Miniturização de Transformadores de Pulso Futuro como MEMS/NEMS

Leonardo Violim Lemos*, Vera Lúcia Othéro de Brito** e Antonio Carlos da Cunha Migliano*,**
* Instituto Tecnológico de Aeronáutica, S .J. dos Campos, Brasil – e-mail: violim@ita.br
** Instituto de Estudos Avançados, S. J. dos Campos, Brasil – e-mail: [vlobrito, migliano]@ieav.cta.br

***Resumo* — Este trabalho mostra os resultados obtidos por pesquisadores do Grupo de Sistemas Eletromagnéticos do IEAv no desenvolvimento de um transdutor de corrente miniaturizado. O transdutor confeccionado apresentou sensibilidade de 2 V/A, aproximadamente, com corrente de pico de 4,7A, para pulsos de corrente com durações entre 3 e 100 ns. São também expostas as perspectivas de desenvolvimento baseadas nos resultados obtidos até o presente.**

***Palavras-chaves* — Monitor de corrente pulsada, tecnologia de pulsos, sensores de corrente**

I. INTRODUÇÃO

Nas décadas de 40 e 50, com a tecnologia de aceleradores impulsionando o avanço tecnológico nos países desenvolvidos, as técnicas de monitoramento e transporte da corrente de feixe de elétrons foram os principais alvos da inovação tecnológica. Dispositivos de diagnóstico de feixe de elétrons pulsado foram os responsáveis pelo desenvolvimento de transdutores de corrente com resposta em altas frequências, filtros de RF, soldas especiais, etc. Devido à sua capacidade de reprodução de pulsos, empregou-se o uso desses sensores nas áreas de telecomunicações. Existem patentes sobre dispositivos para a monitoria dos sistemas de rede elétrica de aeronaves, indústrias e equipamentos médicos com transformadores de correntes flexíveis [1]. Atualmente, as buscas por novas tecnologias de propulsão, como propulsores iônicos e a plasma, encontraram-se necessidade de caracterizar pulsos de correntes com duração de nanossegundos, e com a disponibilização de materiais com propriedades eletromagnéticas na faixa de microondas e RF. Esses dispositivos estão sendo desenvolvidos com características de sensores inteligentes para controle de malha fechada e atingem a tecnologia de *sistemas nano/microeletromecânicos* (NEMS/MEMS).

Sensores de correntes não interceptantes são aplicados em dispositivos de telecomunicações, aceleradores lineares de elétrons [2], sistemas de RF, sistemas de controle de propulsores a plasma, etc.

L. V. Lemos, violim@ita.br, V. L. O. Brito, vlobrito@ieav.cta.br, Tel +55-12-3947-5519, Fax +55-12-3944-1177; migliano@ieav.cta.br, Tel. +55-12-3947-5515, Fax +55-12-3944-1177.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq/CAPES e FINEP ("Consolidação da Infra-Estrutura de Ensino, Pesquisa e Desenvolvimento no Centro Técnico Aeroespacial", apoiado ao Edital CT-INFRA 01/2001, prazo:2002-2005. Proc:23.01.0731.00.).

Esses dispositivos, chamados de Monitores de Corrente Pulsada (MCP), respondem à indução eletromagnética de cabos de alimentação de correntes AC ou pulsadas, reproduzindo as características da forma do sinal original.

As cerâmicas magnéticas, por apresentarem alta resistividade elétrica e por operarem na faixa de microondas e RF, tornaram-se os transdutores ideais para o emprego em MCP. Ainda, por exibirem efeitos de magnetoelasticidade, corroboram o seu uso em sistemas micromecânicos (MEMS), associando o efeito de campos magnéticos pulsados intensos com a variação dimensional.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados do processo de miniaturização de um MCP com transdutor de ferrita Ni-Zn, o que representa um primeiro passo na implementação de uma estrutura planar desses transdutores.

II. CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MONITOR

O MCP foi confeccionado com um transdutor cerâmico toroidal de ferrita Ni-Zn [3], com diâmetro externo de 7,3 mm, diâmetro interno de 4,4 mm, altura de 2,6 mm. A temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C), a frequência de corte da ferrita é de 7 MHz, aproximadamente, conforme a Fig.1:

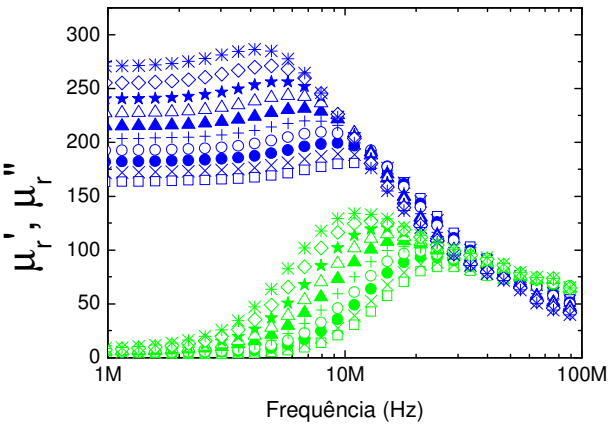

Fig. 1. Parte real (cinza escuro) e parte imaginária (cinza claro) da permeabilidade magnética relativa com variação da temperatura. -40 oC (□); -30 °C (×); -20 °C (●); -10 °C (○); 0 °C (+); +10 °C (▲); +20 °C (△); +30 °C (★); +40 °C (◇); +50 °C (✳) .

A variação da freqüência de corte com a temperatura pode ser corrigida conforme equação apresentada em [3].

O circuito formador do pulso foi constituído de um capacitor cerâmico C1 de 262,5 pF, em paralelo com o enrolamento secundário, e dois resistores de 100 Ω nominais em paralelo resultando em um resistor R1 de 49,98 Ω em série com o circuito do transdutor, conforme a Fig.2.

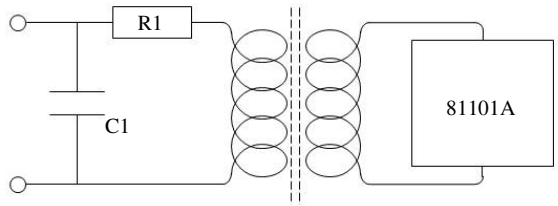

Fig. 2. Esquema do funcionamento do monitor de corrente pulsada (MCP).

Apresenta-se na Fig. 3 a construção do MCP para aplicação em circuitos de alimentação de equipamentos.

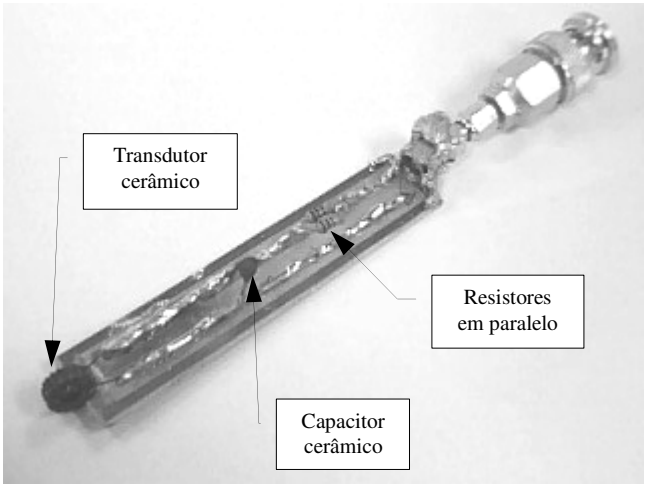

Fig. 3. Montagem do MCP.

A calibração do MCP foi realizada utilizando os seguintes equipamentos: um gerador de pulsos da Agilent Co., modelo 81101A, uma resistência shunt de 50 Ω e um osciloscópio da Tektronix, modelo TDS 540A.

Ligou-se no gerador de pulsos uma espira com um raio de aproximadamente 100 mm, em série com uma resistência shunt para o casamento de impedâncias com o equipamento.

O transdutor comportou-se como um transformador, onde o enrolamento primário foi representado pela espira unitária ligada ao gerador de pulsos e o enrolamento secundário foi representado pelas espiras ao redor do núcleo representado pela ferrita.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O MCP apresentou sensibilidade média de (1,99±0,02) V/A linear, sendo capaz de reproduzir pulsos com duração de 3ns a 100ns, com taxa de amortecimento menor que 155,5%/µs. Para uma intensidade de campo magnético de 256 A/m, correspondente à saturação do transdutor de ferrita (Fig. 4), a garantia da não saturação do núcleo implicou na amplitude máxima do sinal de entrada de 4,7 A. O material apresentou uma densidade de fluxo remanente de 0,06 T.

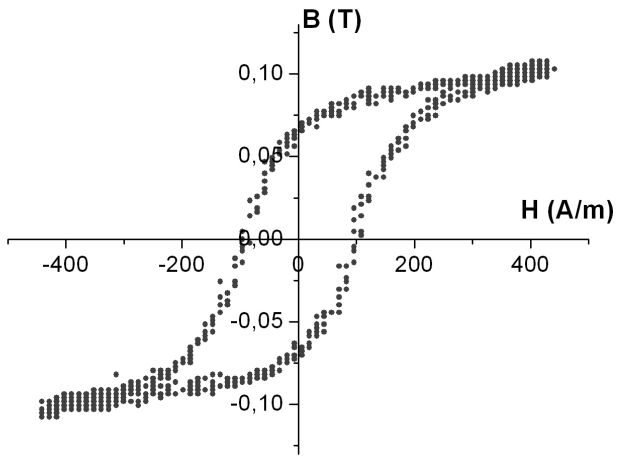

Fig. 4. Curva de histerese magnética do transdutor da ferrita.

Foram avaliados tempos de subida e descida de 5% a 50% do comprimento total do pulso original. O sinal do MCP apresentou um atraso de 6% em relação ao pulso da fonte [4]. A Fig. 5 mostra o sinal de um pulso de referência com amplitude de 200 mA e período de 100 ns, comparado com o reproduzido pelo MCP.

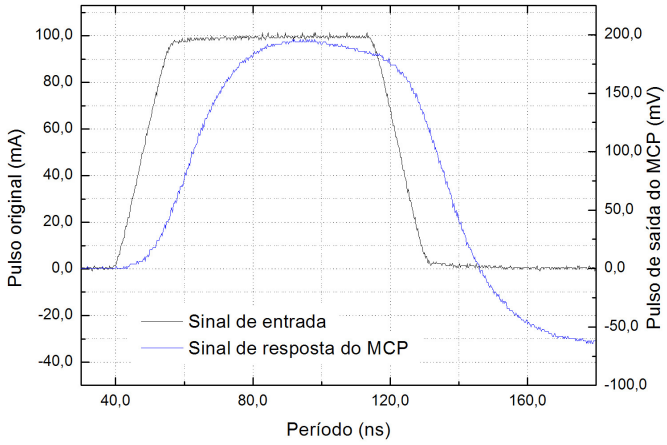

Fig. 5. Comparação entre o pulso de referência, gerado por uma fonte calibrada e o sinal de resposta do monitor de corrente.

O amortecimento do sinal do MCP ocorreu devido as freqüências que compõem essas regiões estarem acima das freqüências de operação dos componentes do circuito formador de pulso e pela remanência do material transdutor.

IV. CONCLUSÃO

O MCP construído foi capaz de reproduzir pulsos de até 100 nanossegundos com uma sensibilidade média de 1,99 V/A.

Devido à remanência do transdutor de 0,06 T e características dos componentes empregados na confecção do circuito formador de pulso, o sinal de saída do MCP apresentou um efeito de amortecimento.

Deve-se ressaltar que o MCP foi confeccionado de forma simplificada, com um mínimo de componentes no circuito formador de pulso. A qualidade do sinal reproduzido pode ser melhorada, por meio de ajustes nas dimensões do transdutor e nos componentes do circuito.

Em trabalhos futuros, espera-se produzir os MCP por meio de métodos de deposição de materiais em circuitos integrados [5].

REFERÊNCIAS

[1] General Electric Company, (Schenectady, NY). Janos Gyorgy Sarkozi e Nicole Andrea Evers. *Flexible current transformer for partial discharge detection in cables*. UK n. GB 2409584 A. 09 dez. 2004, 29 jun. 2005.

[2] Y. C. De Polli, A. C. C. Migliano, C. R. S. Stopa, S. I. Nabeta and J. R. Cardoso,"Finite element analysis of impedance of an electron beam current monitor," *IEEE Trans. Magn*., vol. 35, no. 3, 1833–1836, 1999.

[3] V. L. O. Brito. *Seleção, elaboração e caracterização de ferritas Ni-Zn para aplicação em monitores de corrente pulsada,* São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, tese de doutorado, 2007.

[4] V. L. O. Brito, A. C. C. Migliano, L. V. Lemos, and F. C. L. Melo. "Ceramic processing route and characterization of a Ni-Zn ferrite for application in a pulsed-current monitor", *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 91, pp. 303 – 318, 2009.

[5] D. Stoppels, "Developments in soft magnetic power ferrites", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 160, pp 323-328, 1996.