CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA REFRIGERAR DISPOSITIVOS DE TAMANHO REDUZIDO UTILIZANDO O EFEITO MAGNETOCALÓRICO

A. Dante (Bolsista CNPq) e Juan Carlos Paredes Campoy (Orientador)

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, IFGW, DFA

Financiamento: PIBIC - CNPq

Palavras-chave: Efeito Magnetocalórico – Dispositivos – Magnetismo

Resumo

Construímos um protótipo de refrigerador à base de Gadolínio para dispositivos de dimensões reduzidas utilizando o Efeito Magnetocalórico (EMC), o qual possibilita que materiais ferromagnéticos, como o Gadolínio, aumentem sua temperatura quando submetidos a um campo magnético externo, e de diminuí-la quando o campo é retirado, isto dentro de um ciclo termodinâmico. Nosso principal objetivo era que esse dispositivo pudesse, a nível de pesquisas, ser utilizado como base para a construção de um refrigerador magnético ativo (RMA). Utilizamos as técnicas disponíveis em nossos laboratórios para a confecção das peças e materiais necessários, das quais destacam-se a usinagem de metais e nylon, caracterização do Gadolínio por métodos magnéticos, projeto e construção de placas de circuito impresso, caracterização de ímãs permanentes, implementação de dispositivos virtuais em LabVIEW®, e medidas de temperatura utilizando termopares. As caracterizações revelaram que a variação de entropia magnética do disco de Gadolínio com a aplicação do campo magnético do ímã permanente utilizado refletiu numa diminuição de aproximadamente 0,3 K por ciclo ao redor da temperatura de Curie (T_C ~ 296 K), resultado esperado para uma pequena variação do campo magnético aplicado (ΔH ~ 0,13 T). Esta variação de temperatura pode ser utilizada em ciclos para retirar calor. Desta maneira, este sistema constitui um refrigerador magnético ativo não poluente, que não contribui para o aquecimento global.

Introdução

Este projeto teve como principal objetivo a construção e caracterização de um protótipo de refrigerador magnético à base de Gadolínio utilizando o Efeito Magnetocalórico (EMC). O EMC é a variação de temperatura ΔT_{ad} de um material magnético com a variação de um campo magnético externo ΔH. Em materiais ferromagnéticos a sua temperatura aumenta com a aplicação do campo magnético e volta à temperatura original com a retirada do campo, isto em condições adiabáticas. Para se pensar em aplicação doméstica do EMC para refrigeração procuram-se materiais específicos que tenham uma temperatura de ordenamento magnético próxima da temperatura ambiente, que é o caso do Gadolínio e outros materiais. O Gd possui temperatura de ordenamento magnético próxima da temperatura ambiente (~ 296 K) e possui alto EMC ($-\Delta S_{mag}$ ~ 9,6 J/kg K e ΔT_{ad} ~ 12 K para um campo aplicado ΔH = 5 T). Nesse sentido, propomos construir um dispositivo à base de Gd puro (99,9%), no qual utilizamos pequenas quantidades deste elemento, que trabalha a temperaturas próximas da ambiente. O grande interesse na refrigeração magnética deve-se a algumas vantagens sobre a refrigeração convencional, dentre elas [1]: a refrigeração magnética é teoricamente 20% a 30% mais eficiente que a convencional; reduz a utilização de combustíveis fósseis; não utiliza gases nocivos à camada de ozônio, como os CFC's.

[1] V. K. Pecharsky, "Thermodynamics of the magnetocaloric effect", Curso "O Efeito Magnetocalórico – Refrigeração Convecional e Magnética", 17 a 26/01/2005, IFGW, Unicamp, Brasil.

Teoria

O EMC pode ser medido diretamente ou pode ser obtido indiretamente através da medida de magnetização em função de campo e temperatura, ou do mesmo tipo de medida para o calor específico. As técnicas diretas sempre envolvem medição das temperaturas da amostra, T_0 e T_1, em campos magnéticos aplicados H_0 e H_1 e permitem apenas a medida de $\Delta T_{ad}(T)_{\Delta H}$, determinado como a diferença entre T_1 e T_0 para um dado T_0 e $\Delta H = H_1 - H_0$. As medidas diretas podem ser feitas usando técnicas de contato ou de não contato. No primeiro caso, o sensor de temperatura é colado diretamente na amostra, e no segundo caso, isso não acontece. A técnica indireta da medida de calor específico permite a determinação tanto de $\Delta T_{ad}(T)_{\Delta H}$ como de $\left|(\Delta S_{mag})_{\Delta H}\right|$ enquanto que a magnetização permite a obtenção apenas desta última.

A mudança de entropia no material, produzida pela variação de um campo magnético externo aplicado, pode ser descrita pela equação (1):

$$\Delta S_H = \int_0^H \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T dH \qquad (1)$$

Utilizando a relação de Maxwell, equação (2):

$$\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H = \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T \qquad (2)$$

na equação (1) podemos obter a variação de entropia em termos da derivada da magnetização em função da temperatura, equação (3):

$$\Delta S_H = \int_0^H \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H dH \qquad (3)$$

Para estimar a mudança de entropia a partir da equação (3) é necessário utilizar métodos numéricos. Por exemplo, a partir de medidas de magnetização a temperatura constante (isotermas), é possível aproximar a integral a uma somatória, sempre quando os intervalos de temperatura e campo magnético forem pequenos, equação (4):

$$\left|\Delta S_H\right| = \sum \frac{M_i - M_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} \Delta H_i \qquad (4)$$

Outra forma de aproximação numérica da equação (3) é de estimar a variação de entropia a partir de dados experimentais das curvas M(T) a campo magnético constante. No caso de pequenos intervalos de campo magnético, ΔS_H pode ser aproximada pela equação (5):

$$\left|\Delta S_H\right| = \frac{1}{2}\sum\left[\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{H_i} + \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{H_{i+1}}\right].(H_{i+1} - H_i) \qquad (5)$$

onde $(\partial M/\partial T)_{H_i}$ é a derivada da magnetização em função da temperatura, extraída das medidas experimentais, para os campos magnético H_i e H_{i+1}.

Experimental

A construção do protótipo foi dividida basicamente em duas partes: mecânica e eletrônica. A Figura 1 mostra um desenho de montagem da parte mecânica com seus respectivos componentes e uma foto do protótipo montado.

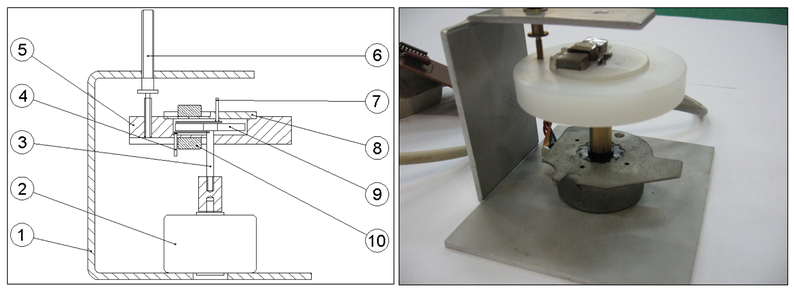

Figura 1. ***Esquerda*****: Desenho do protótipo montado (parte mecânica). 1 – Corpo; 2 – Motor de passo; 3 – Eixo de acoplamento; 4 – Coletor de calor inferior; 5 – Câmara; 6 – Eixo de sustentação; 7 – Coletor de calor superior; 8 – Tampa; 9 – Disco de Gadolínio; 10 – Ímãs.** ***Direita*****: Protótipo montado (parte mecânica).**

Neste protótipo, um motor de passo é acionado por um software [2] via porta paralela de um microcomputador. Acoplado ao eixo deste motor encontra-se um disco de Gadolínio que gira de acordo com velocidade do motor determinada pelo usuário do software. Esse disco gira dentro de um campo magnético aproximadamente uniforme, que só atua num setor de aproximadamente 120º do disco. Quando o disco gira, o setor que está sob a ação do campo magnético sofre um aumento de temperatura. Localizados bem próximos à superfície inferior e superior do disco, nesta região de campo magnético, estão dois coletores de calor, cuja função é drenar esse calor para fora do sistema. Quando um setor do disco abandona a região de campo magnético, a entropia magnética aumenta, diminuindo assim a temperatura, pois diminui a entropia da rede cristalina do material. Ao término do ciclo a temperatura do disco é menor que a temperatura inicial devido à que parte do calor foi drenado para fora do sistema através dos coletores de calor. A cada ciclo este processo se repete e o sistema funciona como um refrigerador magnético. Neste projeto, temos um campo magnético aproximado de 0,13 T, o que nos permite dizer que, em condições adiabáticas, teríamos um aumento máximo de temperatura do disco de Gd da ordem de 0,4 ºC ao redor do T_C ~ 296 K. Como nosso dispositivo trabalha num regime semi-adiabático o aumento de temperatura esperado deve ser menor que 0,4 ºC para cada ciclo.

A parte eletrônica é composta por duas placas de circuito impresso que fazem o controle do motor de passo e da aquisição da temperatura dos termopares, respectivamente.

[2] Controlador de motor de passo Lptmotor® v1.0 (freeware) , obtido em www.rogercom.com

A primeira controla o motor de passo através de um software no computador via porta paralela. A segunda contém um circuito compensador de junção fria utilizado para garantir a tensão de referência para os termopares do dispositivo. Esse circuito é ligado a um nanovoltímetro Keithley®, que é ligado ao computador via porta GPIB, e cuja aquisição das medidas de temperatura é efetuada de forma automática por um ***instrumento virtual*** **devidamente programado para este fim utilizando o LabVIEW®. Mediante a calibração dos termopares, a temperatura medida pode ser interpretada como a temperatura dos coletores de calor. A Figura 2 mostra o esquema de montagem dessas placas eletrônicas citadas.**

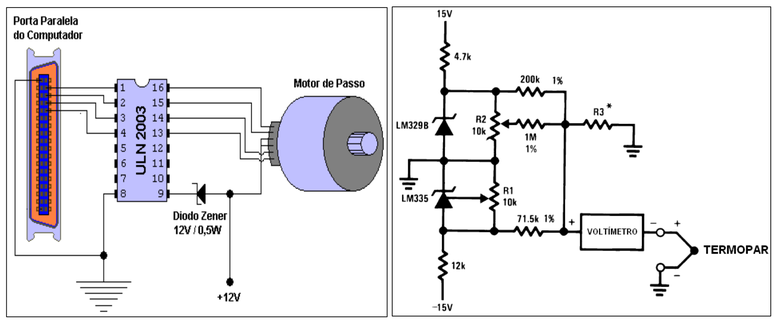

Figura 2. ***Esquerda*****: Esquema do circuito eletrônico da placa de controle do motor de passo.** ***Direita*****: Esquema do circuito compensador de junção fria dos termopares.**

Foram feitos alguns testes com o protótipo, nos quais as medidas de temperatura foram tomadas com intervalos de 2 segundos, deixando o dispositivo funcionar por 2 horas. A Figura 3 mostra dois gráficos de temperatura nos coletores de calor em função do tempo.

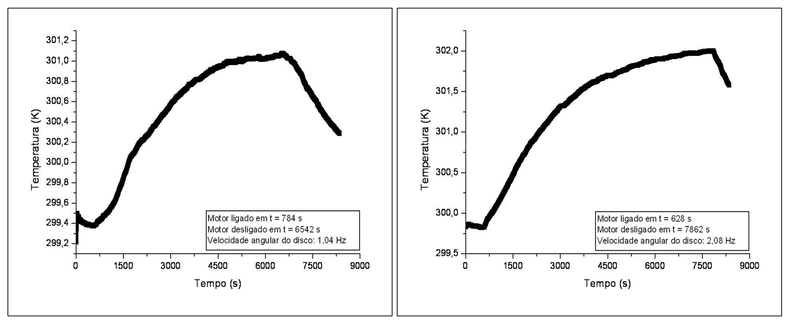

Figura 3. Gráficos de temperatura do sistema em função do tempo de funcionamento do protótipo.

Conclusão

Os testes foram feitos sem os coletores de calor, porque questões com relação à eficiência desses itens estão ainda sendo avaliadas, e por isso os resultados obtidos refletem um aquecimento do sistema, e não sua refrigeração. Porém, com os coletores devidamente instalados, podemos dizer que esse aquecimento pode ser drenado para fora do sistema, o que caracteriza um refrigerador magnético ativo, que pode ser aperfeiçoado com o uso de mecânica de precisão, diminuindo ainda mais seu tamanho e aumentando sua eficiência.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Sergio Gama pelas facilidades laboratoriais dadas ao nosso trabalho, ao CNPq e a Pró-Reitoria de Pesquisa (PRP) da UNICAMP, pelo financiamento.