

Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (2-40 GHz) Baseados em Ferrocarbonila

Nohara¹, E. L., Rezende², M. C.

Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, Taubaté – SP, CEP 12060-440

Divisão de Materiais/Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro Técnico Aeroespacial, Av. Brigadeiro Faria Lima, 1941, São José dos Campos – SP, CEP 12227-270

Resumo — Os Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) são utilizados no setor civil na resolução de problemas de compatibilidade e interferência eletromagnética (EMC/EMI) e no setor militar na redução de plataformas terrestres, aéreas e marítimas. O presente artigo apresenta resultados de absorção da energia da onda eletromagnética utilizando um centro absorvedor à base de ferrocarbonila (FC), um aditivo ferrimagnético que contém aproximadamente 95-99% de ferro e o restante em carbono e oxigênio, sendo caracterizados pela morfologia esférica. Os resultados mostram que a FC possui ressonância ferrimagnética em uma faixa ampla de frequências, entre 2 a 40 GHz, com potencial de utilização em frequências superiores e inferiores.

Palavras-chaves — Material Absorvedor de Radiação Eletromagnética, Ferrocarbonila, Ferrimagnetismo.

I. INTRODUÇÃO

A absorção da energia eletromagnética em materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) dielétricos ou magnéticos, ou a combinação de ambos, está ligada ao fenômeno da ressonância, relacionado com o mecanismo da interação onda/matéria [1,2]. O termo ressonância é comumente utilizado para denominar a faixa de frequências do espectro eletromagnético que o material apresenta absorção da onda eletromagnética.

Quando uma onda eletromagnética incide em um MARE, tanto dielétrico como magnético, as estruturas química e física do material possuem mecanismos internos que convertem a energia da onda eletromagnética em calor. Os mecanismos são distintos quando os materiais dielétricos e magnéticos são comparados, mas o resultado final dessa conversão é o mesmo para ambos os casos: calor [1,3].

Nas ferritas de microondas (material ferrimagnético), o mecanismo de absorção das ondas eletromagnéticas é mais complexo em relação aos materiais dielétricos. As ferritas apresentam perdas magnéticas e dielétricas, ou seja, valores de permeabilidade ($\mu_r = \mu_r' - j \mu_r''$) e permissividade ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j \epsilon_r''$) [1]. As perdas magnéticas estão relacionadas com o alinhamento e a rotação do spin de magnetização dentro dos domínios das ferritas [1,4].

Devido à série de eventos simultâneos que ocorre na estrutura da ferrita durante a interação com a onda eletromagnética, armazenamento e perdas dielétricas e magnéticas, não é possível isolar cada um em uma análise dos parâmetros complexos em função da frequência, devido à sobreposição dos fenômenos. Ao contrário dos materiais absorvedores puramente dielétricos, onde é possível

distinguir as curvas de perdas e armazenamento (Figura III.2), um gráfico relacionando os parâmetros permeabilidade e permissividade em função da frequência usualmente apresenta o comportamento descrito na Figura 1 [1,2,5].

Por definição [6], os valores reais de permissividade relativa (ϵ_r') e permeabilidade relativa (μ_r') sempre são maiores que 1. Um material que possui zero de perda dielétrica apresenta valores dos parâmetros complexos de permissividade $\epsilon_r' = 1$ e $\epsilon_r'' = 0$, ou seja, não armazena energia ($\epsilon_r' = 1$) e, conseqüentemente, não apresenta perdas ($\epsilon_r'' = 0$). O mesmo é válido para a permeabilidade, um material com zero de perdas magnéticas: $\mu_r' = 1$ e $\mu_r'' = 0$.

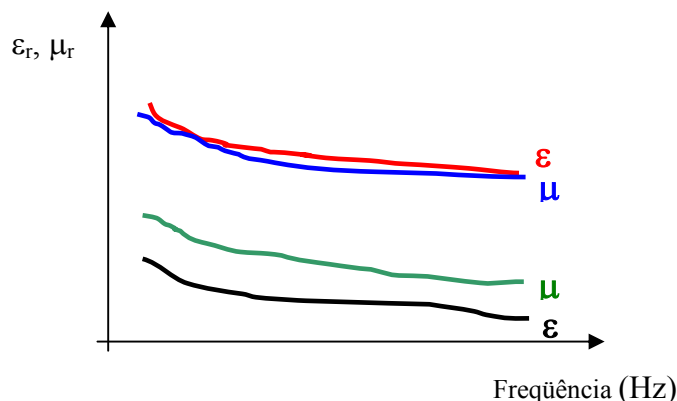


Figura 1. Perfil dos valores complexos de permissividade (ϵ_r) e permeabilidade (μ_r) em função da frequência para uma ferrita de microondas [1,6].

Os absorvedores magnéticos são obtidos principalmente pelo uso de ferritas ou outros materiais magnéticos, pelo fato desses aditivos favorecerem a absorção de radiação na faixa de microondas, como apresentado na literatura [7]. De maneira similar aos absorvedores dielétricos, o processamento dos absorvedores magnéticos é realizado pela incorporação de partículas magnéticas em uma base polimérica, tipos: poliisopreno, neopreno, nitrilas, silicone, uretano, fluoroelastômeros, epóxi, silicones, entre outras [8]. As variações da permissividade relativa ϵ_r e da permeabilidade relativa μ_r de uma ferrita típica, em altos valores de frequência, são apresentadas na Figura 2, a qual mostra que a permissividade permanece praticamente constante em uma larga faixa de frequências. Entretanto, μ_r

varia sensivelmente, diminuindo seus valores com o aumento da frequência, podendo ainda, variar com a composição química das ferritas [9].

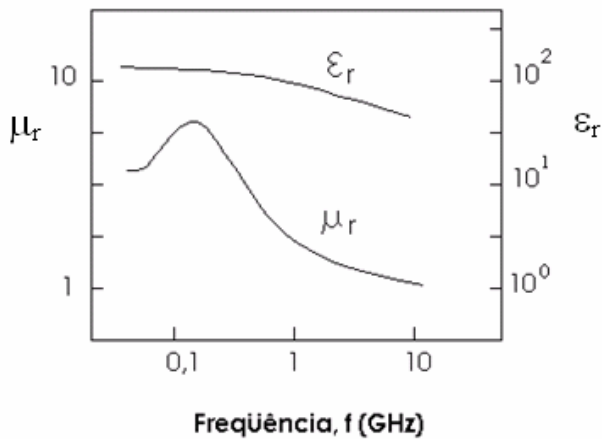


Figura 2. Variação de ϵ_r e de μ_r de uma ferrita típica com a frequência [9].

As prováveis variações do comportamento observado na Figura 2 é que vão definir o potencial de aplicação de uma determinada ferrita como centro absorvedor de radiação, ou seja, as variações de sua permissividade, sua permeabilidade e, conseqüentemente, a sua impedância com a frequência são os parâmetros que explicam porque determinados aditivos são mais eficientes que outros no processamento de um MARE.

A ferrocarbonila (FC) é um aditivo magnético baseado em ferro (99% em massa) e carbono (1% em massa), com morfologia esférica (Figura 3). A FC é utilizada em diversas aplicações, como suplemento alimentar, fluídos magneto-reológicos, abrasivo em ferramentas, tintas para impressão, matéria-prima para confecção de peças por metalurgia do pó, componentes eletrônicos e materiais absorvedores de radiação eletromagnética. A ferrocarbonila (FC) é preparada a partir da ferropentacarbonila, composto com fórmula $\text{Fe}(\text{CO})_5$, sendo um líquido com cor amarelada com ponto de ebulição igual a 103 °C. A ferropentacarbonila é preparada a partir da reação de finas partículas de ferro com monóxido de carbono (CO).

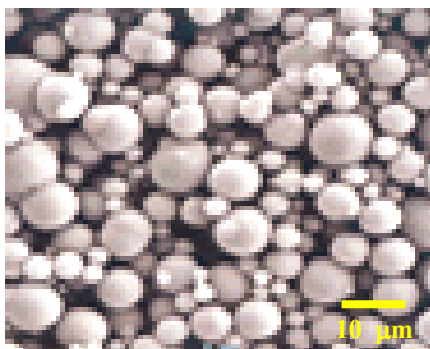


Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura de partículas de ferrocarbonila.

A síntese da ferrocarbonila é realizada pela decomposição térmica da ferropentacarbonila, onde-se obtém as partículas esféricas de ferrocarbonila. As partículas de ferrocarbonila possuem uma estrutura do tipo cebola, com regiões compostas por Fe- α e regiões por Fe_xN e Fe_xC, sendo as duas últimas regiões com caráter dielétrico. O tamanho do domínio magnético das ferrocarbonilas é de aproximadamente 0,01 μm , inferior aos domínios magnéticos das hexaferritas, cujos valores estão entre 0,1 a 1,0 μm . Uma das vantagens das ferrocarbonilas em relação às ferritas de microondas é a sua termoestabilidade, estáveis até aproximadamente 300°C, cerca de 100°C superior em relação às ferritas de microondas [10].

MATERIAIS E MÉTODOS

A formulação do MARE foi obtida a partir de partículas de ferrocarbonila fornecida pela empresa BASF e resina epóxi do tipo Araldite. A caracterização eletromagnética do material obtido foi realizada no Laboratório de Caracterização Eletromagnética do Institute of Radio Engineering and Electronics (Academy of Sciences), na cidade de Fryazno – Rússia, utilizando um analisador de redes escalar (1 GHz – 70 GHz).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico da Figura 4 relaciona o coeficiente de reflexão do MARE obtido (incidência normal do sinal – condição monoestática), com 2,0 mm de espessura, e caracterizado sobre uma placa metálica, na faixa de frequências de 8-12 GHz. Pode-se observar que o MARE apresenta o máximo de absorção da ordem de -20 dB em 10 GHz, isto significa uma atenuação de 99,0 % da energia da onda eletromagnética.

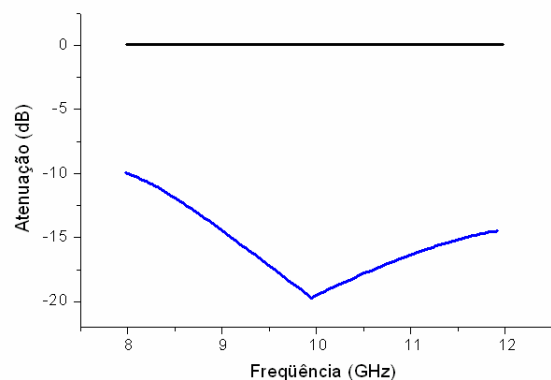


Figura 4. Coeficiente de reflexão do MARE obtido (8 - 12 GHz) com 2 mm de espessura

O comportamento da curva de absorção apresenta um perfil em V, mostrando que a absorção é menor nos extremos de frequência na banda X, em torno de -10 dB em 8 GHz (90,0 % de atenuação) e -15 dB em 12 GHz (96,8%). A potência do sinal incidente no MARE na caracterização eletromagnética no guia de onda foi calculada em aproximadamente +10 dBm (10 mW), sendo que a curva de absorção do MARE (Figura 4) se mantém constante em função do tempo de exposição ao sinal. Além disso, desde a

obtenção do material em junho de 2000, o material não apresenta alteração nas suas características de absorção da radiação eletromagnética.

Com uma espessura maior é possível colocar uma maior quantidade de centros absorvedores, assim, é observada uma absorção maior. A Figura 5 relaciona a curva de absorção do MARE obtido com 3,0 mm de espessura, colocado sobre uma placa metálica. Pode-se observar que o máximo da absorção permanece em 10 GHz, com -43 dB de absorção máxima (99,995 %).

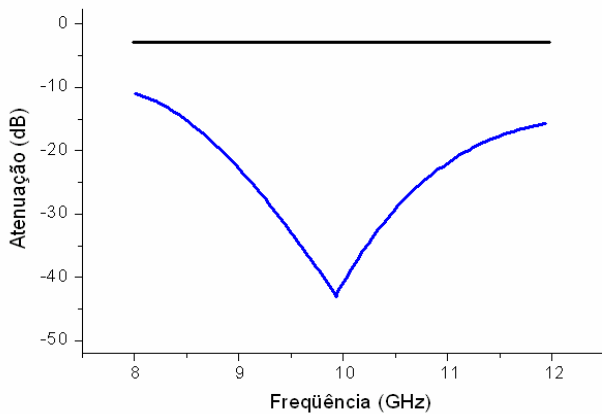


Figura 5. Coeficiente de reflexão do MARE obtido (8 - 12 GHz) com 3 mm de espessura.

O gráfico da Figura 6 relaciona o coeficiente de reflexão do MARE obtido com 2 mm de espessura, caracterizado sobre uma placa metálica, na faixa de freqüências de 1,2-40 GHz. Pode-se observar que o MARE apresenta o máximo de absorção da ordem de -20 dB em 10 GHz, ou seja, o mesmo comportamento observado no gráfico da Figura 4. O MARE possui absorção em toda a faixa medida, sendo que em 40 GHz a atenuação está na ordem de - 2,5 dB (43 %), e -1,0 dB em 1,2 GHz (20 %). Na faixa de freqüências compreendida entre 3 GHz e 28 GHz, a absorção mínima é de - 3,0 dB (50%).

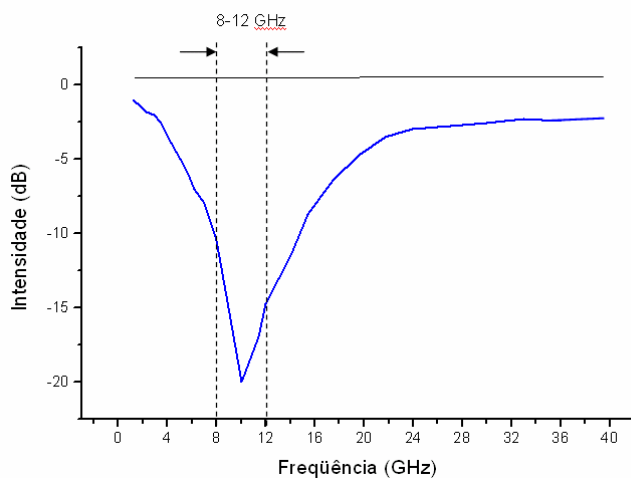


Figura 6. Coeficiente de reflexão do MARE obtido (2 - 40 GHz) com 2 mm de espessura.

CONCLUSÕES

As partículas de ferrocarbonila possuem mecanismos internos para absorção da energia da onda eletromagnética em uma ampla faixa de freqüências (2-40 GHz), podendo ser ajustada a concentração dos centros absorvedores no MARE para ajustar a absorção desejada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Processo no. 98/15839-4), CNPq (Processo No. 303528/2003-6), FINEP (01757/03) e ao Comando da Aeronáutica.

REFERÊNCIAS

- [1] MIKHAILOVSKY, L. K. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPIN-ELECTRONICS AND GYROVECTOR ELECTRODYNAMICS, 8, 1999, Firsanovka. **Radioabsorbing currentless (spin) media, materials and coatings**. Rússia: Moscow Power Engineering Institute, 1999. 7 p.
- [2] KAZANTSEVA, N. E.; et al. INTERNATIONAL CONFERENCE ON CURRENTLESS SPIN-ELECTRONICS, 6, 1997, Firsanovka. **Control of electrodynamic and mechanical properties of highly filled magnetic fibers by changing processing conditions**. Rússia: Moscow Power Engineering Institute, 1997. p. 10.
- [3] BALAGEAS, D.; LEVESQUE, P. E. A Photothermal Tool for Electromagnetic Phenomena Characterization. *Rev. Gén. Therm.*, v. 37, p. 725-739, 1998.
- [4] LAX, B.; BUTTON, K. J. **Microwave Ferrites and Ferrimagnetics**. McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962.
- [5] ASTAHOV, M. V. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPIN-ELECTRONICS AND GYROVECTOR ELECTRODYNAMICS, 8, 1999, Firsanovka. **Resonance attenuation of electromagnetic wave by fine magnetic particles**. Rússia: Moscow Power Engineering Institute, 1999. 7 p.
- [6] CHEPARIN V. P.; et al. PROCEEDINGS OF XI ICMF. Moscow. **Magneto-oneaxial hexaferrites as filling for currentless radioabsorbing materials**. v. 5, p.78-80, 1992.
- [7] JOHNSON, R. N. **Radar-Absorbing Material: A Passive Role in an Active Scenario**. The International Countermeasure Handbook. Palo Alto, 1992. 11. ed.
- [8] LEE, S. M. **International Encyclopedia of Composites**, VCH Publishers, 1991. v. 5.
- [9] KNOTT, E. F.; SHAEFFER, J. F.; TULEY, M. T. **Radar cross section, its prediction, measurement and reduction**. Artech House, Inc., 1985, p. 297.
- [10] NOHARA, E. L. **Produção e Caracterização Eletromagnética de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética**. Institute of Radioengineering and Electronics – Academy of Sciences. Fryazno, Rússia. Estágio técnico realizado durante o doutorado sanduiche, Fevereiro-Abril, 2002.