

APLICAÇÃO DE SUPERFÍCIES SELETIVAS DE FREQUÊNCIA EM RADOMES DIELÉTRICAS PARA ANTENAS DE MICROONDAS

A. Luiz Pereira de Siqueira Campos¹, A. Gomes d'Assunção², M. Antonio Barbosa de Melo¹.

¹Universidade Federal da Paraíba – Departamento de engenharia Elétrica
Caixa Postal 10105; CEP 58109-090; Campina Grande, PB

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de engenharia Elétrica
Caixa Postal 1655; CEP 59072-970; Natal, RN

RESUMO

A análise de radomes que utilizam superfícies seletivas de frequência entre duas camadas dielétricas é apresentada. A radome é definida como sendo uma estrutura periódica composta por uma placa condutora, perfurada periodicamente por aberturas, colocada entre as camadas dielétricas. A análise utiliza o método dos momentos combinado com o método da imitância, no domínio espectral, para determinar as características de espalhamento das estruturas analisadas. Foram analisadas radomes que operam na faixa de frequência de antenas comerciais.

1. INTRODUÇÃO

Em antenas, radomes são usadas para reduzir a carga de vento em torres e fornecer uma proteção para os alimentadores das antenas [1]. Uma alternativa existente para as radomes tradicionais é a radome dielétrica [2]. Neste tipo de radome, superfícies seletivas de frequência podem ser incluídas para fornecer características passa-faixa [3]. Em outras palavras, para a frequência de operação da antena o sinal passa através da radome com um mínimo de perdas de inserção e fora da banda o sinal é refletido. Esse trabalho analisa algumas superfícies seletivas de frequência (SSF) que podem ser usadas como radomes passa-faixa para antenas de microondas. São considerados dois tipos de geometria na análise, a abertura retangular e a abertura do tipo dipolo cruzado [4], [5]. A formulação matemática completa foi apresentada em trabalhos anteriores [6], [7]. Ela utiliza o método dos momentos combinado com o método da imitância, no domínio espectral, para determinar as características de espalhamento das estruturas analisadas [8]. Como exemplos práticos, foram consideradas antenas de microondas fabricadas pela Andrew. O objetivo desse trabalho é analisar o comportamento de radomes com superfícies seletivas de frequência para antenas de microondas.

2. RADOMES

Radomes reduzem a carga de vento na torre enquanto fornecem uma proteção extra para os alimentadores das antenas. Há dois tipos de radomes: as flexíveis e as moldadas. As radomes flexíveis são fixadas e tensionadas através da abertura da blindagem. As radomes moldadas são parafusadas diretamente na borda do refletor. Há ainda a radome pré-tensionada que é parafusada em um anel de suporte e ambos são parafusados na borda do refletor [2].

As radomes podem ser planas ou curvas, conforme mostrado na Fig. 1. Este trabalho propõe a substituição das radomes planas convencionais por radomes constituídas por materiais dielétricos

nos quais, seriam impressas superfícies seletivas de frequência. Radomes dielétricos podem ser construídos como uma fina membrana, sólidos laminados ou como multicamadas [3]. Em todos os casos é possível a inserção da superfície seletiva de frequência.

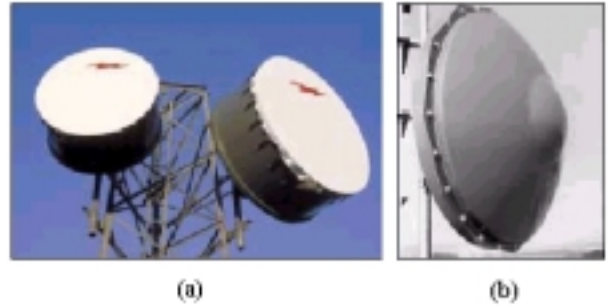


Figura 1. Geometrias de radomes: (a) Radome plana flexível e (b) radome curva moldada.

Além de fornecer todas as vantagens que as radomes tradicionais oferecem, a radome com SSF ainda opera como um filtro passa-faixa que trabalha na faixa de operação da antena. Além disso, esse tipo de radome é de fácil fabricação e possui custo e peso reduzidos.

3. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO E DE REFLEXÃO

A estrutura analisada nas simulações é mostrada na Fig. 2(c). Ela é composta de um arranjo periódico de aberturas entre duas camadas dielétricas. Para o caso de uma SSF usando elementos do tipo *patch*, as equações dos coeficientes de reflexão e de transmissão são dados, respectivamente, por [6]:

$$R_{mn}^{TE} = \frac{j \left(\beta_{mn} \tilde{E}_{x_{total}}^+ - \alpha_{mn} \tilde{E}_{y_{total}}^+ \right)}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2)} \quad (1)$$

$$R_{mn}^{TM} = \frac{\omega \epsilon_0}{\gamma_{mn}} \frac{\alpha_{mn} \tilde{E}_{x_{total}}^+ + \beta_{mn} \tilde{E}_{y_{total}}^+}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2)} \quad (2)$$

$$T_{mn}^{TE} = \frac{j \left(\beta_{mn} \tilde{E}_{x_{total}}^- - \alpha_{mn} \tilde{E}_{y_{total}}^- \right)}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2)} \quad (3)$$

$$T_{mn}^{TM} = \frac{\omega \epsilon_0}{\gamma_{mn}} \frac{\alpha_{mn} \tilde{E}_{x\text{total}}^- + \beta_{mn} \tilde{E}_{y\text{total}}^-}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2)} \quad (4)$$

Os campos elétricos totais em (1) – (4), são encontrados como se segue [3]:

$$\tilde{E}_{(x,y)\text{total}}^+ = \tilde{E}_{S(x,y)}^t + E_{(x,y)}^r \delta_{mn} \quad (5)$$

$$\tilde{E}_{(x,y)\text{total}}^- = \tilde{E}_{S(x,y)}^b + E_{(x,y)}^t \delta_{mn} \quad (6)$$

Em (5) e (6), E^r e E^t são os campos elétricos refletidos e transmitidos na ausência do anteparo SSF, respectivamente. Estas componentes de campos são adicionadas aos campos totais somente quando $m = n = 0$ como indicado pelo delta de Kronecker, δ_{mn} . Finalmente, \tilde{E}_s^t e \tilde{E}_s^b são os campos espalhados no topo e na base da estrutura SSF, respectivamente [3].

Substituindo (5) e (6) em (1) – (4), os parâmetros de espalhamento são rescritos como:

$$R_{mn}^{TE} = \frac{j \left(\beta_{mn} \left(\tilde{E}_{S_x}^t + \tilde{E}_x^r \delta_{mn} \right) - \alpha_{mn} \left(\tilde{E}_{S_y}^t + \tilde{E}_y^r \delta_{mn} \right) \right)}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2)} \quad (7)$$

$$R_{mn}^{TM} = \frac{- \left(\alpha_{mn} \left(\tilde{E}_{S_x}^t + \tilde{E}_x^r \delta_{mn} \right) + \beta_{mn} \left(\tilde{E}_{S_y}^t + \tilde{E}_y^r \delta_{mn} \right) \right)}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2) \gamma_{mn} / \omega \epsilon_0} \quad (8)$$

$$T_{mn}^{TE} = \frac{j \left(\beta_{mn} \left(\tilde{E}_{S_x}^b + \tilde{E}_x^t \delta_{mn} \right) - \alpha_{mn} \left(\tilde{E}_{S_y}^b + \tilde{E}_y^t \delta_{mn} \right) \right)}{\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2} \quad (9)$$

$$T_{mn}^{TM} = \frac{- \left(\alpha_{mn} \left(\tilde{E}_{S_x}^b + \tilde{E}_x^t \delta_{mn} \right) + \beta_{mn} \left(\tilde{E}_{S_y}^b + \tilde{E}_y^t \delta_{mn} \right) \right)}{(\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2) \gamma_{mn} / \omega \epsilon_0} \quad (10)$$

onde

$$\gamma_{mn} = \sqrt{\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2 - k_0^2} \quad (11)$$

$$\delta_{mn} = \begin{cases} 1 & \text{se } m = n = 0 \\ 0 & \text{se } m \neq n \end{cases} \quad (12)$$

$$\alpha_{mn} = \frac{2\pi m}{t_x} + k_0 \text{sen}(\theta) \cos(\phi) \quad (13)$$

$$\beta_{mn} = \frac{2\pi n}{t_y \text{sen}(\Omega)} - \frac{2\pi m}{t_x} \cot(\Omega) + k_0 \text{sen}(\theta) \text{sen}(\phi) \quad (14)$$

Nas equações (13) e (14), t_x e t_y são as periodicidades nas direções x e y , respectivamente. Os ângulos θ e ϕ são os ângulos de incidência. Ω é o ângulo de defasagem entre as células. Estes parâmetros são mostrados na Fig. 2.

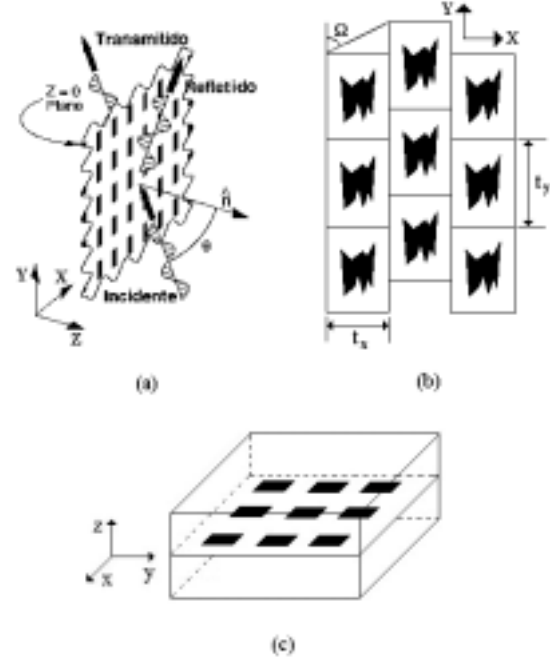


Figura 2. Geometria de SSF: (a) onda plana incidente, (b) Arranjo triangular e (c) SSF entre camadas dielétricas.

4. RESULTADOS NUMÉRICOS

A faixa de frequência considerada nesse trabalho foi a de microondas. Houve uma preocupação de analisar radomes que trabalhassem dentro de faixas de frequências utilizadas em antenas comerciais. Para isso, foram tomadas como exemplo algumas antenas da linha Valuline® da Andrew. As antenas, bem como, alguns de seus dados, estão listados na Tabela 1, dada abaixo [2].

ANTENA	BANDA DE OPERAÇÃO	DIÂMETRO	GANHO (dBi)
VHP2-71W	7,125 – 8,5 GHz	60 cm	30,4
VHP6-142	14,25 – 15,35 GHz	1,80 m	46
VHP4-1823	17,7 – 19,7 GHz	1,20 m	44,2
VHP2-240W	24,25 – 29,5 GHz	60 cm	41,3

Tabela 1. Antenas utilizadas nas simulações.

Radomes passa-faixa são mais apropriadamente construídas de um ou mais anteparos metálicos colocados entre camadas dielétricas [3]. Estes anteparos são perfurados em um padrão regular de tal forma que para a frequência de ressonância projetada, aproximadamente 100% da energia incidente é

transmitida através da estrutura. Na essência, estes anteparos comportam-se como filtros passa-faixa para as antenas colocadas atrás deles. As camadas dielétricas podem ser anisotrópicas uniaxiais. Perdas dielétricas e condutoras foram desprezadas nas simulações.

Resultados para SSF usando elementos do tipo abertura foram obtidos a partir de SSFs usando elementos do tipo patch por meio do princípio de Babinet [9], mostrado em (14) e (15):

$$T_{\text{patches}} = -R_{\text{abertura}} \quad (15)$$

$$R_{\text{patches}} = -T_{\text{abertura}} \quad (16)$$

As geometrias consideradas nas simulações foram, a abertura retangular e o dipolo cruzado. Elas estão mostradas na Figura 3.

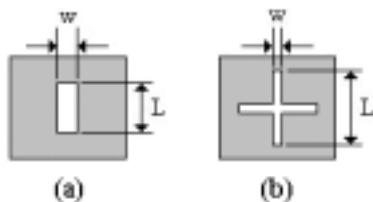


Figura 3. Elementos considerados: (a) abertura retangular e (b) abertura do tipo dipolo cruzado.

A Fig. 4 mostra a potência refletida e transmitida através de uma radome constituída de uma superfície seletiva de frequência, composta por um arranjo triangular de aberturas do tipo dipolos cruzados, entre duas camadas de PBN ($\epsilon_{xx} = 3,4$ e $\epsilon_{zz} = 5,12$). Esta radome pode ser usada na blindagem do modelo VHP2-71W. A estrutura apresenta uma frequência de ressonância igual a 8,0625 GHz e largura de banda variando de 7,125 GHz a 8,525 GHz.

A Fig. 5 mostra a potência refletida e transmitida através de uma radome constituída de uma superfície seletiva de frequência, composta por um arranjo retangular de aberturas do tipo dipolos cruzados, entre duas camadas de PTFE ($\epsilon_r = 2,2$). A radome analisada pode ser usada na blindagem do modelo VHP6-142. A estrutura apresentou uma frequência de ressonância igual a 15 GHz e largura de banda variando de 14 GHz a 15,4 GHz.

A radome analisada na Fig. 6 usa um arranjo retangular, de aberturas retangulares, entre duas camadas de quartzo ($\epsilon_r = 3,78$). A radome analisada pode ser utilizada na blindagem do modelo VHP4-1823. A estrutura apresentou uma frequência de ressonância igual a 19 GHz e largura de banda variando de 17,5 GHz a 19,8 GHz.

A radome analisada na Fig. 6 usa um arranjo retangular, de aberturas retangulares, entre duas camadas de PTFE ($\epsilon_r = 2,2$). A radome analisada pode ser utilizada na blindagem do modelo VHP2-240W. A estrutura apresentou uma frequência de ressonância igual a 28 GHz e largura de banda variando de 24,25 GHz a 29,75 GHz.

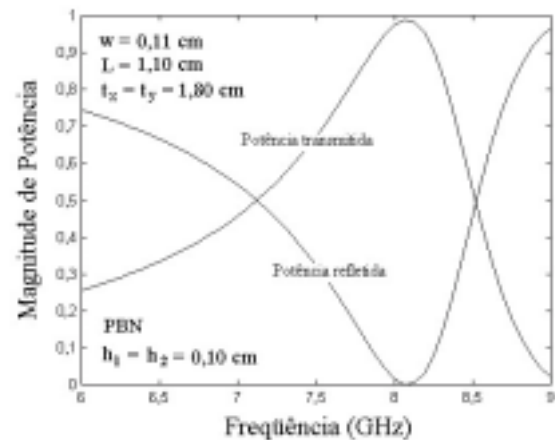


Figura 4. Potência refletida e transmitida através de uma radome que opera na faixa de frequência da antena VHP2-71W.

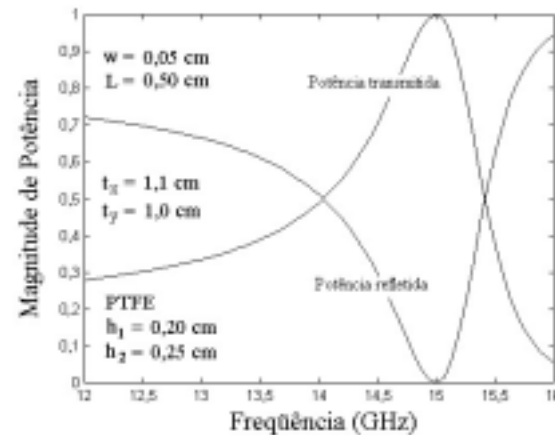


Figura 5. Potência refletida e transmitida através de uma radome que opera na faixa de frequência da antena VHP6-142.

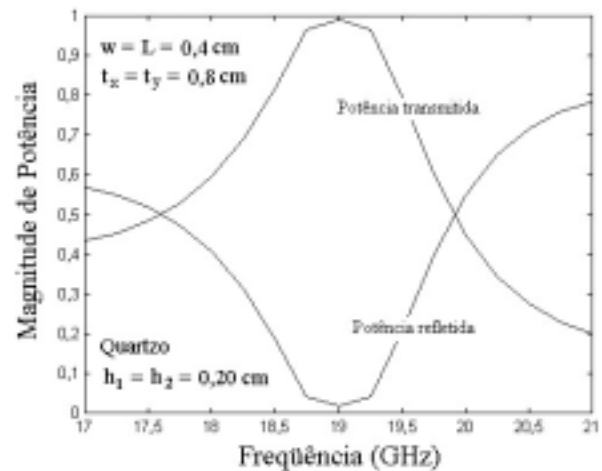


Figura 6. Potência refletida e transmitida através de uma radome que opera na faixa de frequência da antena VHP4-1823.

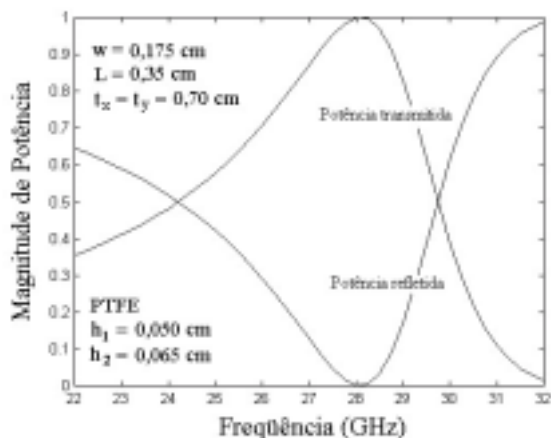


Figura 7. Potência refletida e transmitida através de uma radome que opera na faixa de frequência da antena VHP2-240W.

5. CONCLUSÕES

As características de transmissão e de reflexão de radomes com superfícies seletivas de frequência entre duas camadas, foram analisadas no domínio espectral. Os resultados foram obtidos em função das dimensões físicas e das características dos materiais dielétricos usados na estrutura. Foram analisadas radomes que operam em faixas de frequência de antenas comerciais, da Andrew. Redes neurais ou algoritmos genéticos podem ser empregados na síntese das radomes e as mesmas podem ser analisadas pelo método descrito neste trabalho, o que garante uma maior segurança de projeto.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Radome network home page for dielectric radomes, <http://www.radome.net/>
- [2] Andrew web page, <http://www.andrew.com/catonline>
- [3] T. K. Wu, *Frequency Selective Surfaces and Grid Arrays*, John Wiley and Sons, 1995.
- [4] F. B. Gross, "Reflection from an array of conducting plates using edge-mode current densities", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, AP-43, (1995), 1333-1335.
- [5] C. H. Tsao and R. Mittra, "Spectral domain analysis of frequency selective surfaces comprised of periodic arrays of cross dipoles and Jerusalem crosses", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, AP-32, (1984), 478-486.
- [6] A. L. P. S. Campos e A. G. d'Assunção, "Propriedades de superfícies seletivas de frequência com perdas dielétricas", Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Gramado, RS, Brasil, 3 a 6 de Setembro de 2000.
- [7] A. L. P. S. Campos e A. G. d'Assunção, "Espalhamento em estruturas periódicas de aberturas retangulares sobre camadas anisotrópicas uniaxiais", Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Gramado, RS, Brasil, 3 a 6 de Setembro de 2000.
- [8] T. Itoh, "Spectral domain immittance approach for dispersion characteristics of generalized printed transmission lines", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-28 (1980), 733-736.

- [9] R. Mittra, R. C. Hall, e C. H. Tsao, "Spectral-domain analysis of circular patch frequency selective surfaces", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, AP-32, (1984), 533-536.