



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE 07
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – GCE

RECUPERAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA UTILIZADA NOS TESTES DE BURN-IN EM FONTES CC PARA SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Joacillo Luz Dantas *

Fernando Antunes

**GPEC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA – UFC
ITTI- TELEMÁTICA- CEFET-CE**

RESUMO

Fontes CC e UPS's, antes de serem introduzidas no mercado, são comumente submetidas ao teste de *burn-in*. Esse teste consiste em conectar-se uma carga resistiva ao equipamento a ser testado, de forma que o mesmo forneça de 50% a 100% da potência nominal durante um intervalo que geralmente é de 24h a 72h. Toda energia envolvida no teste é perdida em forma de calor.

Com o objetivo de diminuir o consumo de energia nos testes de *burn-in* surgiu o reciclador de energia, que é um equipamento baseado em eletrônica de potência que substitui o banco resistivo usado no teste convencional, realiza o teste de *burn-in* e devolve para a rede elétrica grande parte da energia envolvida no teste. A energia é devolvida através da injeção de uma corrente senoidal na rede elétrica.

O presente artigo propõe uma topologia de alto rendimento para um reciclador de energia, e mostra resultados experimentais obtidos com um protótipo feito em laboratório para uma fonte CC de 54,5V 20A.

PALAVRAS-CHAVE

Teste de burn-in, Reciclador de energia, Conservação de energia, Injeção de corrente na rede elétrica

1.0 - INTRODUÇÃO

Em teste de *burn-in* convencionais para fontes CC usa-se bancos de resistores como carga. O teste de burn-in drena, usualmente, de 50% a 100% da potência nominal da fonte CC. O tempo de duração do teste de burn-in varia de 24h à 72h. O teste de *burn-in* tem como objetivo detectar possíveis falhas no equipamento, verificar o comportamento de componentes do circuito em regime forçado e medir o real rendimento do equipamento antes de oferecê-la ao usuário. Toda energia envolvida no teste de burn-in é dissipada em forma de calor.

Atualmente é grande a busca pelo uso racional da energia elétrica e a otimização de suas aplicações, tanto em nível de geração, transmissão, distribuição como em nível de consumidor final. Neste contexto de preocupação com a conservação de energia, surgiu o conceito de reciclador de energia (1) (2).

O reciclador de energia é um equipamento, oriundo de conversores estudados na eletrônica de potência, cujo objetivo é funcionar como carga resistiva para fonte sob teste, mas devolver para fonte em corrente alternada, a energia processada pela fonte durante o teste burn-in, descontando as perdas, assim, ele elimina o banco de

resistores usado como carga no ensaio convencional. O reciclador de energia força a fonte CC fornecer uma corrente compatível com o nível de potência determinado pelo ensaio. Ele simula uma carga resistiva, porém no final do processo, devolve para a rede elétrica grande parte da energia envolvida no teste, através da injeção de uma corrente senoidal defasada de 180° da tensão da rede elétrica.

Este artigo mostra um reciclador de energia de alto rendimento para aplicação em testes de burn-in em fontes CC de telecomunicações de tensão nominal 54,5V. O reciclador proposto é constituído de três conversores em cascata, um conversor *boost*, um conversor *buck* e um inversor de corrente, como mostra a figura 1.

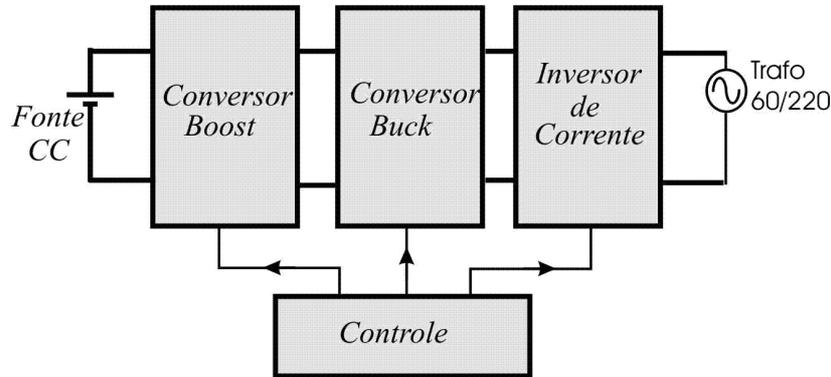


FIGURA 1

2.0 - DESCRIÇÃO DOS CONVERSORES

Cada conversor do sistema é formado por semicondutores de potência e desempenha um papel bem definido no processo de funcionar como carga resistiva e energia para a fonte CA.. O conjunto é comandado por um controlador que envolve circuitos integrados dedicados e um microcontrolador da família PIC.

2.1 Conversor Boost

A primeira etapa de conversão de energia é o conversor *boost*. Ele tem a função de sugar da fonte CC a corrente requerida no teste com uma ondulação de 5% mas com valor médio constante. A fonte utilizada apresenta uma variação de tensão de 1%, portanto podemos considerar que a imposição da corrente de entrada do conversor *boost* determina a potência do ensaio.

Como o sistema de *burn-in* abordado por este trabalho é constituído de três conversores, o rendimento do reciclador de energia está diretamente relacionado às perdas inerentes a cada estágio de potência. É desejável que o sistema possua reduzidos peso e volume, o que pode ser conseguido através do aumento da frequência de comutação dos semicondutores. Entretanto, com o aumento da frequência, aumenta-se também a perda em comutação, o que provoca redução do rendimento da estrutura. Portanto torna-se adequado à aplicação de uma comutação suave para o interruptor para que se possa elevar a frequência de comutação das chaves sem prejuízo no rendimento do reciclador. Circuitos de ajuda à comutação têm sido apresentados com o objetivo de reduzir as perdas nos semicondutores de potência. O uso de *snubbers* passivos para se obter uma comutação suave mostra-se bastante interessante em relação aos ativos, uma vez que não necessitam da adição de interruptores. Daí optou-se, portanto, neste trabalho por empregar uma técnica de comutação suave, onde um circuito de ajuda à comutação, denominado circuito *snubber* passivo não dissipativo (3), é inserido ao estágio de potência do conversor *boost*, como mostra a figura 2.

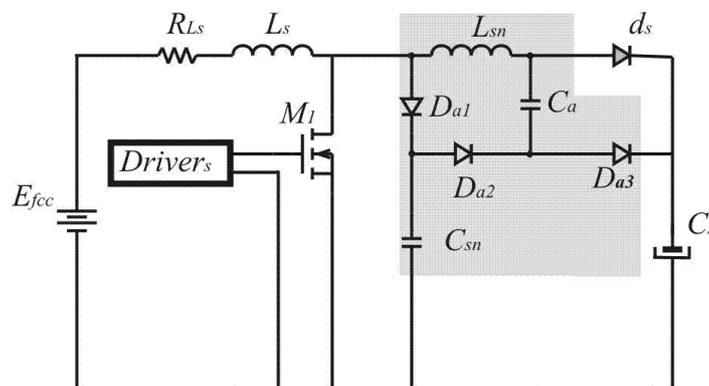


FIGURA 2- Conversor *boost* com *snubber* em destaque.

Na figura-2 temos que:

- E_{fcc} é a fonte CC submetida ao teste de *burn-in*.
- C_s é o capacitor de saída do conversor *boost*.
- L_s, M_1 e d_s são respectivamente o indutor, o interruptor e o diodo *boost*.

Devido ao fato da fonte CC ter controle da tensão de saída não é necessário fazer controle de tensão de entrada do conversor *boost*, e como a saída deste conversor concorreponde a entrada do conversor buck, cuja tensão é controlada, só há necessidade, para o conversor *boost*, o controle da corrente de entrada (2). Este controle é feito usando-se apenas um compensador de corrente, e foi implementado com o circuito integrado UC3525 gerador de PWM (4). No entanto utilizou-se um circuito de proteção contra sobretensões no capacitor C_s para evitar destruição do interruptor ou do próprio capacitor.

2.2 Conversor Buck

A entrada do conversor *buck* é o capacitor C_s de saída do conversor *boost* e sua saída é ligada a um inversor de corrente. Ele é a interface entre o inversor de corrente e o conversor *boost* e atua como um controlador de fluxo de energia. Quando a energia entregue pelo *boost* é maior que a injetada na rede elétrica pelo inversor de corrente, o circuito de controle aumenta a razão cíclica do chaveamento do conversor *buck*, com o objetivo de liberar essa energia. Caso contrário, a razão cíclica é diminuída. A identificação do fluxo energético é feita através do monitoramento da tensão no capacitor de saída do conversor *boost*. Quando a energia fornecida pelo *boost* é maior que a recebida pela rede elétrica, desprezando-se as perdas, a tensão no capacitor tende a aumentar. Caso contrário esta tensão diminui (2).

O estágio *buck*, figura 3, opera no modo de condução contínua e sua razão cíclica varia senoidalmente., e possui também a função de fornecer uma corrente senoidal retificada de 120Hz, possibilitando que o inversor opere com chaveamento em 60Hz.

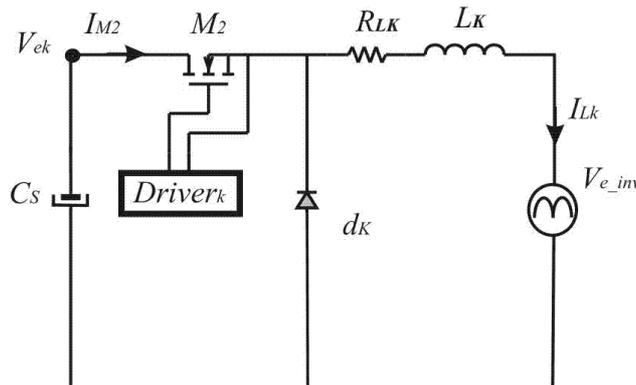


FIGURA 3

Na figura 3 temos que:

- V_{ek} é a tensão de entrada do conversor *buck* ou de saída do *boost*.
- I_{Lk} é a corrente de saída do buck.
- V_{e_inv} é a tensão de entrada do inversor de corrente.

O conversor *buck* utilizado no reciclador deve apresentar na entrada uma tensão CC oriunda de um capacitor, e na saída uma corrente senoidal retificada em 120Hz, com ondulações em 20kHz. A corrente deve estar sincronizada com a rede. O controle deve forçar a corrente injetada seguir a forma de onda da tensão da rede. Quando a tensão na entrada do conversor *buck* tender a aumentar o controle deve aumentar a razão cíclica do conversor de formar a liberar para o próximo estágio a energia excedente no capacitor. Caso a tensão no capacitor tenda a diminuir o controle também deve diminuir a razão cíclica do conversor.

Utilizamos para implementar o controle deste conversor, o circuito integrado UC3854 (5) dedicado para projetos de conversores *boost* atuando como pré-reguladores CA/CC com alto fator de potência. Neste pré-regulador, o compensador de tensão controla a tensão de saída, que é uma tensão CC, e tende a diminuir a razão cíclica do conversor quando a tensão controlada tende a aumentar, e aumentar a razão cíclica quando a tensão de saída tende a diminuir. Este comportamento é justamente o oposto do desejado para o compensador de tensão do conversor *buck* do reciclador de energia.

2.3 inversor de corrente

O inversor de corrente constitui o terceiro estágio de processamento de energia do sistema proposto. Ele recebe do estágio anterior, o conversor *buck*, uma corrente senoidal retificada em 120 Hz, e através de seus interruptores,

trabalhando em baixa frequência, injeta na rede elétrica, uma corrente senoidal de 60Hz, defasada de 180° da tensão da rede elétrica e com uma taxa de distorção harmônica que atenda a norma IEEE 519/1992.

O conversor *buck* oferta ao inversor de corrente, figura 4, uma corrente senoidal retificada em 120 Hz e em sincronismo com a tensão da rede, de forma que elas atingem os valores zero e máximo respectivamente em tempos iguais. Para que essa corrente seja transformada em senoidal alternada e injetada na rede elétrica é preciso que o inversor opere em 60 Hz. Para cada semiciclo da senoide tem-se um par de IGBT's acionado (2).

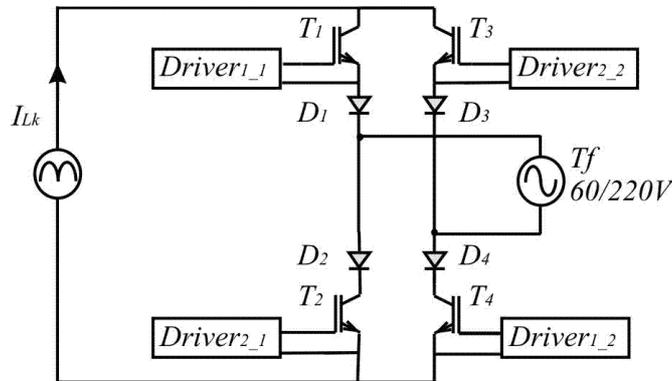


Figura 4 – Inversor de corrente

Na figura 4 temos que:

- I_{Lk} é a corrente de saída do conversor *buck*.
- $Driver_{x,x}$ são fabricados pela SEMIKRON e utilizados para acionarem os IGBTs.
- T_x e D_x correspondem respectivamente ao par diodo IGBT.
- T_f é um transformador de 60/220V .

Os diodos podem ser eliminados do processo caso se use IGBTs de tecnologia NPT, o que melhoraria o rendimento do sistema.

O disparo dos interruptores do inversor de corrente é feito em pares, T_1 com T_4 e T_2 com T_3 , através de um circuito de comando duplo *SKH200P* fabricado pela SEMIKRON. Os interruptores, tipo IGBTs, são acionados quando a tensão senoidal da rede passa pelo zero. O par T_1 e T_4 é acionado na passagem para o semiciclo positivo e T_2 e T_3 na passagem para o semiciclo negativo. A detecção da passagem por zero, e o sentido desta passagem, é feita por um *micro controlador PIC16F870* (6) amparado por um software feito em *Assembly* e usando-se sua interrupção por mudança de estado dos pinos da porta B. Para cada detecção O *PIC16F870* libera os sinais de comando para os interruptores. As saídas de tensão dos pinos do *PIC16F870* só podem assumir 0V ou 5V, e as entradas do *Driver SKH200P* têm tensão de operação típica de 15V. Uma fonte auxiliar, com o terra não comum à fonte de 5V, fornece este nível de tensão. A interface entre as duas fontes é feita com resistores e acopladores óticos *4N25*. Os acopladores óticos também propiciam uma separação elétrica entre o microcontrolador e o acionamento dos *Drivers* .

3.0 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Um protótipo do reciclador de energia foi montado no laboratório GPEC do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. A fonte submetida ao teste de *burn-in* foi doada pela empresa Delta Energy System. O circuito de controle foi elaborada no Instituto de Telecomunicações e Informática da Gerência de Telemática do CEFET-CE.

3.1 Fonte CC

A Figura 6 mostra a tensão da fonte CC durante o teste e a corrente requisitada da mesma. Em vazio a fonte apresentou 54V como tensão de saída. No teste a fonte CC sofreu uma queda de 1V, ofertando 53V em seus terminais de saída. No entanto esta tensão se manteve sem oscilações.

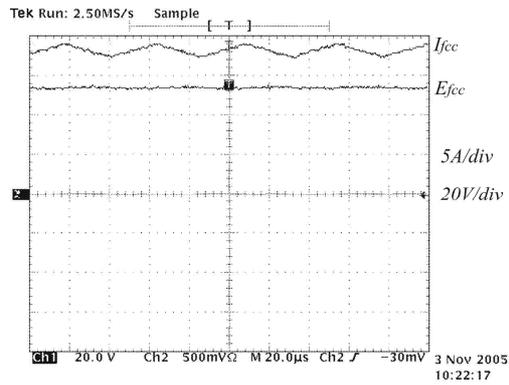


FIGURA 6

3.2 Conversor Buck

As correntes de saída do conversor buck é mostradas na figura 8. A corrente de é senoidal retificada em 120Hz.

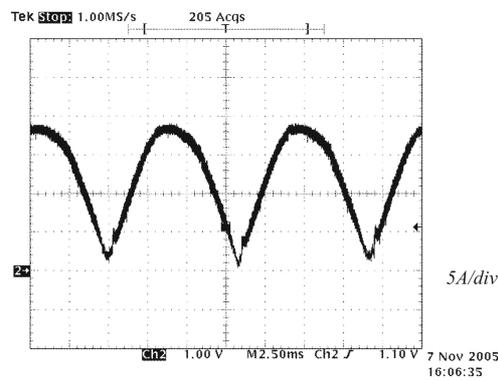


FIGURA 8

3.4 Deteccção da Passagem por Zero

A Fig. 11 mostra a deteção da passagem por zero da tensão da rede elétrica e a identificação dos ciclos positivos e negativos.

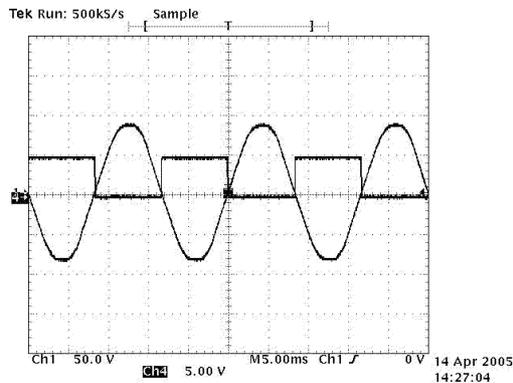


FIGURA 9

3.5 Corrente Injetada na Rede

A corrente senoidal de 60Hz injetada na rede elétrica e a tensão da mesma são mostradas na Figura 10. O valor eficaz da corrente é 3,82A com uma taxa de distorção harmônica de 3,94%. A tensão da rede elétrica apresentou um valor eficaz igual a 212V com uma taxa de distorção harmônica de 1,1%. O sistema obteve um rendimento de 84,8%.

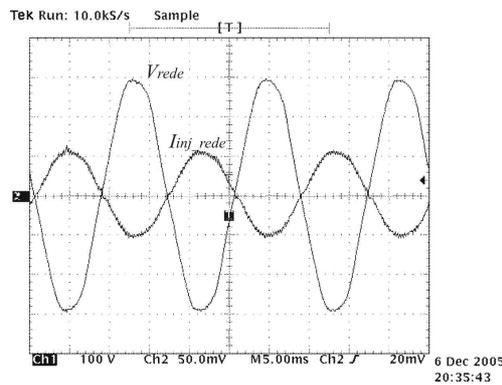


FIGURA 10

4.0 - CONCLUSÃO

O reciclador de energia apresentado é uma opção interessante na área de conservação de energia. Ele é composto por três conversores em série: um *boost*, um *buck* e um inversor de corrente. O conversor CC-CC elevador ou *boost*, que é visto pela fonte como uma carga resistiva, drena da fonte a corrente requisitada pelo teste. O conversor CC-CC abaixador ou *buck* modula a corrente de saída do conversor boost em uma corrente retificada em 120Hz. O inversor transforma a corrente CC retificada em 120Hz fornecida pelo buck em uma corrente alternada senoidal em 60Hz, que é injetada na rede elétrica. O reciclador aparece como uma solução para o desperdício de energia elétrica que ocorre nos testes de *burn-in* em fontes CC. Neste conversor o bom desempenho do compensador de tensão é fundamental para a diminuição da TDH da corrente injetada, que no caso foi de 3,94%. O rendimento obtido com o sistema foi de 84,8% o que equivale aos rendimentos dos conversores e do transformador em cascata.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AYRES, C.A, Recicladores de Potência. 1996. 168f. Tese(Doutorado em Engenharia Elétrica)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- (2) DANTAS, J. L, Recicladores de Energia para Testes de *Burn-in* em Fontes CC Para Telecomunicações. 2006. 100f. Dissertação(Mestrado em Engenharia Elétrica)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará.
- (3) LIMA, F. k. A. Retificador Monofásico de Reduzidas Perdas de Condução e Alto Fator de Potência Empregando Snubbers Passivos Não Dissipativos. 2003. 153f. Dissertação(Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pós-graduação em 2002. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará.
- (4) UNITRODE, Regulating Pulse Width Modulation, Datasheet, 1999, Texas Instruments Incorporated.
- (5) TODD, P. C., UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design. Lexington, MA, USA: Product & Applications Handbook/UNITRODE, 1993-94, p.3-269-3288.
- (6) Microchip, 28/40-pin-8-bit CMOS FLASH Microcontrolador, Datasheet. Disponível em <http://www.microchip.com/1010/pline> 1997

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Joacillo Luz Dantas

Bacharel em Engenharia Elétrica (1990) e Mestre em Engenharia Elétrica (2006) pela Universidade Federal do Ceará. Professor do curso de Telemática do Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará(CEFET-CE). Engenheiro de Manutenção Eletrônica das empresas: Café serra Grande, DPM Engenharia e Cerâmica Torres (1991 a 1993). Membro pesquisador do Instituto de Telecomunicações e Informática (ITTI) do CEFET-CE. Área de interesse: Eletrônica de Potência e Sistemas Embarcados.

Fernando Luiz Marcelo Antunes.

Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (1978), Mestre em Engenharia Elétrica pela USP (1980) e PhD pela Loughborough University of Technology- Inglaterra (1991). É professor adjunto no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. Orienta teses de doutorado e dissertações de mestrado pela pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFC, com publicações em revistas e congressos internacionais na área de eletrônica de potência. Coordenador do Grupo de Processamento de Energia e Controle - GPEC do DEE da UFC. É membro da SOBRAEP, SBA e IEEE. Atualmente é vice-presidente da SOBRAEP, e editor da revista de eletrônica de potência da mesma sociedade.