



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 02 7849

Tópico: Aplicação de Novas Tecnologias

CONVERSOR ESTÁTICO MONOFÁSICO-TRIFÁSICO COM PONTO DE NEUTRO PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL

RODRIGO M. FERNANDES

MAURÍCIO AREDES
ULISSES DE A. MIRANDA

RICARDO LUIS ABRAÇADO
ALUIRES DA SILVA MÖTHE

ENELTEC

COPPE/UFRJ

AMPLA

RESUMO

Este artigo apresenta o Conversor Estático Monofásico-Trifásico (MONOTRI), aplicável à eletrificação rural. Suas funções são prover energia elétrica trifásica a partir de uma rede de distribuição monofásica, controlando o fator de potência da entrada monofásica e fornecendo na sua saída uma energia trifásica, com neutro, de forma regulada, mesmo sob ocorrências de variações momentâneas de tensão (VTCDs). O artigo apresenta a modelagem do MONOTRI e a sua implementação na forma de um protótipo demonstrando o seu funcionamento através dos resultados experimentais.

PALAVRAS-CHAVE

Conversão de fases, conversores estáticos, eletrificação rural, eletrônica de potência, qualidade de energia.

1.0 INTRODUÇÃO

Boa parte do fornecimento de energia elétrica nas áreas rurais – regiões tipicamente com baixa densidade demográfica e de intensa mecanização, devido aos processos agropecuários – é realizada através de alimentadores monofásicos.

Os alimentadores monofásicos rurais são utilizados pelas distribuidoras devido ao seu baixo custo de instalação e manutenção. Porém, este

tipo de fornecimento de energia conduz a problemas tanto para o consumidor rural quanto para as concessionárias.

Para o consumidor rural, o fato de a energia elétrica ser de baixa qualidade (tensão não regulada) pode acarretar na queima de equipamentos. Um outro problema de maior relevância reside na impossibilidade do desenvolvimento sócio-econômico daquela comunidade.

Para a concessionária, uma rede com níveis de tensão e fator de potência baixos e não controlados representa um desempenho insatisfatório, tanto no que diz respeito a perdas e regulação quanto no que tange ao atendimento ao seus clientes.

Na medida em que ocorre um crescimento na região atendida por uma rede monofásica, a concessionária se vê obrigada a expandir sua capacidade de atendimento, por exemplo, modificando o sistema para uma rede trifásica, o que demandaria investimentos elevados.

Diante do exposto, existe a oportunidade de um negócio inovador que forneça uma solução para estes problemas, beneficiando tanto a concessionária de energia quanto os consumidores rurais. Seria uma inovação que unisse os benefícios de custo da utilização das redes monofásicas com os benefícios do fornecimento de energia elétrica trifásica com qualidade.

Desta forma, idealizou-se um conversor monofásico-trifásico que beneficiasse tanto as comunidades rurais – com a energia trifásica – quanto as concessionárias – com funções de regulação de tensão e fator de potência – propiciando vantagens para ambos.

Para efeitos ilustrativos a arquitetura para a solução dos problemas mencionados utilizando o conversor MONOTRI é apresentada na Figura 1. O MONOTRI é utilizado nas redes de distribuição rural em série com os transformadores, sendo responsável por prover a energia elétrica aos consumidores rurais.

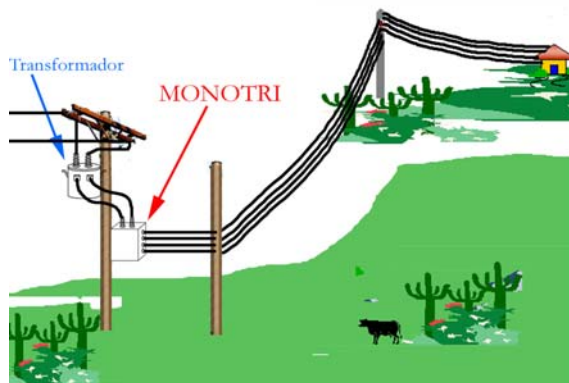


Figura 1: Aplicação do MONOTRI na eletrificação rural.

2.0 TOPOLOGIA DO MONOTRI

Diversas topologias de conversores monofásico-trifásicos já foram propostas na literatura técnica e científica [1-4], sendo que o foco de grande parte delas é para aplicações de acionamento de motores. A definição de uma topologia voltada para a aplicação na eletrificação rural foi realizada analisando-se as vantagens e desvantagens das topologias estudadas frente às necessidades específicas da eletrificação rural.

A Figura 2 apresenta o diagrama esquemático do conversor MONOTRI para eletrificação rural adotado no projeto. A tensão de 220 V é aplicada nos terminais de entrada de um retificador monofásico controlado que controla a corrente de entrada de modo que o fator de potência seja unitário, além de regular a tensão no elo de corrente contínua (CC).

A utilização de um retificador controlado garante que a tensão CC seja regulada no seu valor nominal mesmo com uma alimentação de baixa tensão na sua entrada - problema comumente encontrado nas regiões rurais.

A partir desta tensão CC regulada, o inversor sintetiza tensões trifásicas equilibradas que serão

utilizadas no atendimento das cargas trifásicas, bifásicas e/ou monofásicas de potências diversas. Portanto, é importante notar que o conversor deve apresentar um desempenho adequado mesmo suprindo cargas desequilibradas.

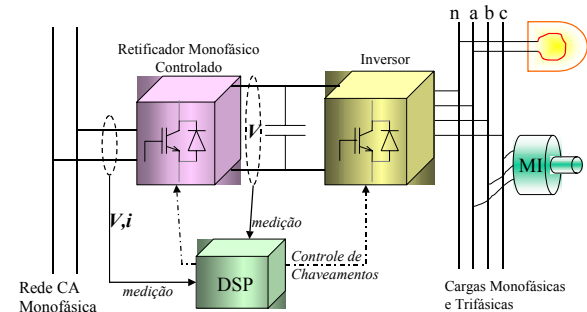


Figura 2: Esquemático do Monotri.

3.0 PROTÓTIPO LABORATORIAL

O circuito de potência do MONOTRI é composto de um módulo comercial de dois inversores trifásicos a IGBT conectados através do elo CC, conforme ilustra a Figura 3(a e b). Os IGBTs são comandados via sinais óticos que são enviados pelo circuito de controle através de uma placa de conversão digital para ótico. Compõem ainda o circuito de potência um indutor série na entrada monofásica e filtros LC passa-baixa na saída trifásica com neutro.

O seu controle foi implementado no DSP TMS320F2812 da TEXAS INSTRUMENTS. Este é um processador digital de sinais de 32 bits com

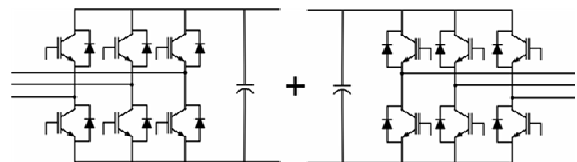


Figura 3a: Dois inversores comerciais.

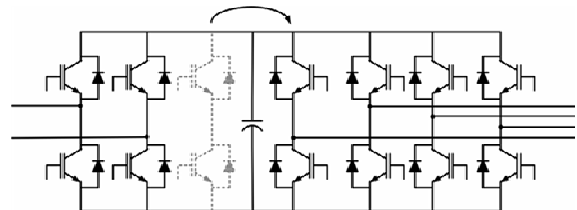


Figura 3b: Módulo comercial de dois inversores trifásicos associados.

desempenho de até 150MIPS em ponto fixo, conversor AD de 12 bits, memória Flash e periféricos analógicos *on-chip*.

A Figura 4 mostra a foto dos componentes do MONOTRI. Observa-se duas estruturas

principais: o sistema de aquisição, controle e disparo e o circuito de potência.



Figura 4: Foto dos principais componentes do MONOTRI.

4.0 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para validar o funcionamento do protótipo do MONOTRI foram realizados testes com o equipamento de acordo com as especificações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Especificação do protótipo para testes preliminares.

Tensão monofásica de entrada	V_s	220V / 60 Hz
Tensão trifásica de saída	$V_{a,b,c}$	127V / 60 Hz
Freqüência de chaveamento	f_s	5,4 kHz
Indutância de entrada	L_s	5 mH
Carga na fase A	P_a	200 W
Carga na fase B	P_b	100 W
Carga na fase C	P_c	200 W

A Figura 5 mostra a tensão e a corrente na entrada do MONOTRI no instante em que o retificador controlado é ligado. A corrente, em fase com a tensão, é responsável por regular a tensão contínua no seu valor nominal. Uma vez que esta tensão está regulada a corrente fica praticamente nula até que o inversor trifásico é ligado adicionando carga no conversor conforme mostrado na Figura 6. Os valores de tensão e corrente em regime permanente são mostrados na Figura 7.

O espectro harmônico da corrente é mostrado na Figura 8, com THD_i de 10%. Vale lembrar que este valor foi obtido utilizando cargas bem abaixo do valor nominal (aproximadamente 3%) e quanto maior o valor eficaz da corrente menor será a distorção harmônica da mesma. A amplitude da componente em alta freqüência presente na corrente independe da magnitude da mesma, logo é possível afirmar que para a corrente nominal o valor do THD_i será bem menor.

As tensões fase-neutro da saída do inversor são mostradas na Figura 9 e o seu espectro harmônico na Figura 10. Observa-se que as tensões entre as fases estão defasadas de 120° e

com a amplitude de 127V, mesmo operando numa situação de fornecimento de energia para cargas desequilibradas. O espectro harmônico das tensões de saída apresenta um THDv de aproximadamente 2%.

A Figura 11 mostra o comportamento da tensão de saída trifásica quando ocorrem variações na tensão monofásica de entrada. É possível perceber que mesmo quando a tensão de entrada assume valores maiores e menores que o valor nominal a tensão de saída permanece com amplitude constante, demonstrando a funcionalidade de regulação de tensão do MONOTRI.

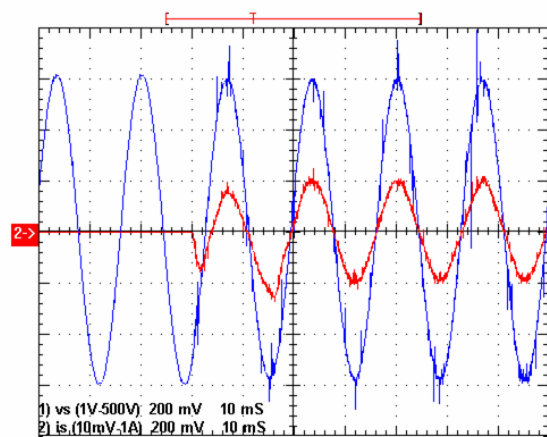


Figura 5: Tensão e corrente monofásicas no instante inicial do chaveamento do retificador

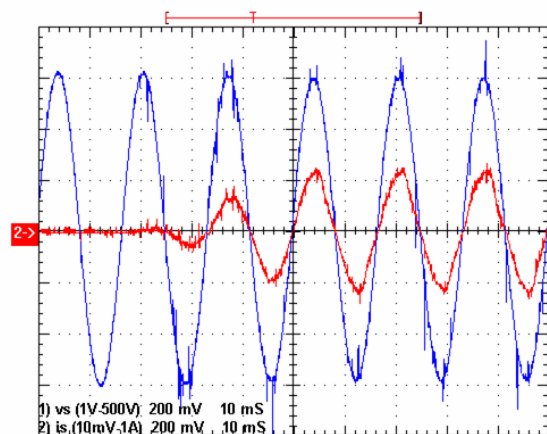


Figura 6: Tensão e corrente monofásicas no instante em que é adicionada carga ao MONOTRI

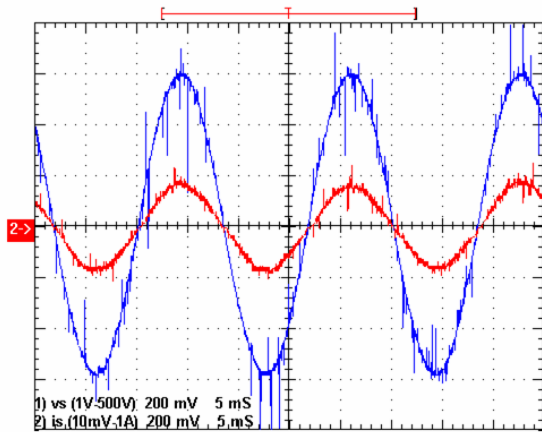


Figura 7: Tensão e corrente na entrada monofásica (Ch1: vs e Ch2: Is)

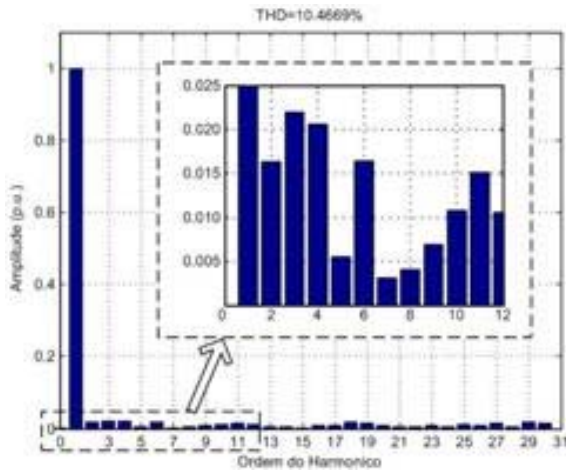


Figura 8: Espectro harmônico da corrente na entrada monofásica.

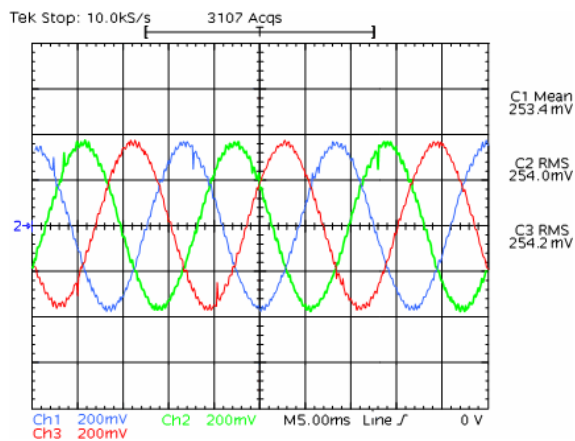


Figura 9: Tensões trifásicas de saída do MONOTRI.

5.0 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o conversor monofásico para trifásico com ponto de neutro, denominado MONOTRI. A sua principal aplicação é na

eletrificação rural. O conversor MONOTRI é baseado em chaves semicondutoras de potência e possui um circuito de controle responsável por manter a corrente consumida da rede monofásica no formato senoidal e em fase com a tensão de entrada, caracterizando um fator de potência unitário. Além disso, é capaz de manter a tensão trifásica de saída, que é entregue aos consumidores, constantemente regulada. Estas funcionalidades foram comprovadas pelos resultados experimentais apresentados.

Por fim, vale destacar que o MONOTRI, com sua capacidade de melhorar a qualidade do fornecimento da energia, além de contribuir para a melhoria da imagem da concessionária perante a população rural, se enquadra na filosofia do programa “Luz para Todos”, lançado pelo governo federal em 2003, no que diz respeito ao

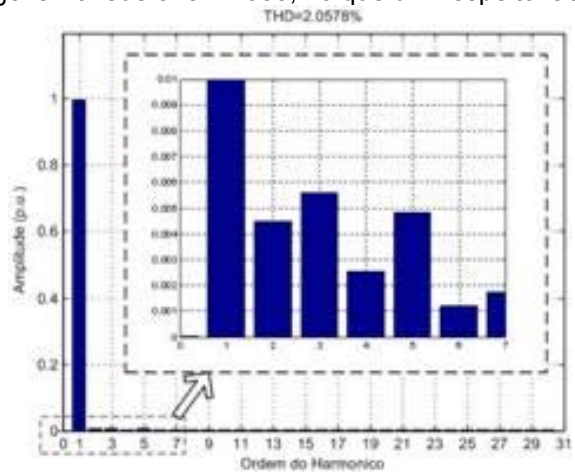


Figura 10: Espectro harmônico da tensão de saída fase-neutro da fase A.

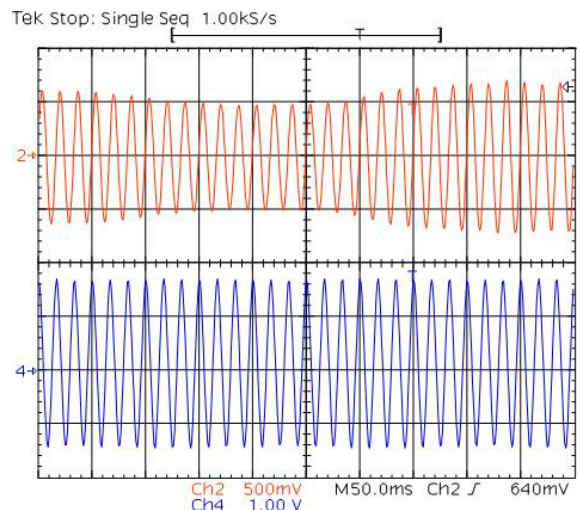


Figura 11: Tensão na saída do MONOTRI durante variações da tensão monofásica de entrada.

desenvolvimento sócio-econômico das comunidades, ajudando a diminuir o êxodo rural,

gerando empregos e respeitando o meio-ambiente.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MOHAN, N. & UNDELAND, T. M. & ROBINS, W. P. Power Electronics Converters, Applications, and Design. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [2] ENJETI, Prasad N. & RAHMAN, Ashek & JAKKLI, Ranjit. Economic Single-Phase to Three-Phase Converter Topologies for Fixed and Variable Frequency Output. IEEE Trans. on Power Electron. vol. 8, no. 3, pp. 329-335, July 1993.
- [3] SALMON John C. Circuit Topologies for PWM Boost Rectifiers Operated from 1-phase and 3-phase AC Supplies and Using either Single or Split DC Rail Voltage Outputs. Conf. Rec. IEEE-APEC Annu. Meeting, 1995, vol. 1, pp. 473-479.
- TSHIVHILINGE, E. N. & MALENGRET, M. A practical control of a cost reduced single phase to three phase converter. IEEE Transaction Industry Applications, 1998, p.: 445-449.

