

ANÁLISE DE UMA ANTENA ARRAY DE CORNETAS SETORIAIS PLANO-E USANDO-SE O MÉTODO FDTD

Carlos Leonidas da S.S. Sobrinho e Ronaldo O. dos Santos

Universidade Federal do Pará (UFPA), Departamento de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação, CEP: 66075-900, Cx. Postal 8619, Belém, PA

e-mail: ronaldooliveira_2000@yahoo.com.br e sobrinho@supridados.com.br

Resumo — O método FDTD é usado na análise das características de irradiação de uma antena array unidimensional. Aqui os elementos do array são cornetas setoriais plano-E bidimensional com e sem lentes dielétricas parabólicas. Neste caso, o material dielétrico utilizado foi escolhido de forma a ter baixa constante dielétrica para que pequenas reflexões ocorram na interface ar-dielétrico. Os resultados numéricos obtidos mostram que a distância entre os elementos do array assim como as características da lente mudam a distribuição de fase e potência na abertura dos elementos do array. Para uma escolha apropriada desses parâmetros, diagramas de irradiação são obtidos com baixo nível de lóbulos laterais.

Palavras chaves — Método FDTD, antenas cornetas, lentes dielétricas, array.

I- INTRODUÇÃO

Em muitas aplicações de interesse é necessário projetar antenas com características mais diretivas (altos ganhos) para a realização de comunicação à longas distâncias. Uma das formas de se conseguir isto, é através das antenas array. Neste paper uma antena array de cornetas setorial plano-E com e sem lentes dielétricas será analisada pelo método das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD).

O método FDTD foi introduzido por Yee em 1966 [1], e representa uma forma simples e eficiente de resolver as equações de Maxwell quando escritas na forma diferencial-domínio do tempo. Na proposta de Yee, as componentes do campo elétrico e magnético são intercaladas no espaço e no tempo, de tal forma que haja reciprocidade entre elas.

O método FDTD foi inicialmente usado para modelar o espalhamento de ondas eletromagnéticas de objetos. Depois, após o desenvolvimento de técnicas para incluir fontes dentro da grade computacional, o método foi usado para modelar estruturas radiantes. A primeira antena analisada com o método FDTD foi uma antena monopolo, cilíndrica e cônica, no espaço livre [2]. A excelente concordância entre os resultados obtidos por FDTD e os dados medidos para essa antena simples, mostram o potencial do método para modelamento de antenas.

Em 1991, Katz et al. [3] usaram o método FDTD para analisar antenas cornetas em duas e três dimensões. Um ano mais tarde, Tirkas e Balanis [4] também modelaram antenas cornetas 3-D. Em 1994, Tirkas e Balanis [5] estenderam o

método FDTD (*contour-path*) e o usaram para analisar cornetas piramidais. Reig et al. [6] recentemente analisaram a antena corneta setorial plano-E usando a técnica *cell-splitting* descrita por Mezzanotte et al. [7]. Em [8-9] o método FDTD é usado para analisar antenas cornetas setoriais plano-E e plano-H, com lentes dielétricas. O uso de lentes dielétricas para corrigir a distribuição de fase e/ou da potência na abertura de antena corneta é bastante comum. Em [10], resultados experimentais, para lentes triangulares, têm sido apresentados, considerando-se lentes com baixo índice de refração. O principal objetivo desse trabalho é analisar o comportamento do campo distante de uma antena array de cornetas setoriais plano-E quando a distância entre os seus elementos é variado. A análise é feita em três partes: Na primeira parte, analisa-se campos próximos e distantes, sem levar em conta o acoplamento entre os elementos da antena. Na segunda parte, considerando o acoplamento entre os elementos da antena analisa-se seus diagramas de irradiação. Na última parte, verifica-se o efeito das lentes dielétricas e da distância entre os elementos do array no diagrama de irradiação da antena.

II. FORMULAÇÃO FDTD

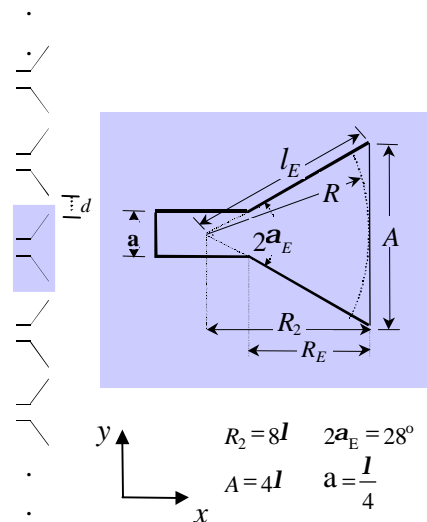


Fig. 1- Corneta setorial plano-E com um array de cornetas unidimensional.

A antena array de cornetas setoriais plano- E com abertura de 14° foi analisada usando-se o método FDTD. Na Fig.1 mostra-se a seção transversal do array, onde as dimensão geométricas de cada antena correspondem a condição de máxima diretividade (condição ótima).

Neste trabalho, utilizou-se o modo TE para a análise da antena array de cornetas setoriais. Para este caso, as componentes dos campos são (E_x , E_y e H_z) as quais podem ser escritas na forma discretizada por FDTD como:

$$H_{z(I,J)}^{n+\frac{1}{2}} = H_{z(I,J)}^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\delta} \left\{ \frac{1}{\Delta x} [E_{y(I+1,J)}^n - E_{y(I,J)}^n] - \frac{1}{\Delta y} [E_{x(I,J+1)}^n - E_{x(I,J)}^n] \right\}, \quad (1)$$

$$E_{x(I,J)}^{n+1} = E_{x(I,J)}^n + \frac{\Delta t}{\delta} \left\{ \frac{1}{\Delta y} [H_{z(I,J)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{z(I,J-1)}^{n+\frac{1}{2}}] \right\}, \quad (2)$$

$$E_{y(I,J)}^{n+1} = E_{y(I,J)}^n - \frac{\Delta t}{\delta} \left\{ \frac{1}{\Delta x} [H_{z(I,J)}^{n+\frac{1}{2}} - H_{z(I-1,J)}^{n+\frac{1}{2}}] \right\}, \quad (3)$$

onde E_x e E_y representam as componentes do vetor intensidade de campo elétrico e H_z a componente do vetor intensidade de campo magnético; μ é a permeabilidade magnética, ϵ é a permissividade elétrica; I e J representam os endereços das células e n a iteração no tempo; δ_x , δ_y e δ_t são os incrementos espaciais e temporais. Na discretização da região de interesse utilizou-se uma malha uniforme bidimensional (310x250) com células de dimensões, no espaço, de $\lambda/20$ por $\lambda/20$ e no tempo $\Delta t \leq \Delta x / 2c$, obedecendo o critério de estabilidade sugerido por Courant et al. em [11]. Como função de excitação usou-se o pulso gaussiano modulado em seno dado por:

$$f(t) = 1,484 \text{ sen}[2\pi f_c t] e^{[-(t-3t_0)^2 / (t_0)^2]}, \quad (4)$$

onde: $\tau_0 = [\pi(f_h - f_c)]^{-1}$; $f_h = 15$ GHz; $f_c = 10$ GHz; $\Delta t = \lambda / (40.c)$; $c = 2.99792458 \times 10^8$ m/s; e $t = n \cdot \Delta t$. Sendo, esta fonte, posicionada à $\lambda/4$ da parte traseira do guia. As paredes inclinadas de cada elemento da antena array foram construídas utilizando-se o perfil degrau como mostra a Fig.2

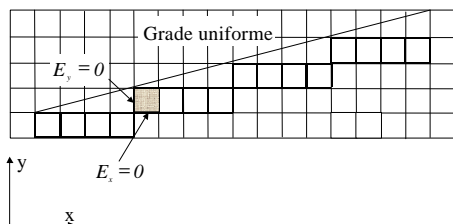


Fig.2- Modelamento degrau das paredes metálicas da corneta. Usando quatro células em x por uma células em y , para simulação de uma parede de 14° de inclinação.

Para limitar o domínio computacional utilizou-se como condição de contorno absorvente a PML anisotrópica uniaxial [12]. Os resultados de campo distante foram obtidos pela transformação de campo próximo, que são calculados por FDTD, em campo distante através do princípio de Huygens, como mostrado em [8-9]. Para corrigir o erro de fase que ocorre na abertura da corneta, usou-se uma lente dielétrica com suas características elétricas e geométricas dadas na Fig.3.

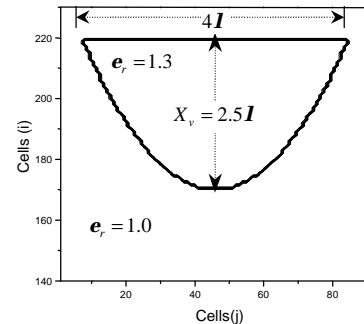


Fig.3 – Características elétricas e geométricas da lente dielétrica.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

Para a análise da antena array, primeiramente verificou-se em que instante de tempo a sua estabilidade era alcançada. A Fig.4 mostra que a amplitude do campo elétrico na posição frontal da superfície de transformação de campo próximo para campo distante ($I=273, J=37,211$) atinge a estabilidade em $n=800$. Dessa forma, os resultados a serem apresentados são para esse instante de tempo assim como para frequência de 10GHz. A Fig.5 mostra o diagrama de campo distante com as seguintes características: Largura de feixe de meia potência, HPBW = $8,35^\circ$, largura de feixe do primeiro nulo, FNBW = $23,7^\circ$ e nível do primeiro lóbulo lateral de $-7,14$ dB.

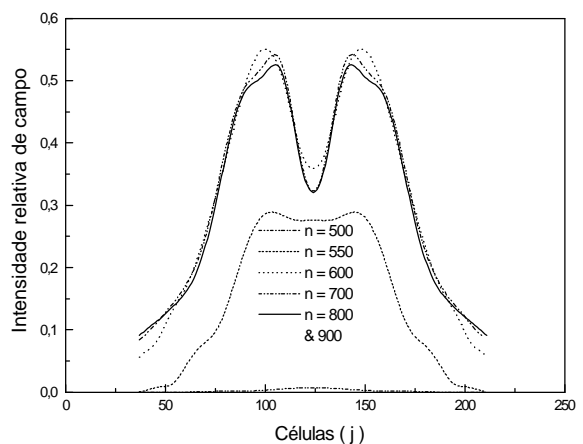


Fig.4 - Amplitude do campo elétrico para 10 GHz no contorno de transformação de campo próximo para campo distante (lado frontal), para seis diferentes passos de tempo.

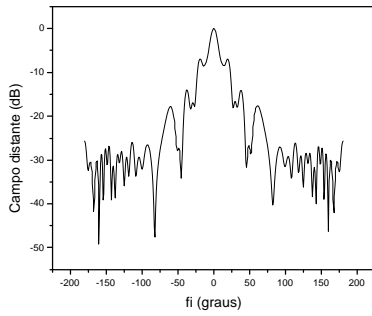


Fig.5 – Diagrama de campo distante da antena corneta setorial plano-E.

Antena array de cornetas setorial Plano-E

Para essa antena, foi analisado o comportamento do diagrama de campo distante quando a distância relativa, d (Fig.1), assumir os valores 2λ , λ , $\lambda/4$ e 0. Para cada uma dessas distâncias relativas foi calculado o diagrama de campo distante do array. Na análise da antena array sem levar em conta o acoplamento, usou-se a condição de periodicidade (teorema de Floquet) nas paredes do domínio numérico (células) do elemento corneta que separam um elemento do outro. Para levar-se em conta o efeito do acoplamento utilizou-se paredes elétricas.

A - Antena array de cornetas setoriais Plano-E sem levar em conta o acoplamento

A geometria da antena array de cornetas setoriais plano-E é mostrada na Fig.1, onde a sua análise é feita usando-se a condição de periodicidade (teorema de Floquet), dessa forma somente uma corneta precisa ser analisada. A Fig.6 mostra o comportamento da distribuição da amplitude do campo elétrico na abertura da corneta quando a distância d (Fig.1) é variada. Nessa figura pode-se observar que quando d diminui de 2λ até λ a distribuição da amplitude do campo elétrico não varia com d , com isso a sua forma mantém-se praticamente a mesma. Quando a distância d torna-se menor que λ a amplitude no centro da abertura da corneta se modifica. Como uma forma comparativa, também é possível observar (Fig.6) a distribuição da amplitude do campo elétrico para uma antena corneta isolada (curva contínua). Na Fig.7 têm-se a distribuição de fase do campo elétrico na abertura da corneta. Nesta figura, quando a distância é diminuída a fase sofre apenas uma pequena variação. As Figs. 8-11 mostram o comportamento do diagrama de campo distante para $d = 2\lambda$, λ , $\lambda/4$, 0, respectivamente. Pode-se observar que quando os elementos do array são aproximados, o diagrama torna-se mais diretivo, com menores níveis de lóbulos laterais. Apesar das distribuições de amplitude e fase se manterem praticamente constantes para as distâncias $d = 2\lambda$, λ , seus diagramas de irradiação apresentam formas distintas.

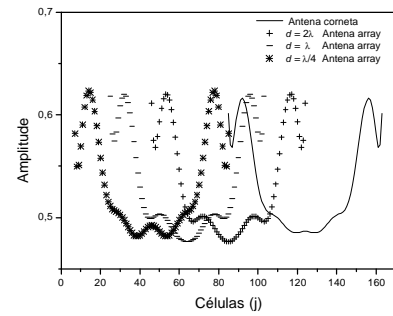


Fig.6 – Distribuição da amplitude do campo elétrico da antena corneta e da antena array de cornetas para vários valores de d .

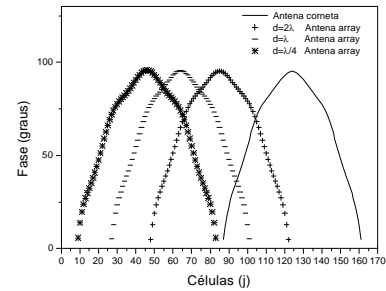


Fig.7 - Distribuição de fase do campo elétrico da antena corneta e da antena array de cornetas para vários valores de d .

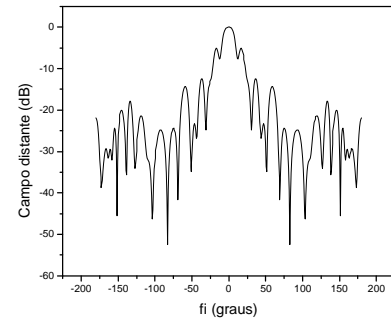


Fig.8 - Diagrama de campo distante para $d=2\lambda$

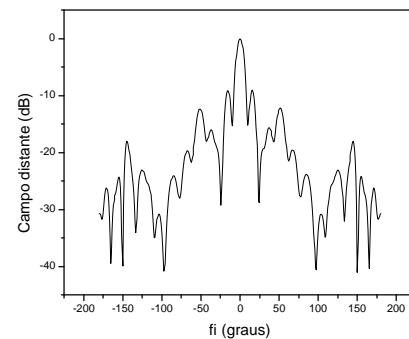


Fig.9 - Diagrama de campo distante para $d=\lambda$

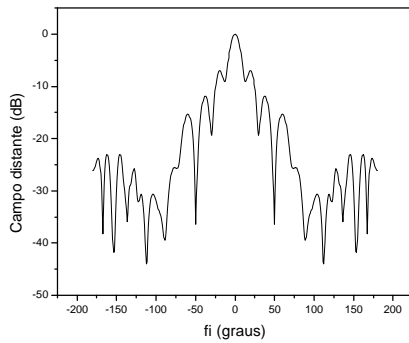


Fig.10 - Diagrama de campo distante para $d=1/4$

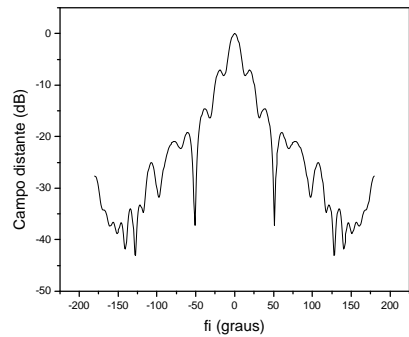


Fig.11 - Diagrama de campo distante para $d=0$.

B - Antena array de cornetas setoriais Plano-E com acoplamento

Para simular o acoplamento entre os elementos do array, utilizou-se paredes elétricas. Dessa forma, somente uma corneta precisou ser analisada. As Figs. 12-14 mostram o campo distante para $d=2\lambda, \lambda, \lambda/4, 0$.

Comparando as Figuras dos diagramas de campo distante obtidas usando-se condição de periodicidade e de paredes elétricas, pode-se observar que elas apresentam suas formas praticamente iguais, entretanto com nulos mais agudos para o caso em que o acoplamento é considerado (parede elétrica).

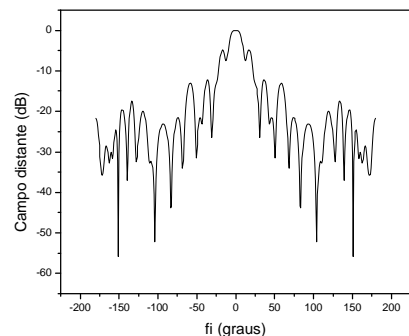


Fig.12 - Diagrama de campo distante para $d=2\lambda$

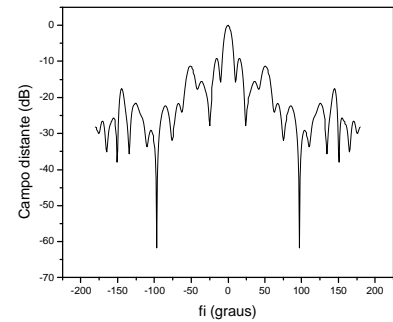


Fig.13 - Diagrama de campo distante para $d=1$

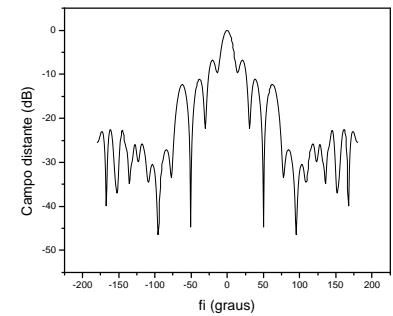


Fig.14 - Diagrama de campo distante para $d=1/4$.

c - Antena array de cornetas setoriais Plano-E sem levar em conta o acoplamento com lentes dielétricas

Aqui a antena array com lentes dielétricas é analisada usando-se condição de periodicidade. As Figs.15-18 mostram o comportamento dos diagramas de campo distante para $d=2\lambda, \lambda, \lambda/4, 0$. Como já era de se esperar, o nível dos lóbulos laterais diminuem a medida em que os elementos do array se aproximam, e além desse efeito, observa-se que o lóbulo principal dos diagramas são mais definidos. Isto é devido às lentes dielétricas modificarem a distribuição de fase e potência na abertura da corneta, consequentemente corrigindo o erro de fase que ocorre na sua abertura.

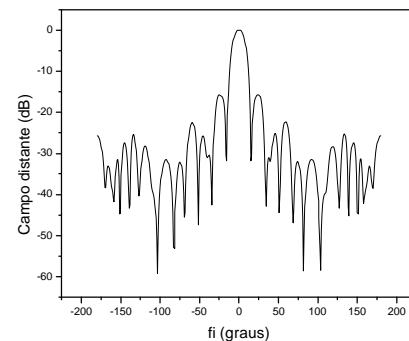


Fig.15 - Diagrama de campo distante para $d=2\lambda$.

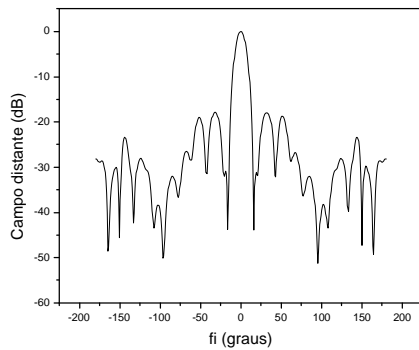


Fig.16 - Diagrama de campo distante para $d=1$.

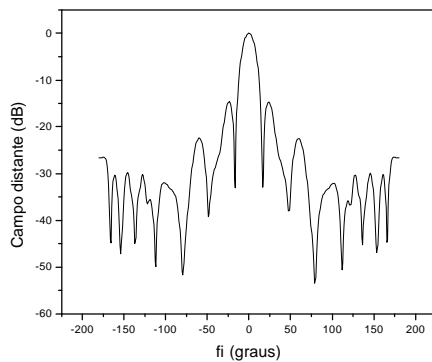


Fig.17 - Diagrama de campo distante para $d=1/4$

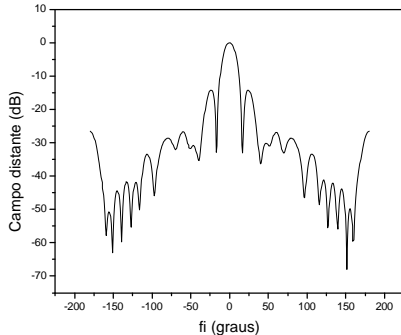


Fig.18 - Diagrama de campo distante para $d=0$.

IV – CONCLUSÕES

A influência da distância entre os elementos do array no comportamento do campo distante de uma antena array de cornetas setoriais plano- E com e sem lentes dielétricas foi analisado. É mostrado que a distância entre os elementos do array mudam a distribuição de fase e de potência na abertura da corneta, e que para distâncias menores que λ esses efeitos são mais pronunciados.

Para os dois primeiros casos em que a antena foi analisada: antena array com e sem acoplamento, verifica-se que os resultados são praticamente idênticos. Com relação a antena array com lentes dielétricas, observa-se que devido a correção de fase na abertura da corneta, consegue-se diagramas com maiores ganhos. Para todos os três casos houve diminuição dos lóbulos laterais quando d é diminuído. A partir dos resultados obtidos, propõe-se para comunicação à longas distâncias uma antena array de cornetas setorial plan- E com lentes dielétricas e, com a mínima distância entre os seus elementos, como mostrado na Fig.18.

V – AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio financeiro do CAPES. Os autores desejam também agradecer ao departamento de Engenharia Eletrônica do Queen Mary and Westfield College – University of London, por permitir que utilizássemos toda sua infra-estrutura, onde parte deste trabalho foi desenvolvido.

VI – REFERÊNCIAS

- [1] K.S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-14, pp. 302-307, May 1966.
- [2] Maloney, J. G., G. S. Smith, and W. R. Scott, Jr., "Accurate computation of the radiation from simple antenna using the finite-difference time-domain," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 38, 1990, pp.1059-1068.
- [3] D.S. Katz, M.J. Picket-May, A. Taflove, and K.R. Umashankar, "FDTD Analysis of Electromagnetic Wave Radiation from Systems Containing Horn Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, NO. 8, Aug. 1991.
- [4] Tirkas, P. A., and C. A. Balanis, "finite-difference time-domain method for antenna radiation," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, 1992, pp. 334-340.
- [5] Tirkas, P. A., and C. A. Balanis, "Contour path FDTD methods for analysis of pyramidal horns with composite inner E -Plane walls," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, 1994, pp.1476-1483.
- [6] Reigh, C., E. A. Navarro, and V. Such, "FDTD analysis of E -sectoral horn antennas for broad-band application," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, 1997, pp.1484-1487.
- [7] Mezzanotte, P., L. Roselli, and R. Sorretino, "A simple way to model curved metal boundaries in FDTD algorithm avoiding staircase approximation," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, Vol.5, 1995, pp.267-269.
- [8] R.O. Santos and C.L.S.S. Sobrinho, "Análise FDTD – Efeitos de lentes dielétricas na irradiação de antena corneta bi-dimensional," *IX Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica*, pp.608-612, Aug.2000, in Portuguese.
- [9] R.O. Santos and C.L.S.S. Sobrinho, "O uso do método FDTD na análise das características de irradiação de antena corneta bi-dimensional – Plano-H com lentes dielétricas," *XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, Set.2000, in Portuguese.
- [10] L.L. Oh, S.Y. Peng, and C.D. Lunden, "Effects of Dielectrics on the Radiation Patterns of the Electromagnetic Horn," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, July, 1970.
- [11] E. Isaacson and H.B. Keller, *Analysis of Numerical Methods*, Wiley, New York, 1967
- [12] S.D. Gedney, "An Anisotropic Perfectly Matched Layer- Absorbing Medium for the Truncation of FDTD Lattices," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-44, No. 12, pp. 1630-1639, Dec. 1996.

