa que varia de 100% a 70%. Ao atingir 70%, a energia provida será da concessionária, mantendo assim um limite mínimo de 70% de carga nas baterias do No-Break para uma eventual descontinuidade no fornecimento de energia elétrica da concessionária.

No intervalo de recarga do No-Break, o painel solar fornece energia para o banco de baterias. Quanto maior o número de painéis solares, menor será a necessidade do uso da energia da rede elétrica, pois menor será o tempo para recarregar as baterias.

Para ilustrar o conceito do equipamento, a Figura 1 traz o esquema do No-Break em forma de diagrama de blocos, enquanto que o esquema elétrico completo está nos Apêndices 1 e 2.

Artigo submetido em 13/03/2009. Revisões em 26/04/2009 e 14/06/2009. Aceito por recomendação do editor Fernando L. M. Antunes.

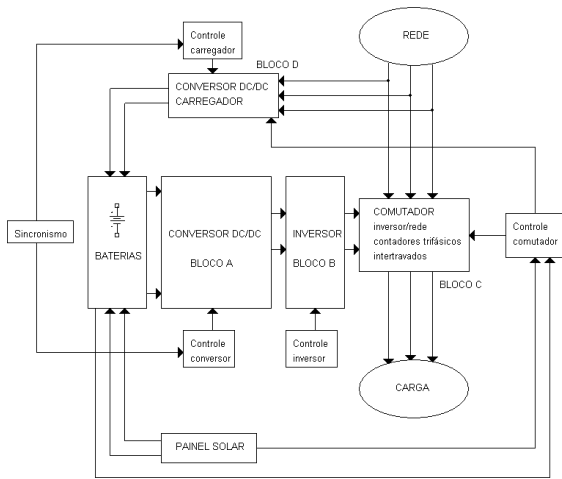


Fig. 1. Diagrama de blocos representando o circuito do No-Break.

II. CIRCUITOS DO NO-BREAK

De forma a facilitar a compreensão do circuito como um todo, o No-Break foi dividido em blocos, conforme mostrado na Figura 1, sendo apresentado neste item o circuito simplificado e o funcionamento de cada bloco.

A. Conversor DC/DC (bloco A)

A topologia escolhida para realizar a conversão DC/DC foi a Full-Bridge, por ser ideal quanto se trata de uma potência alta de saída (maior que 1000W), já que os transistores ficam sujeitos a corrente e tensão mais baixos quando comparados com outros modelos de conversores. Outra vantagem desta topologia é o fato de a curva B-H ser percorrida em dois quadrantes [5]. O esquema básico encontra-se na Figura 2, enquanto que o esquema completo está no Apêndice 1.

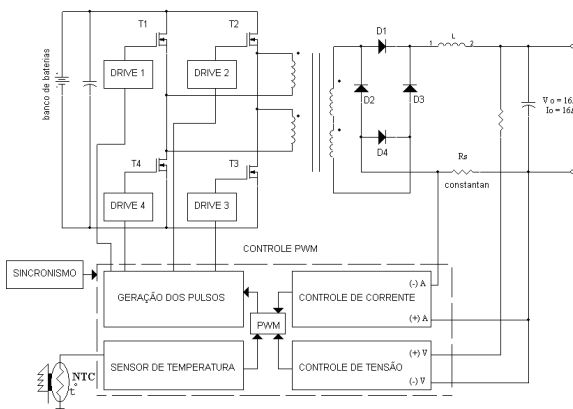


Fig. 2. Esquema simplificado de um dos conversores.

A operação do conversor ocorre com o acionamento dos transistores aos pares: com a condução dos transistores 1 e 3, a tensão de entrada é aplicada ao não-ponto do primário, e D2 e D3 conduzem; com a condução de 2 e 4, a tensão de entrada é agora aplicada ao ponto do primário e D1 e D4 conduzem. Durante o tempo morto, para o caso de a razão cíclica (D) ser menor que 0,5, nenhum transistor conduzirá. Como não haverá transferência de energia para o secundário, todos os diodos conduzirão ao mesmo tempo [6].

Como a potência de saída requerida para o No-Break é elevada, de 5000W, seria necessário um transformador muito grande para suportar a demanda de corrente; por conseguinte, optou-se por utilizar dois conversores Full-Bridge com os secundários em paralelo para obter um barramento de 165V, cada um com dois transformadores em paralelo. Suas potências individuais são de 2640W, ajustados em 165V e 16A. Juntos, totalizam 5280W.

Esta potência servirá de entrada para o inversor, que terá como saída 115Vac. Para uma saída de 220Vac no inversor, basta colocar os secundários dos dois conversores em série.

A Figura 3 mostra de forma resumida os esquemas para obter 115/220Vac.

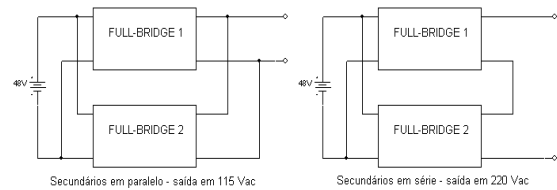


Fig. 3. Diagrama de blocos representando as possibilidades de conexão para o secundário do conversor.

As especificações de projeto para cada um dos conversores constam na Tabela I.

TABELA I

Especificações para cada Conversor Full-Bridge

Tensão máxima de entrada	56V
Tensão mínima de entrada	32V
Tensão de saída	165V
Frequência de operação	50kHz
Corrente de saída	16A
Corrente de saída mínima	2A
Razão cíclica máxima	0,45
Potência de saída	2640W

Com dois conversores de controles funcionando independentemente, tornou-se necessário o uso de um sincronismo entre os pulsos de controle dos conversores, para manter os ruídos provenientes do chaveamento, em uma faixa de frequência fixa. Dessa forma, evitam-se problemas com interferência e aparecimento de harmônicas indesejadas [8,9], facilitando-se, assim, a filtragem.

A frequência de operação do circuito sincronizador é de 100kHz, pois cada controle dos conversores trabalha com 50kHz.

O circuito de controle para a topologia empregada (Figura 2) é formada por quatro drives, um para cada transistor. Os pulsos de controle estão na forma de Modulação por Largura de Pulso (PWM) e gerados através do CI SG 3525, em malha fechada, com realimentação de tensão e corrente que, amostrados ao CI, tornam-se possíveis o controle da corrente e da tensão de saída.

O controle ainda dispõe de proteção contra sobre-temperatura, com acionamento de *collers* e permitindo o desligamento dos pulsos caso a temperatura exceda o valor pré-ajustado.

O circuito completo do controle está no Apêndice 2, enquanto que a Figura 4 mostra a fotografia do bloco A implementado.

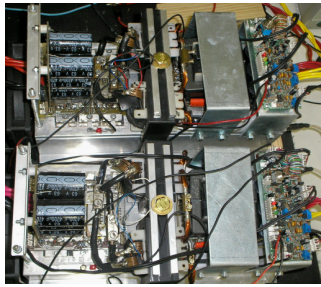


Fig. 4. Fotografia dos conversores Full-Bridge do bloco A.

B. Inversor DC/AC (bloco B)

Para obter a conversão de um sinal DC para um sinal AC, foi utilizado um inversor de fonte de tensão (VSI) monofásico com a topologia ponte-completa [10, 14]. A forma de onda de saída é quase-quadrada, também conhecida comercialmente como pseudo-senoidal (sendo escolhida por apresentar um melhor custo-benefício para o projeto) e ajustada em 115V_{RMS} e 60Hz, com modulação PWM [11], tendo como entrada os dois conversores Full-Bridge com seus secundários em paralelo.

O funcionamento do inversor é baseado em pulsos PWM enviados aos transistores. Inicialmente, os transistores 1 e 3 conduzem, fornecendo à saída tensão positiva; no momento seguinte, somente 3 conduz fornecendo caminho para correntes indutivas via diodo intrínseco do transistor 4.

De forma análoga, para o ciclo negativo, os transistores 2 e 4 conduzem, e, na próxima etapa somente 4 conduz e a corrente indutiva flui através do diodo do transistor 3.

O circuito do inversor implementado consta na Figura 5, sendo que suas especificações constam na Tabela II.

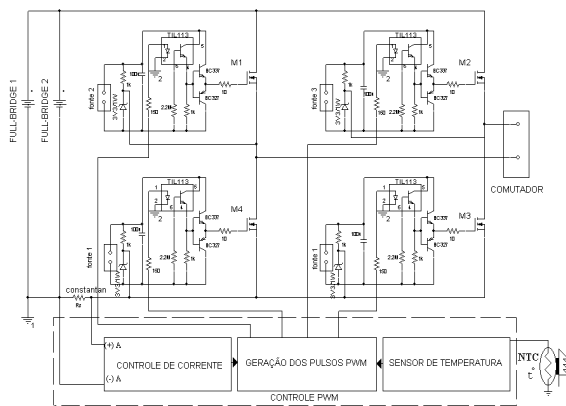


Fig. 5. Esquema simplificado do inversor de tensão.

TABELA II	
Especificações para o Inversor	
Tensão de entrada	165Vdc
Corrente de entrada	32A
Tensão de saída	115Vac
Frequência de saída	60Hz
Corrente de saída	43A
Razão cíclica de saída	0,5
Potência de entrada	5280W
Potência de saída	5000W

Quando existe a comutação para o inversor, todas as fases da carga conectada ao No-Break estarão sob a tensão fase do inversor e neutro, ou seja, serão curto-circuitadas, tornando a

saída para a carga somente monofásica. Este esquema consta no Apêndice 1.

O circuito de controle do inversor, além de gerar os pulsos para os transistores, é capaz de limitar a corrente na saída. Fazendo uso de uma lógica com circuito integrador [12], obtendo um sinal DC proporcional ao AC, diminuindo a largura dos pulsos dos transistores 1 e 2. O valor RMS da tensão de saída reduz gradativamente, conforme a corrente aproxima-se do valor estipulado como limite. Se a carga necessitar de menos corrente, o valor RMS da tensão volta a aumentar gradativamente.

O controle também possui proteção contra sobre-temperatura, cortando os pulsos e desligando o inversor, *soft-start*, e opção para desligar os pulsos através de um pulso de tensão externo, caso haja algum problema proveniente de outro bloco.

A fotografia do inversor montado está na Figura 6 enquanto que seu circuito completo está no Apêndice 1 e de seu controle, no Apêndice 2.

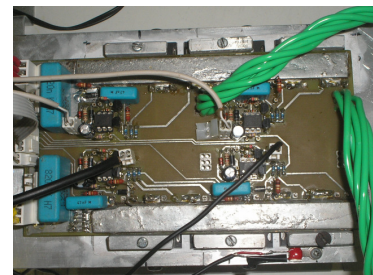


Fig. 6. Fotografia do inversor.

C. Comutador (bloco C)

O bloco do comutador realiza a transferência de função de fornecimento energético da rede elétrica para o No-Break na ocasião de falta de energia, e vice-versa, quando houver a normalização da rede elétrica [13]. Essa função é realizada através de contatores trifásicos inter-travados capazes de suportar uma corrente de até 50A. Para tanto, o circuito de controle do comutador é capaz de detectar a falta de uma ou mais fases e realizar a comutação.

Com o painel solar conectado ao controle do comutador, é desativado o circuito carregador, sendo utilizada a energia proveniente do sistema fotovoltaico para recarregar o banco de baterias durante o dia. No momento em que o controle detecta que a energia das baterias está abaixo de 70% e se a rede está em condições normais, é novamente acionada a comutação com os contatores para a rede.

Se a rede elétrica não é restabelecida no intervalo de descarga das baterias, o No-Break continua fornecendo energia até o limite mínimo de carga do banco, que ao ser atingido, desliga o equipamento.

Durante a noite, o sistema é habilitado somente como No-Break, mesmo com o painel solar acoplado, o que implica que não haverá operação dos dois níveis de carga da bateria.

Portanto, quanto maior a potência de conversão dos painéis solares e maior a capacidade de armazenamento do banco de baterias, menos dependente torna-se o sistema da energia proveniente da rede elétrica.

O circuito dos comutadores está no Apêndice 1 e seu controle, no Apêndice 2.

D. Carregador AC/DC (bloco D)

A função do carregador é, como já sugere o nome, recarregar o banco de baterias do No-Break, porém, somente na ausência do painel solar e durante a noite, utilizando energia da rede, enquanto a carga está sendo alimentada normalmente com a rede elétrica.

A topologia empregada foi novamente do Full-Bridge, agora projetado com um retificador em ponte completa na entrada.

A Figura 7 mostra o seu circuito básico.

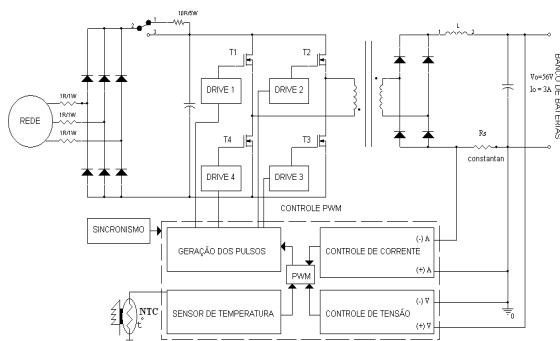


Fig. 7. Esquema do carregador das baterias.

As especificações para o carregador constam na Tabela III.

TABELA III	
Especificações para o carregador	
Tensão máxima de entrada	350V
Tensão mínima de entrada	260V
Tensão de saída	56V
Frequência de operação	50kHz
Corrente de saída	3A
Corrente de saída mínima	0,3A
Razão cíclica máxima	0,45

O controle do carregador é idêntico ao do bloco A, diferindo apenas em algumas resistências em função do nível de corrente e tensão de saída, sendo também conectado ao bloco de sincronismo para evitar problemas com ruídos.

A Figura 8 mostra a fotografia do carregador juntamente com seu controle implementados para o bloco D.

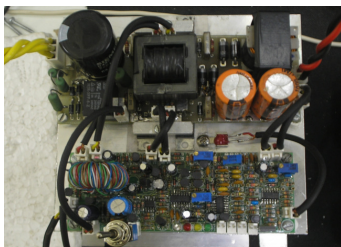


Fig. 8. Fotografia do carregador e de seu controle.

III. RESULTADOS

A. Resultados de simulação para o inversor

Na obtenção dos resultados com simulação computacional, foi empregado o software ORCAD® 10.0,

adotando-se os seguintes parâmetros: Tensão de entrada do inversor: 165V e frequência de operação do inversor: 60Hz.

Nas simulações, foram utilizadas cargas resistivas, cargas indutivas e transistores IGBT IRGPC50S para o chaveamento do inversor.

As Figuras 9 e 10, tratam, respectivamente, de carga puramente resistiva (8Ω) e carga RL (10Ω em série com 150mH).

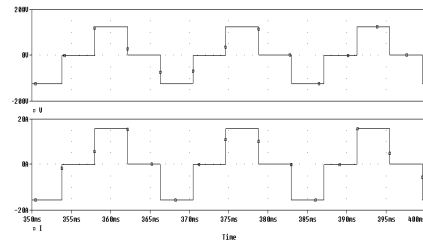


Fig. 9. Saída do inversor para carga resistiva, onde a forma de onda superior representa a tensão e a inferior, a corrente.

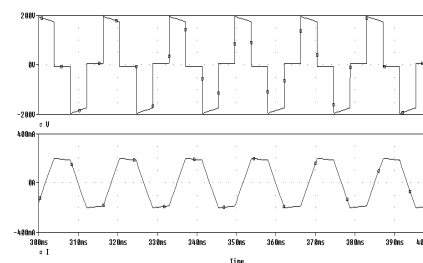


Fig. 10. Saída do inversor para carga RL, onde a forma de onda superior representa a tensão e a inferior, a corrente.

B. Resultados experimentais

Para a realização dos testes do No-Break, foram empregados alicate amperímetro e voltímetro TRUE RMS, além de um osciloscópio. Foram realizados testes com cargas resistivas e indutivas, visando aproximar o experimento a situações reais de uso.

As cargas utilizadas foram: Computador de mesa, reostatos de 1kΩ/1kW, reostatos de 50Ω/1kW, furadeira de bancada de 245W, moto-esmeril de 367W, um motor de 180W e uma carga não linear formada por uma ponte retificadora, capacitores e resistores.

Os valores de entrada e de saída do inversor, coletados com instrumentos TRUE RMS, e o rendimento para as cargas supracitadas, estão na Tabela IV.

Para todos os resultados, na entrada do inversor estavam conectados os dois conversores Full-Bridge com secundários em paralelo.

TABELA IV

Resultados obtidos para o inversor			
Carga	Entrada	Saída	Rendimento
Carga resistiva equivalente a 2,6Ω	V=165 V I=31 A	V=115,3 V I=43 A	0,97
Carga não linear (ponte retificadora)	V=165 V I=32 A	V=115 V I=42,37 A	0,923
Computador em paralelo com motor	V=165 V I=1,95 A	V=113,5 V I=2,7 A	0,95
Furadeira em paralelo com moto-esmeril	V=165 V I=5 A	V=115 V I=6,9 A	0,96

Com o auxílio do osciloscópio, foram coletados as formas de onda para a tensão e para a corrente para cargas lineares e não lineares.

As Figuras 11 e 12 mostram os resultados obtidos para a saída do No-Break, enquanto que a Figura 13 retrata a tensão de link DC no banco de capacitores em carga plena.

As Figuras 14 e 15 indicam os momentos de comutação entre a rede e o No-Break em plena potência para carga linear e não linear, respectivamente. Nas Figuras 11 e 12 a forma de onda da tensão é representada pela onda maior, e a de corrente, pela menor.

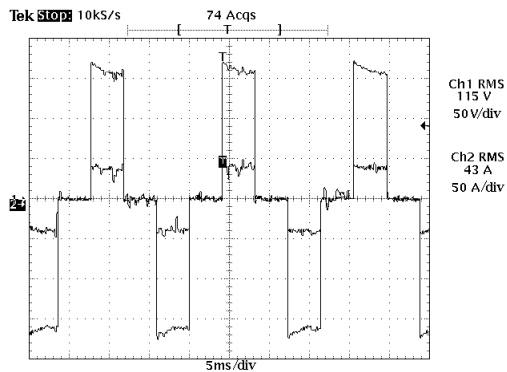


Fig. 11. Formas de onda para carga puramente resistiva em potência plena (conjunto de 12 reostatos de 1kW cada em paralelo formando um equivalente de $2,6\Omega$).

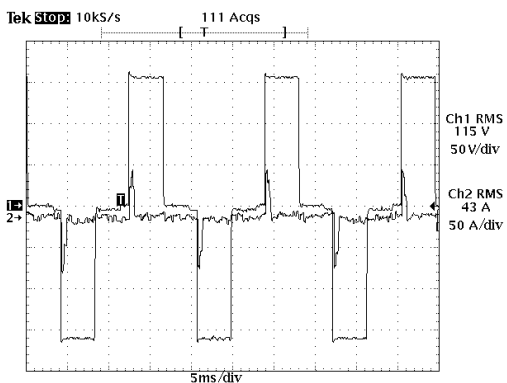


Fig. 12. Formas de onda para carga não linear formada por diodos, capacitores e resistores em potência plena.

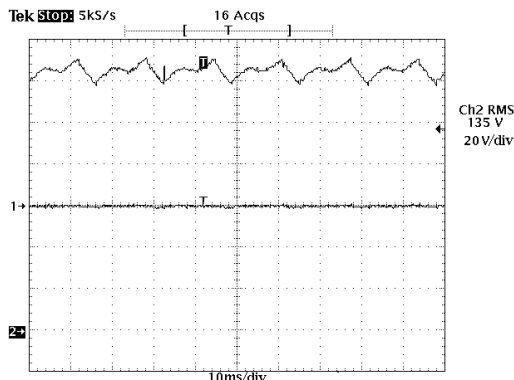


Fig. 13. Tensão do link DC do No-Break em carga plena (canal 2).

Nas Figuras 11 e 12, foi desenvolvida potência plena na saída do No-Break, sendo que a Figura 11 mostra as formas

de onda de tensão e corrente para carga linear e a Figura 12, para carga não linear.

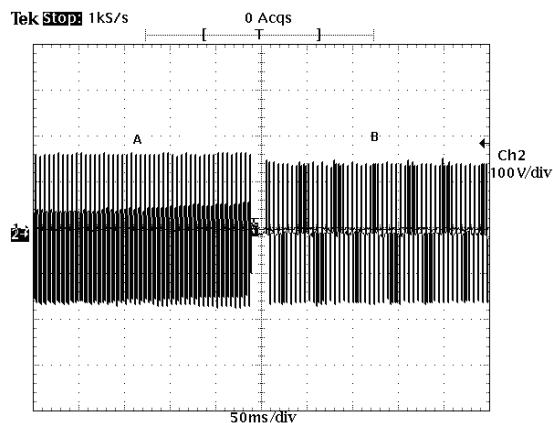


Fig. 14. Momento da comutação rede – No-Break com carga linear em plena potência, onde a onda A é a saída da rede e a onda B, a saída do inversor.

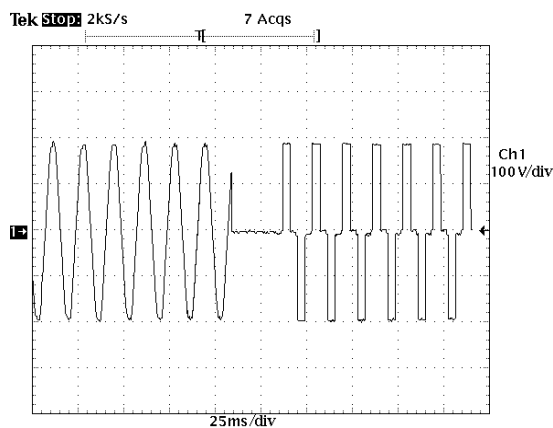


Fig. 15. Momento da comutação rede – No-Break, para carga não linear em plena potência.

A Figura 14 mostra a comutação da rede para o No-Break, com duração aproximada de 20 ms para carga linear e em plena potência; Já a Figura 15 mostra um tempo de comutação de aproximadamente 25 ms para carga não linear.

A Figura 16 mostra a fotografia do protótipo implementado do No-Break e a Figura 17 mostra o protótipo já instalado em uma residência.

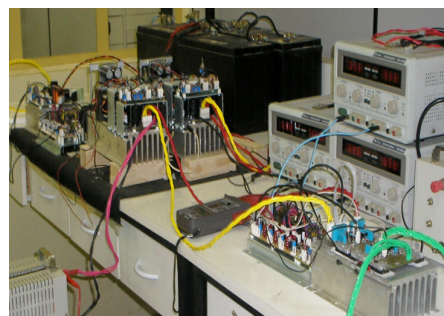


Fig. 16. Fotografia do protótipo.



Fig. 17. Fotografia do Protótipo do No-Break instalado.

IV. CONCLUSÕES

O protótipo construído tem amplo poder de aplicação. Além da função de No-Break, tem capacidade gerar energia elétrica pela transformação da energia solar. Seu funcionamento é regido por diversos fatores, como nível de carga das baterias, acoplamento de painéis solares, luminosidade, entre outros.

Através dos resultados nos testes realizados em laboratório e em campo e apresentados nesse artigo, foi demonstrado que o protótipo implementado, satisfaz as necessidades de continuidade de energia para residências, comércio e indústrias, devido a capacidade de alimentar cargas resistivas e/ou indutivas e a versatilidade de operar como gerador de energia, caso seja acoplado ao equipamento um sistema fotovoltaico.

Quanto maior a potência dos painéis solares e maior a capacidade de armazenamento do banco de baterias, maior será a autonomia e independência da rede.

Todo o circuito apresentado no apêndice é fiel ao montado na prática, tornando-o uma fonte de referência para os diversos setores, sendo assim uma importante contribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Walter, N. Freidenraich, “Tecnologia solar no Brasil: Os próximos 20 anos”, *Conferência sobre Sustentabilidade na geração e uso da energia no Brasil: os próximos 20 anos*, Centro de Convenções da UNICAMP, Campinas, SP, 18 a 20 de Fevereiro de 2002.
- [2] H. S. Costa, M. Eck, “Análise econômica comparativa da eletrificação rural comercial e fotovoltaica”, *Encontro de energia no meio rural*, vol. 3, 2000.
- [3] *Banco de dados agregados do Censo 2000* (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Brasil, 2001.
- [4] L. Schuch, C. Rech, H. Pinheiro, H. L. Hey, H. A. Gründling, J. R. Pinheiro, “Análise e Projeto de um Conversor Bidirecional PWM de Alto Desempenho para Interface entre o Barramento CC e o Banco de Baterias”, *Revista Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP)*, vol. 9, no. 1, pp. 1-11, 2004.
- [5] L. F. P. Mello, *Análise e projeto de fontes chaveadas*, Érica, 1ª Edição, São Paulo, 1996.
- [6] M. H. Rashid, *Eletrônica de Potência: circuitos, dispositivos e aplicações*, Makron Books, São Paulo, 1999.

- [7] L. Guerrero, J. M., Vicuña, L. G. e Uceda, J., “Uninterruptible Power Supply Systems Provide Protection”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2007.
- [8] D. J. Perreault, J. G. Kassakian, “Distributed interleaving of paralleled power converters”, *Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, IEEE*, vol. 44, no. 8, pp. 728-734, 1997.
- [9] G. W. Milne, E. Jansen, J. J. Roux, J. A. Koekemoer, “EMC and RFI problems and solutions on the SUNSAT micro-satellite”, *South African Symposium on Communications and Signal Processing*, vol. 1, no. 98EX214, pp. 293-298, setembro 1998.
- [10] N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, *Power Electronics: converters, applications, and design*, John Wiley & Sons, 2ª Edição, Nova Iorque, 1995.
- [11] A. Ahmed, *Eletrônica de Potência*, Prentice Hall, São Paulo, 2000.
- [12] A. S. Sedra, K. C. Smith, *Microeletrônica*, 4ª Edição, Makron Books, São Paulo, 2000.
- [13] M. I. Samesina, J. W. Rezende, G. M. V. Pereira, “Suportabilidade de contadores CA submetidos a afundamentos de tensão (voltage SAGS)”, *Ciência & Engenharia*, Vol. 15, no. 1/2, pp. 101-106, jan.-dez. 2006.
- [14] N.A. Ahmed, H.W. Lee, M. Nakaoka, “Dual-Mode Time-Sharing Sinewave-Modulation Soft Switching Boost Full-Bridge One-Stage Power Conditioner Without Electrolytic Capacitor DC Link”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 43, no. 3, pp. 805-813, 2007.

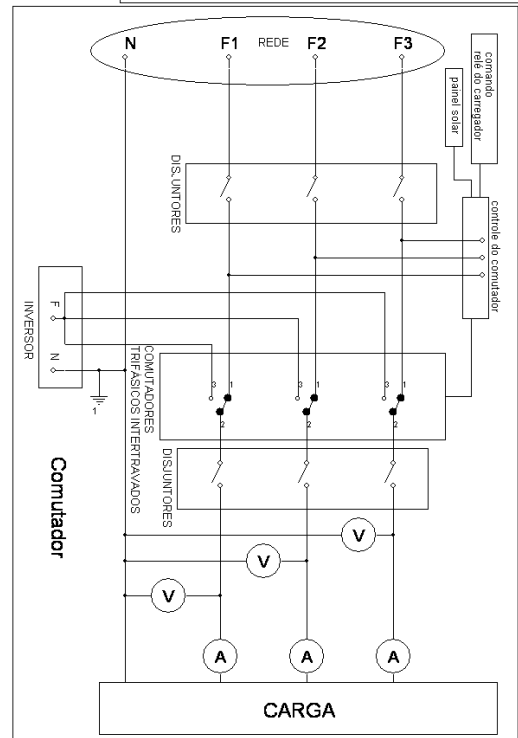
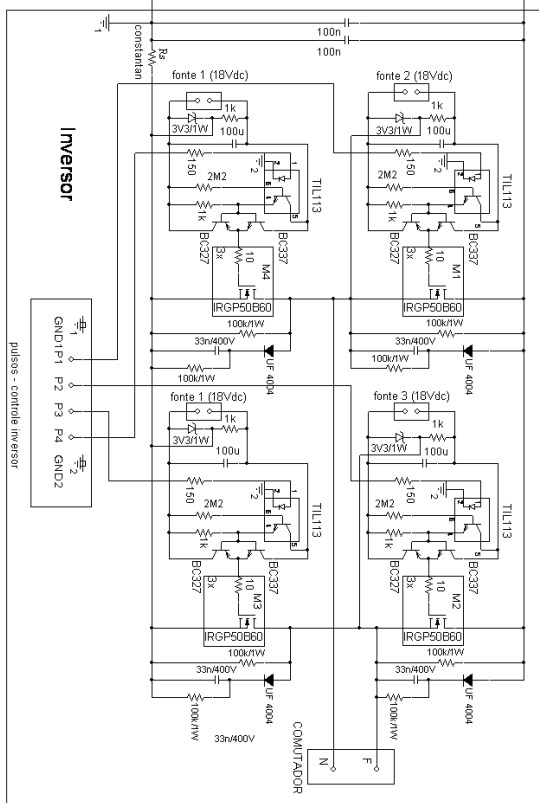
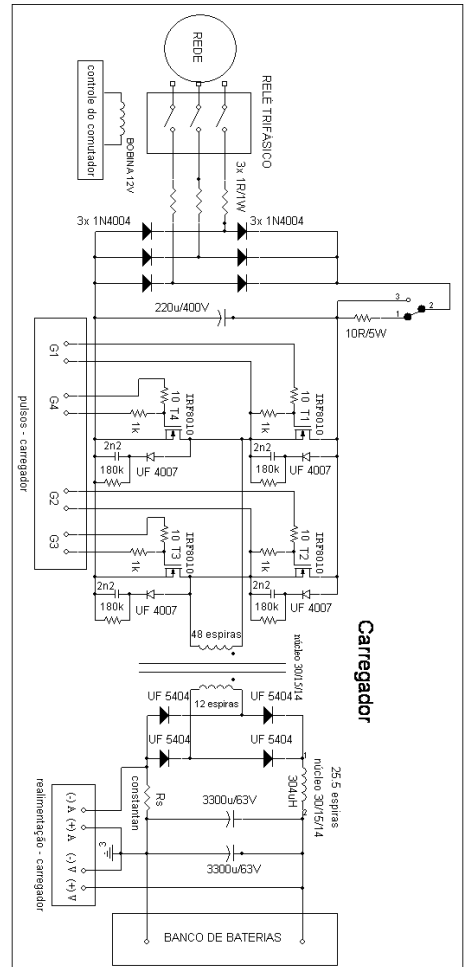
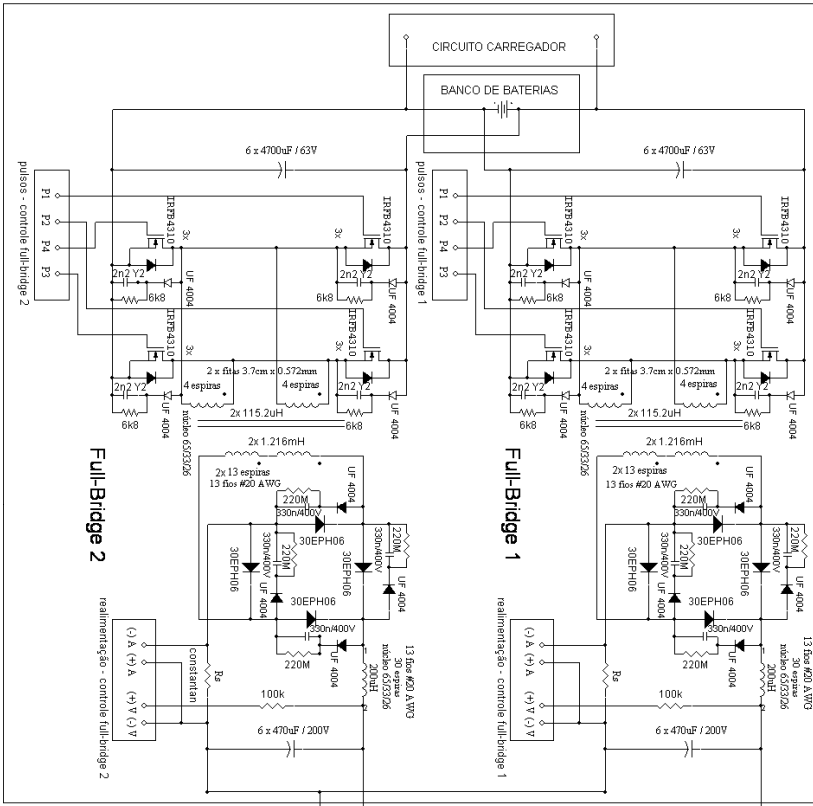
DADOS BIOGRÁFICOS

Carlos Henrique Gonçalves Treviso recebeu o título de Bacharel em Engenharia Eletrônica (1992), o de Mestre (1994) e o de Doutor em Engenharia Elétrica (1999) da Universidade Federal de Uberlândia. Foi, de 2000 a 2001, coordenador do curso de Engenharia Elétrica, foi professor e vice-diretor do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Atualmente é chefe do departamento de Engenharia Elétrica (UEL). Também presta consultoria para empresas. Sua área de pesquisa inclui: eletrônica de potência, qualidade de energia e eficiência energética, sistemas eletrônicos de controle e acionamento de máquinas elétricas.

Aziz Elias Demian Junior recebeu o título de Bacharel em Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica (2001), o de Mestre (2004) e o de Doutor em Engenharia Elétrica (2008) da Universidade Federal de Uberlândia. É professor do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Sua área de pesquisa inclui: eletrônica de potência, HID Lamps, Microcontrollers, High Light LED.

André Luiz Batista Ferreira nasceu em Londrina, PR, Brasil, em 1983. Recebeu o título de Bacharel em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Atualmente é aluno regular no programa de mestrado em Engenharia Elétrica da UEL com área de concentração em eletrônica de potência.

APÊNDICE 1: CIRCUITO DE POTÊNCIA DO NO-BREAK



APÊNDICE 2: CIRCUITOS DE CONTROLE DO NO-BREAK

